

Ispitivanje čvrstoće lijepljenih spojeva polimernih laminata

Mijo Zagorec

Ključne riječi

polimerni laminati,
spajanje,
lijepljenje,
čvrstoća,
poliesterska ljepila,
epoksidna ljepila,
slom

Key words

polymer laminates,
connection,
gluing,
strength,
polyester adhesives,
epoxy adhesives,
failure

Mots clés

laminés polymériques,
raccord,
adhésion,
résistance,
adhésifs polyester,
adhésifs epoxy,
rupture

Ключевые слова

полимерные ламинаты,
соединение,
клеяка,
полиэфирные клеи,
эпоксидные клеи,
разрыв

Schlüsselworte

Polymerlaminat,
Verbinden,
Kleben, Festigkeit,
Polyesterklebstoffe,
Epoxydklebstoffe,
Bruch

M. Zagorec

Stručni rad

Ispitivanje čvrstoće lijepljenih spojeva polimernih laminata

U članku su opisana provedena ispitivanja posmične i vlačne čvrstoće preklopinih i vlačnih spojeva polimernih laminata koji su lijepljeni poliesterskim ili epoksidnim ljepilima. Time se pokušao dobiti uvid u kvalitetu nekih suvremenih ljepila visoke čvrstoće, a također i oblik razaranja na mjestima spojeva pri opterećivanju do sloma. Istaknuto je da su dobiveni važni podaci za proračun na taj način spojenih nosivih elemenata koji se primjenjuju u građevinarstvu i strojarstvu.

M. Zagorec

Professional paper

Testing strength of glued polymer laminate connections

The shear and tensile strength testing for the overlapping and tensile connections of polymer laminates, glued with polyester or epoxy adhesives, is presented in the paper. The objective of the testing was to determine quality of some modern high strength adhesives, and to define the form of destruction at connection points subjected to failure load. It is emphasized that significant information was thus obtained for the design of glued load bearing elements as used in civil and mechanical engineering.

M. Zagorec

Ouvrage professionnel

Essai de la résistance pour les raccords collés des laminés polymériques

L'essai de la résistance à la traction pour les raccords de recouvrement et de traction des laminés polymériques, collés avec les adhésifs epoxy, est présenté dans l'ouvrage. L'objectif de l'essai était de déterminer la qualité de quelques adhésifs modernes à haute résistance, et de définir la forme de destruction au point de raccord soumis à la charge de rupture. L'auteur souligne que les informations importantes ont ainsi été obtenues pour l'étude des éléments portants collés utilisés dans le génie civil et mécanique.

M. Zagorec

Отраслевая работа

Испытание прочности клеенных соединений полимерных ламинатов

В работе описаны проведённые испытания сдвиговой и растягивающей прочности соединений внахлестку и растягивающихся соединений полимерных ламинатов, клеенных полиэфирными или эпоксидными клеями. Тем самым попыталось ознакомиться с качеством некоторых современных клеев высокой прочности, а также и формой разрушения на местах соединений при разрушающей нагрузке. Подчёркнуто, что получены важные данные для расчёта таким способом соединённых несущих элементов, применяющихся в строительстве и машиностроении.

M. Zagorec

Fachbericht

Prüfung der Festigkeit geklebter Verbindungen von Polymerlaminaten

Im Artikel beschreibt man durchgeführte Prüfungen der Scher- und Zugfestigkeit von Überlappungs- und Zugverbindungen von Polymerlaminaten die mit Polyester- oder Epoxydklebstoffen geklebt sind. So versuchte man einen Einblick in die Qualität einiger zeitgemässer hochfester Klebstoffe und die Gestaltung der Zerstörung der Verbindungen bei Bruchbelastung zu gewinnen. Man hebt hervor dass man wichtige Angaben gewann für die Berechnung der auf diese Art und Weise verbundenen Tragelemente die im Bauwesen und Maschinenbau angewendet werden.

Autor: Mr. sc. Mijo Zagorec, dipl. ing. građ., Građevinski institut Hrvatske, Rakušina 1, Zagreb

1 Uvod

Lijepljenje je općenito stari način spajanja materijala. Industrijska proizvodnja ljepila počela je krajem 18. stoljeća, a nagli je razvoj doživjela tek nakon 2. svjetskog rata. U ranijim su se razdobljima upotrebljavala uglavnom ljepila proizvedena od prirodnih tvari biljnog i životinjskog podrijetla, dok se sada većinom upotrebljavaju organska sintetička ljepila [1].

Izvedba lijepljenih spojeva za potrebe konstruiranja započela je tek nakon 2. svjetskog rata kada je počela industrijska proizvodnja epoksidnih ljepila visoke čvrstoće [1, 2 i 3]. Naime, epoksidna ljepila omogućavaju izvedbu vrlo čvrstih spojeva ne samo pri lijepljenju polimernih materijala, osobito duroplasta, nego i pri lijepljenju tradicionalnih građevinskih materijala s pomoću polimernih materijala. Poseban interes za lijepljenje postoji osobito za spajanje onih materijala koji se ne mogu zavari-vati, kao što su npr.: drvo, kamen, keramika, staklo, duro-plasti i dr.

I kod nas je objavljeno nekoliko radova o lijepljenju polimernih materijala [2, 3, 4], a održana su i neka savjetovanja. Međutim, prema spoznajama autora, kod nas je provedeno i objavljeno premalo znanstvenih istraživanja s konkretnim podacima za projektiranje i izvođenje lijepljenih konstrukcijskih spojeva u građevinarstvu.

2 Definicije

Da bi obrazlaganje bilo što bolje shvaćeno, navedene su definicije za nekoliko ključnih pojmova iz područja lijepljenja materijala, kao npr:

- adhezija znači privlačnu silu koja djeluje između molekula dvaju različitih materijala koji se tijesno dodiruju,
- kohezija znači unutarnju privlačnu silu koja djeluje između molekula istog materijala,
- polimerni laminat znači stvrdnute i staklenim vlaknima ojačane epoksidne ili poliesterske smole (duroplasti),
- ljepilo, općenito, jest nemetalna tvar koja može spajati materijale s pomoću površinskog prijanjanja i unutarnje čvrstoće (adhezija i kohezija) a da se struktura materijala bitno ne mijenja [5],
- lijepljenje jest spajanje materijala s pomoću površinskog prijanjanja ljepila [5].

Napominje se da između privlačnih sila adhezije i kohezije nema potpuno jasne razlike jer su one istovrsne.

3 Prednosti i nedostaci spajanja polimernih materijala lijepljenjem

Iako se lijepljenje ubraja u univerzalne postupke spajanja, ipak ga se ne može preferirati tako da zamjenjuje

ostale vrste spajanja polimernih materijala nego ih samo nadopunjavati. Zato pri projektiranju treba način i oblik spajanja polimernih materijala odabirati na temelju analize prednosti i nedostataka lijepljenih spojeva i u skladu sa zahtjevima stranih tehničkih propisa [6] i to zbog nedostatka naših propisa.

Prednosti spajanja polimernih materijala lijepljenjem u usporedbi s tradicionalnim metodama spajanja (zavarivanje, vijčani spojevi, "škljocni spojevi" i dr.) jesu [1]:

1. jednolična raspodjela sile po cijeloj lijepljenoj površini osim na krajevima preklonih spojeva
2. gotovo svi polimerni materijali mogu se međusobno spajati lijepljenjem (univerzalno spajanje)
3. uporaba ljepila omogućava koncepciju novih vrsta konstrukcijskih elemenata, primjerice: pločasti sendvič elementi, lijepljeni lamelirani drveni elementi i dr.
4. lijepljeni spojevi cijevi mogu se tako oblikovati da je spoj nepropustan (za podtlak i predtlak)
5. površine lijepljenih spojeva su glatke za razliku od ostalih spojeva kod kojih mogu, primjerice, stršeće glave vijaka i zakovica ili zavareni šavovi iz tehničkih i drugih razloga smetati
6. lijepljeni se spojevi dadu tako oblikovati da mogu u određenoj mjeri prigušivati vibracije
7. Iako centriranje spojnih elemenata, mogućnost potpuno zatvorenog spajanja velikih spojnih površina i dr.

Nasuprot tim prednostima postoje sljedeći nedostaci lijepljenih spojeva [1]:

1. lijepljeni spojevi uglavnom nisu postojani na velike temperaturne promjene
2. većina ljepila je pri trajnom statičkom opterećenju sklona pužanju
3. konstrukcijsko oblikovanje spojeva složenije je kod lijepljenja nego kod drugih vrsta spajanja
4. obrada spojnih površina pri lijepljenju znatno je složenija, osjetljivija i vremenski uvjetovanija nego kod drugih vrsta spajanja
5. priprema ljepila često postavlja povećane zahtjeve pri njihovoj primjeni, primjerice: omjer miješanja dvokomponentnih ljepila, vrijeme ugradbe, temperatura pri ugradbi i uporabi i dr., pri čemu neznatno odstupanje od propisanog postupka može imati teže posljedice nego što bi to bio slučaj pri drugim postupcima spajanja
6. većina ljepila (naročito dvokomponentna ljepila) trebaju za vezivanje određeno vrijeme u koje se mora

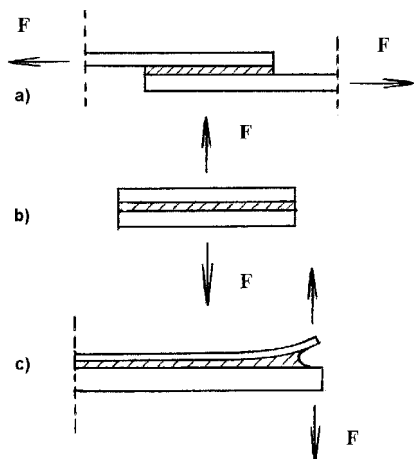
ukalkulirati trajanje procesa lijepljenja i vrijeme potrebno za dodatno pričvršćivanje spojnih elemenata sve dok ljepljivo ne stvrdne

7. lijepljeni spojevi u mnogim slučajevima pokazuju nepovoljno ponašanje pri starenju, osobito pod utjecajem vode, otapala, kemikalija i dr.
8. nedostatak odgovarajućih norma otežava ispravan konstrukcijski i proizvodni izbor ljepljiva
9. ispitivanja bez razaranja mogu se upotrebljavati za kontrolu lijepljenih spojeva uglavnom samo s ograničenjima
10. zaostale šupljine koje pri izvedbi spoja mogu ostati zatvorene u spoju i dr.

Prema tome, pri odabiru vrste lijepljenja polimernih materijala treba odabrati onaj način koji će omogućiti iskorištavanje što više osnovnih prednosti lijepljenja, ali i izbjegavanje ključnih nedostataka tako da oni ne bi imali nadređenu ulogu u odnosu na utvrđene prednosti (analiza liste kriterija). Posebno se napominje da za konstrukcijske spojeve treba odabrati onu vrstu čvrstih ljepljiva koja će osigurati da je čvrstoća ljepljiva barem jednaka ili veća od čvrstoće polimernih materijala koji se spajaju. U protivnom zalijepljeni spojevi mogu biti najslabija mjesta u konstrukciji koji ne će omogućiti iskorištavanje nosivosti materijala veće čvrstoće kao što su, primjerice, polimerni laminati.

4 Prijenos opterećenja i konstrukcijski oblici lijepljenih spojeva

Ovisno o vrsti djelovanja lijepljeni spojevi mogu biti opterećeni na posmik, vlak i ljuštenje [1, 7, 8], (slika 1.).

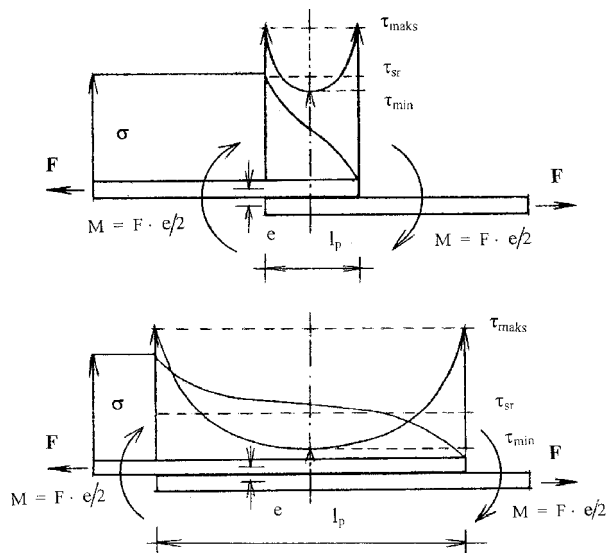


Slika 1. Vrste opterećenja lijepljenih spojeva: a) posmik, b) vlak, c) ljuštenje

Prijenos opterećenja (vlačne sile) između dvaju spojnih elemenata zalijepljenih preklapnim spojem ostvaruje se posmičnim silama u sloju ljepljiva. Raspodjela vlačno-posmičnih naprezanja pritom je vrlo složena (slika 2.), jer ovisi [1, 8, 9]:

o geometrijskim uvjetima oblika spoja, osobito ako je prijenos vlačne sile ekscentričan, zbog čega dolazi do pojave momenta savijanja $M = F \cdot e/2$,

- o različitim modulima elastičnosti spojnih elemenata i dr.



Slika 2. Raspodjela vlačnih i posmičnih naprezanja u preklapnim zalijepljenim spojevima s različitim duljinama preklopa i s ekscentričnim prijenosom vlačne sile

Dijagrami na slici 2. pokazuju da u području lijepljenja nastaje hiperbolični tok raspodjele posmičnih naprezanja s visokim naprezanjima (šiljcima) na krajevima, dok se vlačno naprezanje na krajevima spojnih elemenata nedovoljno smanjuje.

Pri odabiru oblika zalijepljenih spojeva treba imati na umu sljedeće [1, 9]:

- najpovoljniji su preklapni spojevi s posmičnim opterećenjem kod kojih se uz odabrane debljine i širine spojnih elemenata produljenjem preklopa može povećati ploštinu lijepljenja i time nosivost spoja, ali samo do određene granice,
- spojevi kod kojih je sloj ljepljiva opterećen samo na vlak manje su pogodni i zato se mogu upotrebljavati jedino ako su vlačne čvrstoće spojnih elemenata i ljepljiva približno jednake,
- spojevi s linijskim opterećenjem ljepljiva na ljuštenje su nepovoljni i zato ih treba na rubovima ojačati [3],
- pri lijepljenju spojeva velikih ploština od različitih materijala i s različitim koeficijentima toplinskog izduženja spojne elemente treba dimenzionirati tako da njihovo različito produljenje uslijed toplinskih promjena ne oštećuje elemente spoja i da sloj ljepljiva može preuzeti razliku tih produljenja bez oštećenja.

5 Oblici sloma lijepljenih spojeva

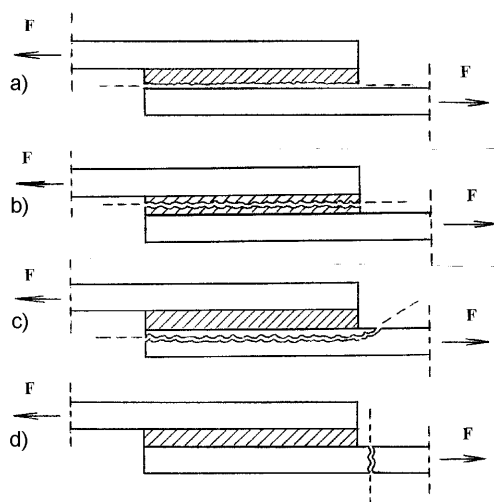
Oblik sloma i nosivost zalijepljenog spoja ovise o sljedećem [9]:

- vrsti materijala spojnih elemenata,
- vrsti ljepila,
- obliku spoja,
- postupku lijepljenja (priprema površine, lijepljenje i njega spoja tijekom očvršćivanja ljepila),
- vrsti i veličini mehaničkog opterećenja,
- utjecaju okoliša (promjene temperature, različiti agensi i dr.).

Osim toga za oblik sloma i nosivost spoja mjerodavne su sljedeće geometrijske veličine:

- debljina sloja ljepila,
- debljina spojnih elemenata,
- širina preklopa,
- duljina preklopa,
- raspored spojnih elemenata,
- oblik preklopa (jednostruki preklop s ekscentričnim prijenosom sile ili višestruki preklop sa spojnicama i s centričnim prijenosom sile).

Oblici sloma koji mogu nastati pri opterećenju do razaranja zalijepljenog spoja s jednostrukim preklopom prikazani su na slici 3. [7 do 10].



Slika 3. Različiti slomovi spoja dvaju elemenata: a) slučaj kad je čvrstoća prijanjanja ljepila manja od posmičnog naprezanja; b) slučaj kad je posmična čvrstoća ljepila manja od posmičnog naprezanja; c) slučaj kad je posmično naprezanje veće od posmične čvrstoće elementa; d) slučaj kad je vlačna čvrstoća elementa manja od vlačnog naprezanja

6 Ispitivanje čvrstoće lijepljenja poliesterskih i epoksidnih laminata

Ljepila i lijepljeni spojevi mogu se podvrgnuti vrlo velikom broju najrazličitijih ispitivanja. Unatoč tolikoj različitosti, sve metode ispitivanja imaju nekoliko zajedničkih ciljeva [1, 10]:

- ispitivanje adhezije ljepila kao temeljno ispitivanje mehaničkih svojstava ljepila,
- ispitivanje čvrstoće lijepljenih spojeva: posmične čvrstoće, vlačne čvrstoće i čvrstoće ljuštenja (slika 1.).
- praktična ispitivanja na izvedenim konstrukcijama radi kontrole kvalitete izvedenih lijepljenih spojeva,
- stalna kontrola izvođenja lijepljenih spojeva, jer je naknadna kontrola pravilne pripreme i nanošenja ljepila zajedno s fizikalnim i kemijskim procesima pri stvrdnjavanju ljepila praktički nemoguća.

Prema vrsti djelovanja razlikuju se tri vrste ispitivanja lijepljenih spojeva:

- statička ispitivanja,
- dinamička ispitivanja,
- ispitivanja postojanosti na starenje.

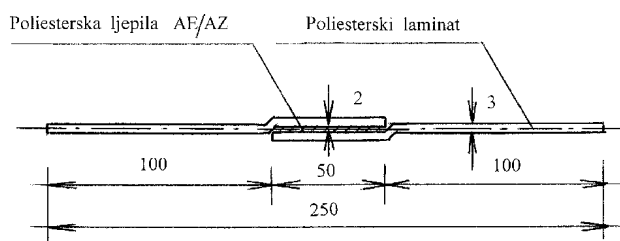
U ovom radu prikazana su osnovna statička ispitivanja sa svrhom da se odredi posmičnu čvrstoću i vlačnu čvrstoću za lijepljene spojeve poliesterskih laminata, tipa *hasura*, i za lijepljene spojeve epoksidnih cijevi s prirubnicama, tipa *omotana vlakna (filament winding)*. Tip *hasura* znači višesmjernu orijentaciju staklenih vlakana duljine približno 50 mm u polimernom laminatu, a tip *omotana vlakna* znači međusobno okomito namatanje staklenih niti kao armature u stijenkama polimernih cijevi.

6.1 Ispitivanje posmične i vlačne čvrstoće zalijepljenih spojeva

6.1.1 Posmična čvrstoća

Metoda ispitivanja

Ispitivanje posmične čvrstoće provedeno je za jednostruke preklopne spojeve s centričnim prijenosom sile. Ispitne uzorke izradio je proizvođač poliesterskog laminata tipa *hasura* tako da ih je zaljepio s dvije vrste poliesterskog ljepila, i to jedanput s ljepilom tipa AE, a drugi put s ljepilom tipa AZ. Uzdužni presjek pravokutnih ispitnih uzoraka prikazan je na slici 4. Ispitivanje je provedeno na šest ispitnih uzoraka koji su rastezani na univerzalnoj kidalici brzinom $\cong 10$ mm/min, pri sobnoj temperaturi 23 °C, do kidanja spoja.



Slika 4. Uzdužni presjek ispitnih uzoraka širine 50 mm za ispitivanje posmične čvrstoće (sve mjere su u mm)

Posmična čvrstoća proračuna se iz jednadžbe (1) kao srednje posmično naprezanje pod pretpostavkom da je deformiranje spojnih elemenata u području spoja tako malo da se može zanemariti.

$$\tau_{sr} = F_{maks}/l_p \cdot b \quad (1)$$

gdje su:

τ_{sr} - srednja posmična čvrstoća, N/mm²

F_{maks} - najveća vlačna sila, N

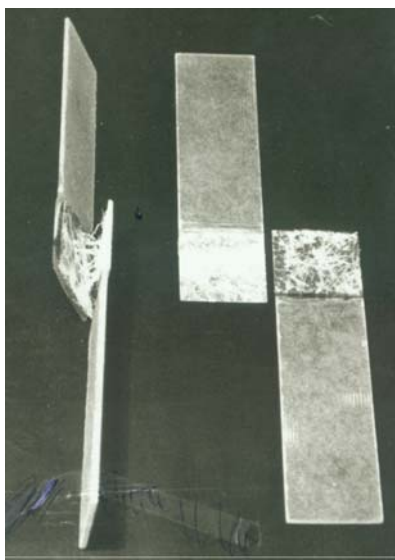
l_p - duljina preklopa, mm

b - širina preklopa, mm

Rezultati ispitivanja

Ispitivanjem je utvrđeno sljedeće:

- srednja posmična čvrstoća spojeva zalijepljenih ljepilom tipa AE jest: $\tau_{sr} = 2,50$ N/mm²
- svi su se spojevi kidali u sloju hasure u obliku raslojavanja laminata (kohezijski lom), slike 3c. i 5.



Slika 5. Izgled ispitnog uzorka nakon ispitivanja posmične čvrstoće

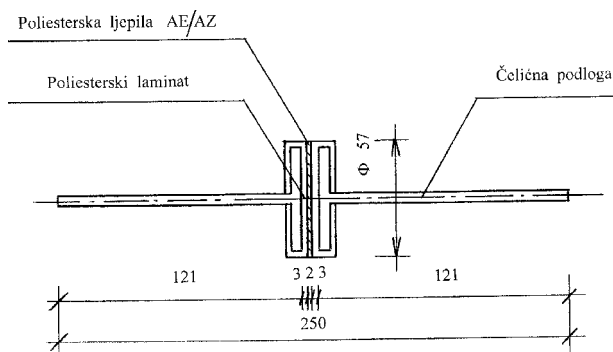
- srednja posmična čvrstoća spojeva zalijepljenih ljepilom tipa AZ jest: $\tau_{sr} = 2,97$ N/mm²

- svi su se spojevi kidali u sloju hasure također u obliku raslojavanja laminata (kohezijski lom), slike 3c i 5.

6.1.2 Vlačna čvrstoća

Metoda ispitivanja

Ispitivanje vlačne čvrstoće provedeno je za jednostruke spojeve s centričnim prijenosom sile okomito na ravni laminata. Ispitne uzorke izradio je proizvođač poliesterskog laminata tip hasura tako da ih je zaljepio s dvije vrste poliesterskog ljepila, i to jedanput s ljepilom tipa AE, a drugi put s ljepilom tipa AZ. Uzdužni presjek složenih kružnih ispitnih uzoraka prikazan je na slici 6. Ispitivanje je provedeno na šest ispitnih uzoraka koji su rastezani na univerzalnoj kidalici brzinom ≈ 10 mm/min, pri sobnoj temperaturi 23 °C, do kidanja spoja.



Slika 6. Uzdužni presjek ispitnih uzoraka za ispitivanje vlačne čvrstoće (sve mjere su u mm)

Vlačna čvrstoća proračuna se iz jednadžbe (2) kao srednje vlačno naprezanje pod pretpostavkom da je deformiranje spojnih elemenata u području spoja tako malo da se može zanemariti.

$$\sigma_{sr} = F_{maks}/d^2 \cdot \pi/4 \quad (2)$$

gdje su:

σ_{sr} - srednja vlačna čvrstoća, N/mm²

F_{maks} - najveća vlačna sila, N

d - promjer zalijepljene ploštine, mm

Rezultati ispitivanja

Ispitivanjem je utvrđeno sljedeće:

- srednja vlačna čvrstoća spojeva zalijepljenih ljepilom tipa AE jest: $\sigma_{sr} = 1,07$ N/mm²
- svi su se spojevi kidali na kontaktu između ljepila i laminata (adhezijski lom)
- srednja vlačna čvrstoća spojeva zalijepljenih ljepilom tipa AZ iznosi: $\sigma_{sr} = 1,05$ N/mm²
- svi su se spojevi kidali na kontaktu između ljepila i laminata (adhezijski lom).

6.2 Ispitivanje posmične čvrstoće zalijepljenih spojeva prirubnice – cijevi

Metoda ispitivanja

Ispitivanje posmične čvrstoće provedeno je za epoksidne prirubnice koje su zalijepljene epoksidnim ljepilom na krajeve cijevi također od epoksida, sve tipa *omatana vlakna*. Ispitne uzorke izradio je proizvođač cijevi. Izgled jednoga složenoga ispitnog uzorka spoja vidi se na slici 7. Ispitivanje je provedeno na šest ispitnih uzoraka koji su rastezani na univerzalnoj kidalici brzinom $\cong 10$ mm/min pri sobnoj temperaturi 23 °C do kidanja spoja.

Posmična čvrstoća proračuna se iz jednadžbe (3) kao srednje posmično naprezanje pod pretpostavkom da je deformiranje spojnih elemenata u području spoja tako malo da se može zanemariti.

$$\tau_{sr} = F_{maks}/l_p \cdot O \quad (3)$$

gdje su:

τ_{sr} - srednja posmična čvrstoća, N/mm²

F_{maks} - najveća vlačna sila, N

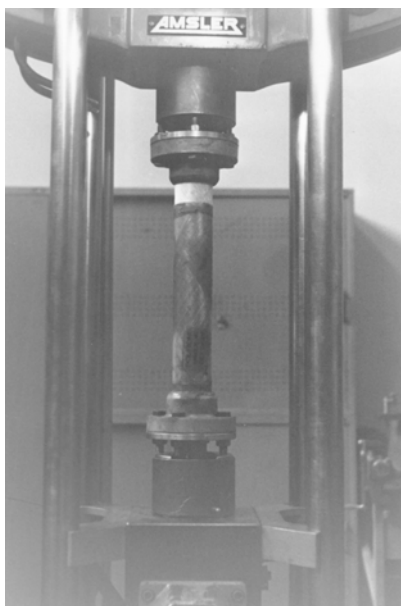
l_p - duljina prirubnice, mm

O - vanjski opseg cijevi, mm

Rezultati ispitivanja

Ispitivanjem je utvrđeno sljedeće:

- srednja posmična čvrstoća spoja prirubnica–cijev jest: $\tau_{sr} = 2,01$ N/mm²
- svi su se spojevi kidali uz *omatana vlakna*, i to u obliku raslojavanja (kohezijski lom), slika 7.



Slika 7. Izgled ispitnih uzoraka nakon ispitivanja posmične čvrstoće spoja prirubnice – cijev

7 Rasprava o rezultatima ispitivanja

7.1 Posmična i vlačna čvrstoća zalijepljenih spojeva

Analizom rezultata ispitivanja posmične čvrstoće centrično opterećenih preklopnih spojeva utvrđeno je sljedeće:

- posmičnu čvrstoću ljepila tipa AE ne može se uspoređivati s posmičnom čvrstoćom ljepila tipa AZ jer je slom spoja nastao u laminatu, a ne u sloju ljepila,
- u usporedbi s vrijednostima objavljenim u stručnoj literaturi, posmična čvrstoća ispitanih spojeva trebala bi biti znatno veća [7],
- budući da je slom nastao u laminatu, znači da je posmična čvrstoća ljepila tipa AE i tipa AZ veća od posmične čvrstoće laminata,
- za nosivost ispitanih spojeva mjerodavna je posmična čvrstoća laminata jer je laminat najslabiji element u spoju.

Budući da je kidanje nastalo u laminatu, znači da poliesterska ljepila tipa AE i tipa AZ imaju zadovoljavajuće adhezijsko svojstvo (čvrstoća prijanjanja) i kohezijsko svojstvo (vlačna čvrstoća) potrebno za lijepljenje polimernih laminata. Da bi se u ovakvim spojevima povećalo posmičnu čvrstoću spajanih laminata u odnosu na posmičnu čvrstoću ljepila, trebalo bi pri izradi laminata poduzeti mjere za postizanje optimalnog omjera staklenih vlakana i smole.

Analizom rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće preklopnih spojeva utvrđeno je sljedeće:

- čvrstoće prijanjanja ljepila tipa AE i ljepila tipa AZ za laminat približno su jednake,
- za nosivost spoja mjerodavna je čvrstoća prijanjanja ljepila za laminat, jer je slom nastao u kontaktu ljepila s laminatom.

Budući da je slom nastao između ljepila i laminata, znači da poliesterska ljepila tipa AE i tipa AZ nemaju zadovoljavajuće adhezijsko svojstvo koje je potrebno za spajanje ispitivanih laminata. Da bi se povećalo vlačnu čvrstoću spoja kod takvih bi spojeva trebalo poduzeti dodatne mjere obrade spojnih površina radi povećanja prijanjanja ljepila za polimerne laminat.

7.2 Posmična čvrstoća zalijepljenih spojeva prirubnice – cijevi

Analizom rezultata ispitivanja posmične čvrstoće epoksidnih prirubnica zalijepljenih epoksidnim ljepilom na cijevi od epoksidnih laminata utvrđeno je sljedeće:

- budući da je slom nastao u stijenci cijevi znači da je posmična čvrstoća ljepila veća od posmične čvrstoće stijenske cijevi,
- za nosivost spoja mjerodavna je posmična čvrstoća stijenske cijevi jer je stijenka najslabiji element u spoju.

Kako je slom nastao u stijenci cijevi, znači da ispitivano ljepilo ima zadovoljavajuće adhezijsko i kohezijsko svojstvo, tj. svojstva potrebna za spajanje ispitivanih epoksidnih prirubnica i epoksidnih cijevi. Da bi se povećalo posmičnu čvrstoću stijenske cijevi, a time i spoja, trebalo bi pri izradi cijevi poduzeti mjere za postizanje optimalnog omjera staklenih vlakana i smole.

8 Zaključak

U posljednje je vrijeme kod nas objavljeno više teorijskih radova o lijepljenju polimernih materijala, ali bez dovoljno rezultata ispitivanja potrebnih projektantima pri projektiranju lijepljenih spojeva, osobito od polimernih laminata. Da bi se dobio uvid u čvrstoću lijepljenih spojeva polimernih laminata i u oblik sloma takvih spojeva pri opterećenju do kidanja, opisani su rezultati ispitivanja posmične i vlačne čvrstoće zalijepljenih spojeva polimernih laminata izrađenih kod nas.

Ispitivanjem posmične čvrstoće preklopnih spojeva poliesterskog laminata zalijepljenog poliesterskim ljepilom

ma utvrđeno je da ispitivana ljepila tipa AE i tipa AZ imaju zadovoljavajuće adhezijsko i kohezijsko svojstvo, jer je kidanje spoja nastalo u laminatu. Na temelju podataka objavljenih u stručnoj literaturi, smatra se da bi posmična čvrstoća takvih spojeva trebala biti veća.

Ispitivanjem vlačne čvrstoće spojeva poliesterskog laminata zalijepljenog poliesterskim ljepilima utvrđeno je da ispitivana ljepila tipa AE i tipa AZ nemaju zadovoljavajuće adhezijsko svojstvo, jer je prijelom nastao između ljepila i laminata.

Ispitivanjem posmične čvrstoće spojeva epoksidnih prirubnica zalijepljenih epoksidnim ljepilom na epoksidne cijevi utvrđeno je da epoksidno ljepilo ima zadovoljavajuće adhezijsko i kohezijsko svojstvo, jer je kidanje spoja nastalo u laminatu stijenske cijevi. Na osnovi podataka objavljenih u stručnoj literaturi, posmična bi čvrstoća takvih spojeva također trebala biti veća.

Smatra se da su provedena ispitivanja dala korisne podatke i da bi ih zato trebalo provesti ne samo kao kratkotrajna nego i kao dugotrajna ispitivanja, i to ovisno o utjecajima promjene temperature, vode i dr. Time bi se najsigurnije dokazala trajnost poliesterskih i epoksidnih ljepila velikih čvrstoća potrebnih za spajanje lijepljenih konstrukcija od polimernih laminata.

LITERATURA

- | | |
|--|---|
| <p>[1] Michel, M.: <i>Adhäsion und Klebtechnik</i>, Carl Hanser Verlag München 1969.</p> <p>[2] Hegedušić, D.: <i>Lijepljenje polimernih materijala</i>, Polimeri 8 (1987) 6, 175 - 178</p> <p>[3] Zagorec, M.: <i>Mogućnosti konstrukcijskog lijepljenja polimera</i>, Izgradnja (1980) 10, 12 - 21</p> <p>[4] Popović, M.: <i>Lijepljenje plastičnih masa – teorijski dio</i>, Kemija u industriji, (1969) 7, 445-467</p> <p>[5] DIN 8593-8:2003, <i>Fertigungsverfahren Fügen</i>, Teil 8</p> | <p>[6] DVS 3310:2003-10, <i>Qualitätsanforderungen in der Klebtechnik</i>, Teil 1-4</p> <p>[7] Wuich, W.: <i>Kleben von Kunststoffen</i>, DBZ 50 (1978) 1, 89 - 92</p> <p>[8] Engasser, I.; Puck, A.: <i>Zur Bestimmung der Grund - Festigkeiten von Klebeverbindungen bei einfacher und zusammengesetzter Beanspruchung</i>, Kunststoffe 70 (1980) 7, 423-429</p> <p>[9] Rubben, A.; Fix, W.; Rohs, H.: <i>Bemessung von Klebeverbindungen im Kunststoffbau</i>, DBZ 53 (1981) 5, 733 - 735</p> <p>[10] VDI 3821:1978 <i>Kunststoffkleben</i>. Verein Deutscher Ingenieure</p> |
|--|---|