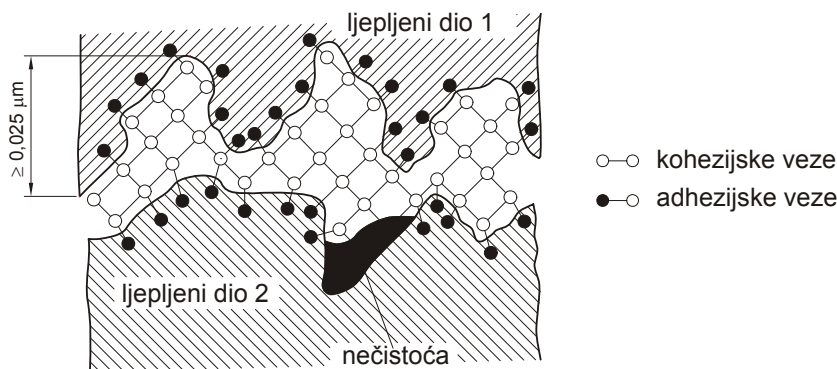


## 4. LIJEPLJENI SPOJEVI

KLEBVERBINDUNGEN  
ADHESIVE BONDING

Lijepljenje je proces nerastavljivog spajanja dijelova pretežno nemetalnim materijalom koji spaja adhezionim i kohezionim silama bez značajnog uticaja na strukturu spajanih dijelova. Pri tom su kohezione sile veće od adhezionih. Materijali mogu biti i različite vrste (na primjer metal sa nemetalom). Velika prednost postupka lijepljenja u odnosu na zavarivanje i lemljenje je tamo gdje bi se toplinskim opterećenjem osnovnog materijala njegova čvrstoća smanjila. Ovo je naročito važno u gradnji zračnih i svemirskih letjelica gdje se traži velika nosivost i krutost uz minimalnu masu, pa se upotrebljavaju lake legure, pretežno aluminijske i titanove. Razvojem ove tehnologije se u zadnje vrijeme istiskuju zakovični spojevi koji su donedavno dominirali u tehnologiji spajanja lakih metala. U općem se strojarstvu lijepljenje često primjenjuje za lijepljenje tankih limova, plastičnih dijelova, materijala različite vrste i debljine. Također se sve više koristi u industriji vozila općenito. Osim navedenog u prednosti ove vrste spojeva ubrajamo dobro svojstvo brtvljenja lijepljenog spoja, jednakomjernu raspodjelu naprezanja u sloju te mogućnost prigušenja vibracija. Mane lijepljenih spojeve su relativno niska pogonska temperatura (-50 do +200°C), opasnost krtoćeg loma pri niskim temperaturama, smanjenje dinamičke nosivosti sa porastom debljine ljepila te relativno dugo vrijeme očvršćavanja ljepila. Čistoća površina mora biti besprijekorna, a osim mehaničke često je potrebna i kemijska priprema površine prije lijepljenja (prema uputama proizvođača ljepila).



Slika 4.1. Fizikalna građa lijepljenog spoja

Načini vezivanja ljepila obzirom na proces lijepljenja mogu biti:

- silom (u procesu lijepljenja potrebno je ostvariti silu)
- temperaturom (u procesu lijepljenja potrebno je ostvariti temperaturu)
- vremenom (u procesu lijepljenja potrebno je osigurati određeni vremenski interval u kojem će spojeni dijelovi ostati međusobno nepomični).

## 4.1 Vrste ljepila

Prema VDI<sup>1</sup> smjernici 2229 te DIN 16920 normama se ljepila dijele u dvije velike skupine:

- **fizikalno veziva** ljepila, koja predstavljaju u organskim otapalima (pretežno ugljikovodicima) rastopine prirodnih ili umjetnih makromolekularnih materijala (kaučuk, umjetne smole). Princip lijepljenja se kod njih ostvaruje na temelju ishlapljenja otapala iz ljepila vezanjenjem za okolni zrak. Da bi se ovaj proces ostvario potrebna je velika površina isparavanja odnosno poroznost osnovnih materijala. Zato se ova ljepila ne upotrebljavaju za lijepljenje metala već više za porozne nemetale (koža, guma, drvo, plastika). Dije se u tri podskupine: *kontaktna*, *rastalna* i *plastična*.
  - *Kontaktna ljepila* se sastoje od kaučuka i smole rastopljene u nekom organskom otapalu. Nanose se na obje površine koje se lijepe, zatim se pričekava da ishlapi otapalo a tada se površine koje se lijepe čvrsto pritisnu jedna na drugu.
  - *Rastalna (taljiva) ljepila* se prije primjene moraju zagrijati (150 do 200°C) da bi postala tekuća jer su pri sobnoj temperaturi u čvrstom stanju. Nakon lijepljenja dijelovi moraju ostati u stanju mirovanja do hlađenja na sobnu temperaturu, kada dostižu potrebnu nosivost.
  - *Plastična ljepila* ili plastisoli su napravljeni na bazi PVC praha izmješanog sa omekšivačem, punilom i adhezivnim sredstvom. Za razliku od kontaktnih i rastalnih ne sadrže otapala. Primjenjuju se tako da se zagriju na oko 150°C kada prelaze u tjestasto stanje te se nanose na jednu od površina koje se lijepe.
- **kemijski veziva** ljepila. Ova se ljepila zovu još reakciona ljepila, a ona su tehnički važnija od fizikalno vezivih, pogotovu kada se radi o lijepljenju kovina. Napravljeni su na bazi epoksida, fenola, akrila te poliestera kao umjetne smole. Najvažnije su smole na bazi epoksida i fenola. Neophodni sastojci ovih ljepila su takozvani katalizatori koji imaju zadatak izazvati kemijsku reakciju koja će dovesti do stvaranja makromolekularnih mreža polimera a koje će nastati nakon mješanja bazne smole i katalizatora (zbog toga se zovu i dvokomponentna) a pod utjecajem temperature, vlage, pod djelovanjem UV zraka ili oduzimanjem zraka odnosno kisika sa njim (anaerobni postupak). Obzirom da neki od postupaka mogu trajati dugo (danima) ponekad se ljepilima dodaje i treće komponenta, ubrzivač. Općenito se pod utjecajem temperature (do 200°C) postižu bolji rezultati nego kod hladnih postupaka ali je postupak nepraktičan za veće izratke ili ako je jedan od materijala koji se lijepe osjetljiv na povišene temperature. Reakcijska ljepila dijelimo osim na hladna i topla još i na:
  - *polimerizacijska*, (jedno ili dvokomponentna). Polimerizacija se pospješuje katalizatorom. Kod anaerobnih ljepila katalizator je u tekućem ljepilu neaktivan sve dotle dok je u doticaju sa kisikom u okolnom zraku. Brzina reakcije katalizatora se regulira njegovom količinom u ljepilu, kao i temperaturom okoline i uzratka
  - *poliaditivna*, (jedno ili višekomponentna), sastoje se od minimalno dvije različite međusobno reagirajuće komponente koje se mješaju u nekom stehiometrijskom odnosu. Osnovu ljepila čine epoksid ili poliuretan.
  - *polikondenzacijska* ljepila lijepe na taj način da je potrebno eliminirati tekuću primjesu iz ljepila pod djelovanjem pritiska od oko 0,5 N/mm<sup>2</sup> i temperaturi oko

150°C a lijepljenje se temelji na tekućoj fazi smole fenol-formaldin i čvrstoj fazi polivinilformala.

Tabela 4.1: Karakteristike taljivih ljepila za spajanje razliĉnih materijala

Proizvođaĉ	Trgovaĉki naziv	Temperatura taljenja [C°]	Debljina sloja ljepila [mm]	Potreban pritisak u spoju [N/mm <sup>2</sup> ]	Smiĉna ĉvrstoća spoja $\tau_{zm}$ u N/mm <sup>2</sup> pri °C						Br. k	Agregatno stanje
					-25	25	55	80	105	155		
Ciba-Geigy	Araldit AT1	150...200	0,05...0,1	kontaktno	32	32	32	30	17	2	A	prah pasta viskozno
	AV8	150...180	0,1...0,2	kontaktno	23	25	26	26	26	20	A	
	AW142	120...150	0,1...0,2	kontaktno	23	23	25	25	23	3	A	
Henkel	Metallon E2701	180	0,05...0,3	kontaktno	20	31	30	29	28	9	A	pasta
	E2706	180	0,05...0,3	kontaktno	30	32	31	30	23	6	A	pasta
	Macroplast PV8621	165...180	0,1...5	kontaktno	5	2	0,8	0,6			A	pasta
	PV8625	160...180	0,1...5	kontaktno	14	6	2	1,6			A	pasta
Baierdorf AG	Technicoll 8280	150...200		kontaktno	36	39	41	42	36	15	A	
	8282	120...150		kontaktno		40	39	27	11		A	
Th.Goldschmidt	Tegocoll M12F/6	Nad 130	0,1	$\geq 0,3$		26					A	žitko
	D02/PVF	Nad 130	0,15	$\geq 0,3$	32	35	25	14	8		A,B	tvrd./tekuć.
Loctite	Loctite 307	do 120	0,1	kontaktno		23	22	18	14	5	A	tekuće
	306	do 120	0,2	kontaktno		10	10	10	10	9	A	tekuće
	317	do 120	0,1	kontaktno		35	29	19	12	7	A	tekuće
<b>ljepljive folije</b>												
Ciba-Geigy	Redux 609	100...170	0,1...0,15	kontaktno	30	34	30	22	12			
Baierdorf AG	Technicoll 8402	120...200		0,5		30	19		10		A	kruto
	8410	120...200		0,5		28	16	13	10		A	kruto
	8420	nad 80		0,5	16	8					A	kruto
Th.Goldschmidt	Tegofilm EP375	Nad 110	0,18	$>0,1$	21	23	22	17	10		A	kruto
	VP445	Nad 110	0,1	$>0,1$							A	kruto
	M12B	130...165	0,22	0,4...1,5	31	33	24	13	7		A	kruto
	MP12E	130...165	0,15	0,4...1,5	27	30	21	11	6		A	kruto
Cyanamid	Cyanamid FM1235	120	0,05...0,25	0,1...0,5	40	40		28			A	kruto
	FM73	120	0,05...0,25	0,1...0,5	40	40		30			A	kruto
	FM1000	175	0,05...0,25	0,1...0,5	50	48		25			A	kruto
	FM300	175	0,05...0,25	0,1...0,5	32	35		35		19	A	kruto

Kratice: Kl-kemikalije	Oo-organska otapala	Al-aluminij	Km-kompoziti	Ti-titan
Kr-razrijeđena kislina	Ol-ulje, mineralno ulje	BK-obojene kovine	Kf-kovinske folije	To-tarne obloge
Kz-korozija	Vl-vlaga	Cu-bakar	Ko-kovine	Tp-tanke ploĉevine
At-Avionska tehnika	Vo-voda	Ĉe-ĉelik	D-drvo	Ut-umjetne tvari
Lu-lužine	Uo-udarna opterećenja	Ke-keramika	St-staklo	UtT-temp. postojane umjetne tv

Tabela 4.2: Karakteristike hladnih i hladno-toplih jlepila za spajanje razliĉnih materijala

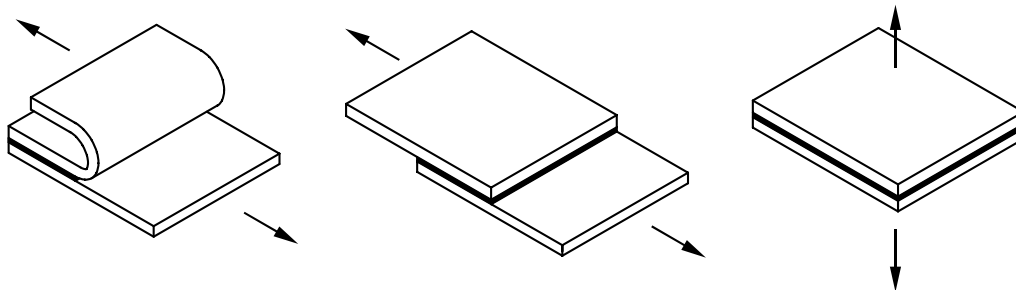
Proizvođaĉ	Trgovaĉki naziv	Temperatura stvrđnjavanja [C°]	Debeljina sloja [mm]	Pritisak lijepljenja [N/mm <sup>2</sup> ]	Smiĉna ĉvrstoća $\tau_{zm}$ u N/mm <sup>2</sup> pri °C						Broj komp.	Agregat stanje
					-25	25	55	80	105	155		
Degussa	Agomet P76	20...50	0,05...0,4	kontaktno	20	21	19	6			A,B	pasta/žitko
	410	20	0,05...0,4	kontaktno	16	27	25	18			A,C	visk./pasta
	M	20	0,05...0,4	kontaktno	32	37	33	22			A,C	žitko/pasta
	R	20	0,05...0,4	kontaktno	28	26	20	10			A,C	pasta
Ciba-Geigy	Araldit AW116	20	0,1...0,5	kontaktno	24	28	14	3			A,B	tekuće/žid
	AV138	20	0,1...3	kontaktno	14	17	18	17	12	3	A,B	pasta
	AW106	20	0,1...0,5	kontaktno	18	18	10	3			A,B	žitko
	Ureol 1356 A/B	20	0,1...0,5	kontaktno	15	16	8	3			A,B	tekuće/žitko
Baiersdorf	Tehnicoll 8202	20	do 0,3	kontaktno	12	19	6	6				
	8258/59	20	do 0,3	kontaktno	28	33	30	8	3			
Loctite	Loctite 330	20	do 0,5	kontaktno		23	17	8	4		A	tekuće
	366	20	do 0,25	kontaktno		18	15	6	3		A	tekuće
	480	20	do 0,5	kontaktno		26	21	13	6		A	tekuće
	496	20	do 0,5	kontaktno		25	24	19	13		A	tekuće
Gussolit Hajek & Co.	Gupalon Normal	20...80	do 0,2	kontaktno	25	31	20	10	6	3	A,B	tekuće
	Express	20...80	do 0,2	kontaktno	23	31	24	16	8	3	A,B	tekuće
	Gupalit 1	20	0,5	kontaktno	13	26	21	18	17	11	A	tekuće
	2 i 3	20	0,1 i 0,2	kontaktno	13	28	21	17	15	9	A	tekuće
Henkel	Macroplast B202	20		>0,1	8	7	3	1	0,3		A,B	tekuće
	Patex	20		>0,1	8	7	3	1	0,3		A	zelo viskoz
	Patex Special	20		>0,1	8	7	3	2	2		A	zelo viskoz
	Stabilit Express	20	0,1...0,5			6					A,B	žitko/kruto
	Rasant	20	do 0,1			20					A	tekuće
	Metallon LA2002	20	0,05...0,2	kontaktno	12	25	25	18	9	2	A,B	z.visk/teku
	E2602	20...100	0,05...0,30,05	kontaktno	23	24	5	2	1		A,B	zelo viskoz
	E2108	20...100	...0,2	kontaktno	25	30	6	2	1		A,B	tekuće

Kratice: Ac-aceton	Kr-razrijeđena kiselina	Ol-ulje	Al-aluminij	Ke-kermaika	Ut-umjetne
Ak-alklane tvari	Lu-lužina	VI-vlaga	Bk-obojene kovine	Ko-kovine	UtT-trde ur
Be-bezovolni benzin	Ma-masti	Vo-voda	Cu-bakar	D-drvo	UtTt-temp.
Kl-kemikalije	Os-organska otapala	Uo-udarna opterećenja	Ĉ-ĉelik	St-staklo	

## 4.2. Osnove oblikovanja lijepljenih spojeva

Pravila oblikovanja lijepljenih spojeva dosta su sliĉna onima koji vrijede za lemljene spojeve. Međutim sama tehnologija lijepljenja je složenija i osjetljivija na greške. Izbor ljepljiva zavisi o vrsti materijala koji se lijepi, zahtjevanoj ĉvrstoći spoja, vanjskim utjecajima na spoj kao što su temperatura, vlaga, korozija i td. Obzirom da odlučujuću ulogu na svojstva ljepljiva imaju

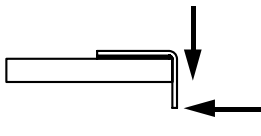
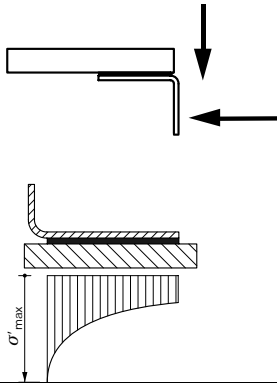
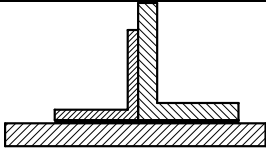
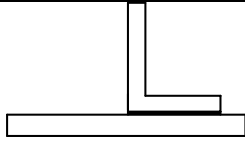
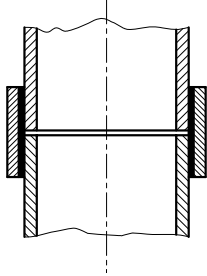
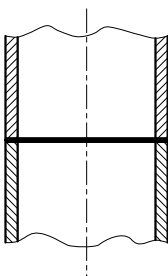
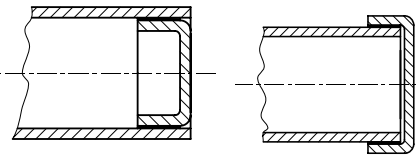
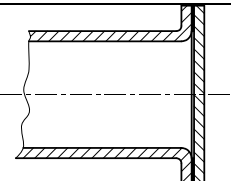
podaci koju daju proizvođači ljepljiva to će se izložiti samo neka opća pravila oblikovanja koja bitno utječu nosivost lijepljenog spoja.



Slika 4.2. Osnovna pravila oblikovanja obzirom na opterećenje. a) »listanje« spoja, vrlo nepovoljno; b) smično opterećenje, najpovoljnije; c) vlačno opterećenje, nepovoljno

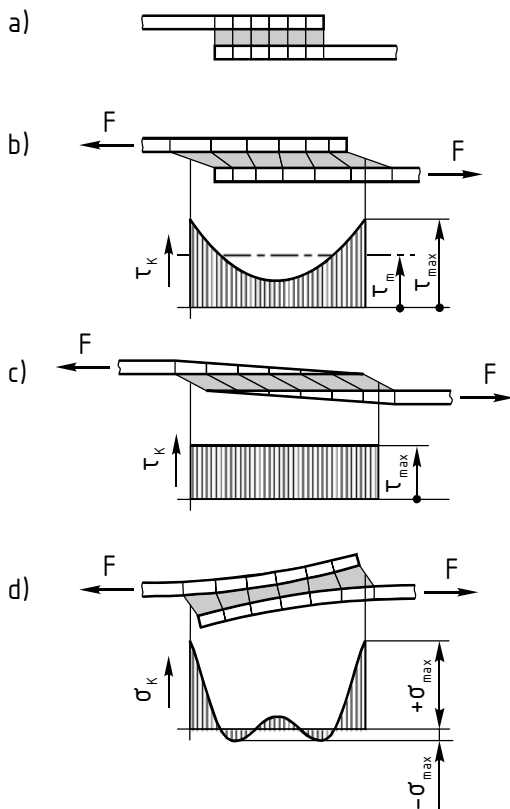
Tabela 4.3. Preporuke za oblikovanje lijepljenih spojeva

Povoljno ili povoljnije	Nepovoljno	Opaska
<p>a) b) c) d)</p>		<p>Sučeonni spojevi su nepoželjni. Ako su neophodni, površina i način opterećenja se mijenjaju kao na prikazu pod a). Povoljniji su preklopni spojevi b) naročito sa skošenim rubovima c). Kod većih debljina oblikovati kao pod d) ili e) (smanjen utjecaj savijanja)</p>
		<p>«Listanje» lijepljenog spoja na kraju spoja može se spriječiti ojačanjem a), vezom oblikom b) (naprimjer zakovicom) ili povećanjem površine na kraju spoja c).</p>
		<p>Spoj u odnosu na opterećenja oblikovati tako da se optereti pretežno na smik</p>

		<p>Na slici desno se u oba smjera djelovanja sila javlja velika koncentracija naprezanja na desnoj strani spoja. Zato je bolje da se dio opterećenja prenese oblikom.</p>
		<p>Spojevi sa kutnicima kod svake vrste opterećenja izazivju koncentraciju naprezanja na krajevima lijepljenog spoja, pa ih je potrebno ojačati</p>
		<p>Cijevni sučeoni spojevi kao i ostali sučeoni su nepovoljni. Bolja je izvedba sa cijevnom stičnicom.</p>
		<p>Oblikovanje dna spremnika izvesti tako da je lijepljeni spoj optrećen na smik);</p>

### 4.3. Utjecaji na čvrstoću lijepljenih spojeva

Čvrstoća oblika lijepljenog spoja ne zavisi samo o pravilnom izboru ljepila nego i o niz drugih faktora. Tako su mnogobrojna ispitivanja pokazala da su osim o vrsti ljepila (uključujući korektno provedenu tehnologiju lijepljenja) još su od utjecaja uvjeti okoline, temperatura, trajanje opterećenja, vrsta opterećenja i td.



Na slici 4.3.a prikazan je shematski neopterećen lijepljeni spoj. Na slici 4.3.b prikazan je taj spoj opterećen smično te tok odgovarajućih smičnih naprezanja koja pokazuju nejednolik tok duž lijepljenog spoja odnosno maksimume na pkrajevima lijepljenog spoja. Približno teoretski raspored naprezanja ( $\tau=F/A$ ) konstantan duž spoja moguće je dobiti samo oblikovanjem elemenata koji se lijepe kao na slici 4.3.c. Kod debljih limova i elastičnih veza javlja se naprezanje od savijanja čiji tok vidimo na slici 4.3.d.

Slika 4.3. Raspored naprezanja kod preklopnog lijepljenog spoja

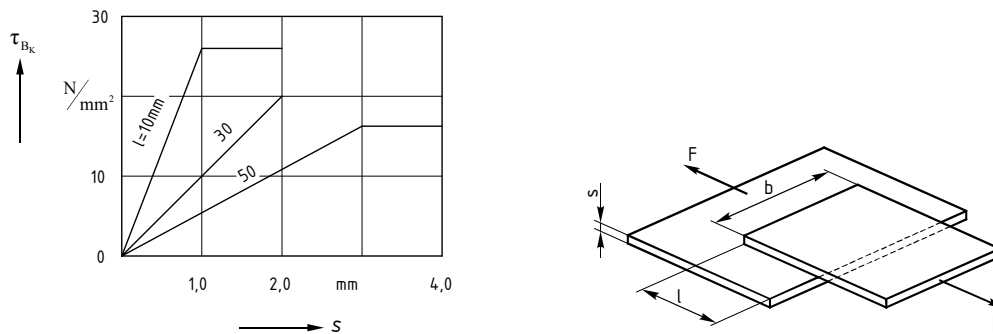
Dužina preklopa i debljina limova koji se spajaju utječu na čvrstoću lijepljenog spoja kako to prikazuje slika 4.4. U literaturi se mogu naći empirijske jednadžbe za određivanje dužine preklopa vezane ili za granicu razvlačenja osnovnog materijala ili za debljinu limova koji se spajaju:

$$l \approx 0,1R_{p0,2}s \quad (4.1)$$

ili

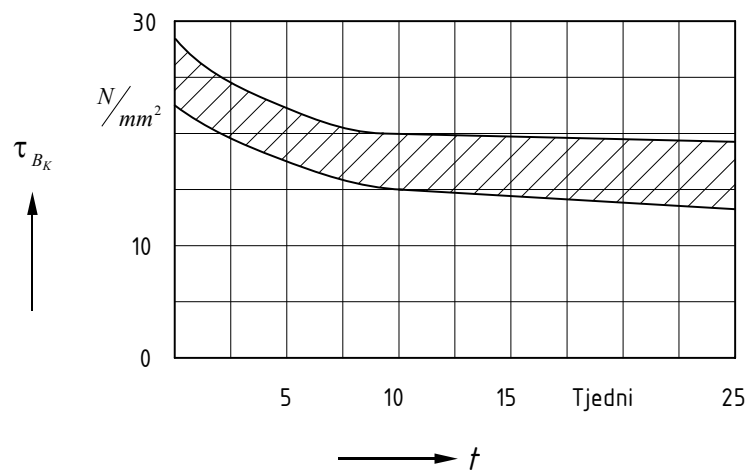
$$l \approx (10 - 20)s \quad (4.2)$$





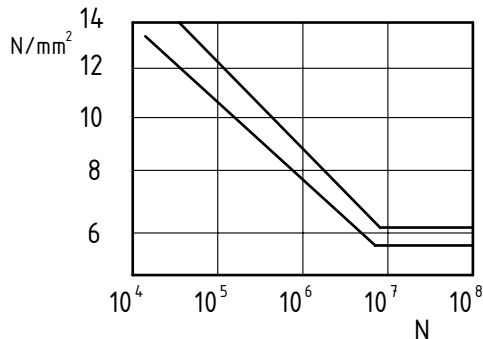
Slika 4.4. Utjecaj debljine lima i dužine preklopa na smičnu čvrstoću lijepljenog spoja (ljepilo: Araldit toplo očvršćeno pri 200 C u trajanju 0.67 h; lijepljeni materijal: AlMgSi lim, jednostruki preklopni spoj širine  $b=25$ mm)

Lijepljeni su spojevi podložni promjenama mehaničkih značajki zavisno od vremena koje je proteklo u eksploataciji bez obzira na opterećenja (takozvani efekt «starenja» ljepila). Čak i nakon dugotrajnog skladištenja spojenih elemenata, dakle bez opterećenja javlja se taj efekt. Ovo starenje ljepila za metale zavisno je prije svega od vrste ljepila, stanja površina prije lijepljenja, ali najviše od okoline u kojoj je lijepljeni spoj. Postojanost protiv starenja u pravilu je veća kod toplo vezivih ljepila nego kod hladno vezivih. Na slici 4.5. dan je utjecaj starenja za jedan konkretan lijepljeni spoj u vidu područja koje nije samo posljedica rasipanja rezultata nego i uvjeta okoline. Gornje vrijednosti u dijagramu na povoljnije uvjete okoline (naprimjer suh uzduh) a donje na lošije uvjete (naprimjer morska voda)



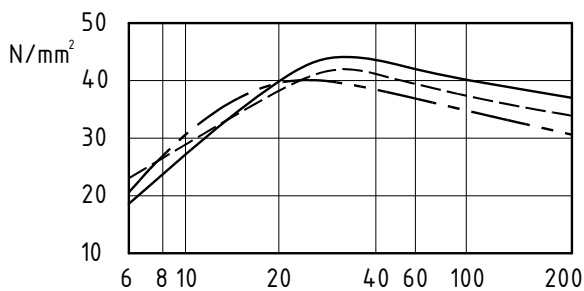
Slika 4.5. Utjecaj starenja na lijepljeni spoj (ljepilo Metalon 130, otvrđeno na 150 C u trajanju od 15,5 sati pod pritiskom 0,5 N/mm<sup>2</sup>; materijal koji se lijepi: AlCuMg lim debljine 1 mm (jednostruki prklopni spoj))

Kao i kod drugih spojeva moguće je eksperimentalno dobiti i dinamičku izdržljivost lijepljenog spoja. Na slici 4.6. prikazani su rezultati ispitivanja dva lijepljena spoja (s ljepilima araldit i redux). U oba se slučaja vidi značajan pad statičke izdržljivosti, tako da se u grubo može reći da je dinamička izdržljivost svega četvrtina od statičke izdržljivosti.

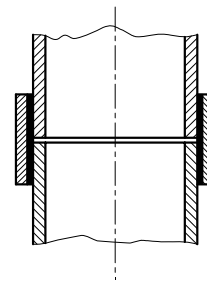


Slika 4.6. Woelerova krivulja lijepljenog spoja za dva tipična ljepila (1- Araldit AT1, 2- Redux 609)

Debljina sloja ljepila u lijepljenom spoju utječe također na čvrstoću spoja. Općenito je povoljnije da je debljina sloja ljepila manja. Optimalnom se smatra debljina sloja ljepila od 0,1 do 0,3 mm. Ako debljina sloja naraste na 1mm, čvrstoća će pasti na 40% prethodne vrijednosti. Ovo sve vrijedi za preklopne i stične spojeve limova i sličnih oblika, kod kojih je relativno teško kontrolirati debljinu sloja ljepila. Inače je točnu debljinu sloja ljepila moguće postići samo kod spajanja cijevi i sličnih elemenata sa zatvorenom konturom. Na slici 4.7. je dana zavisnost čvrstoće takvog jednog cijevnog spoja sa stičnom cijevi gdje se debljina sloja ljepila može uvjetovati tolerancijom dosjeda cijevi koje se spajaju i stične cijevi.

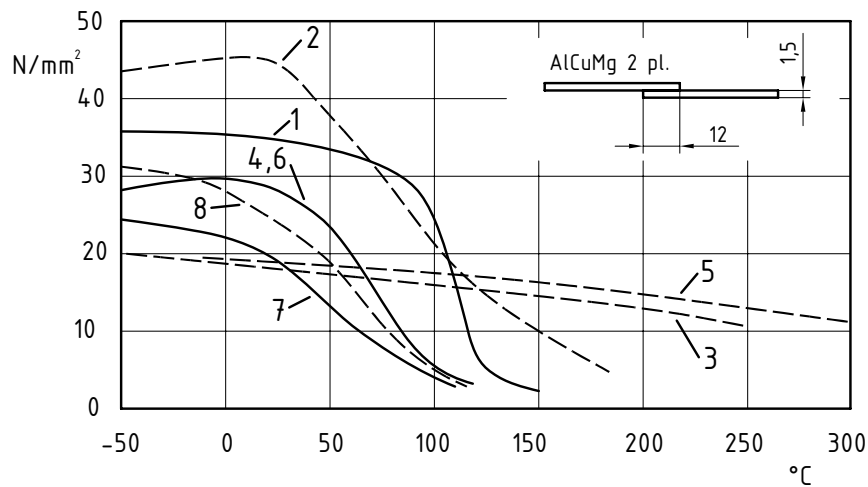


1.  $d=40$
2.  $d=25$
3.  $d=30$



Slika 4.7. Utjecaj zračnosti (debljine filma ljepila) kod cijevastih spojeva na smičnu čvrstoću spoja

Čvrstoća lijepljenih spojeva snažno zavisi od temperature. Pritom su hladno veziva ljepila osjetljivija na porast temperature od toplo vezivih. Na slici 4.8. prikazana je zavisnost čvrstoće o temperaturi konkretnog spoja za navedeno temperaturno područje. Toplo veziva ljepila se upotrebljavaju za temperature do oko 250 C (postoje i specijalna visokotemperaturna ljepila do 350 C), tako da je maksimalno dopuštene trajna temperatura opterećenog lijepljenog spoja ( ne uzimajući u obzir druge utjecaje) određena tim vrijednostima.

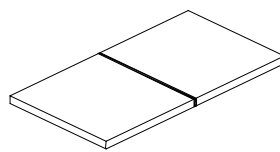


Slika 4.8. Zavisnost čvrstoće kratkotrajno statički opterećenih lijepljenih spojeva o temperaturi prema VDI 2229 **Toplo vezana ljepila** (1.epoxidno , 2. epoxid-nylon, 3. epoxid-phenol, 4. phenol-polyvinilformal, 5. polyamidno (nehrđajući čelik), 6. epoxid-polyaminoamid)  
**Hladno vezana ljepila** (7. epoxid-polyaminoamid, 8.methacrylat)

#### 4.4. Proračun lijepljenih spojeva

Obzirom da su lijepljeni spojevi osjetljivi na savojno opterećenje oblikovanjem spoja treba spriječiti da budu tako opterećeni. Ovo vrijedi i za takozvano listanje spoja tako da se zapravo proračunavaju samo smično i uvojno opterećeni lijepljeni spojevi, a rijede i vlačno opterećeni.

Kod vlačnog opterećenja računa se :



$$F_{\max} = K_A F_{naz} \quad (4.3)$$

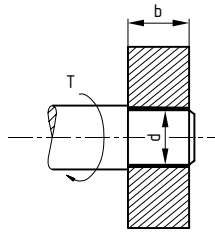
$$F_{naz} = A_L \frac{\sigma_{IB}}{S} = bs \frac{\sigma_{IB}}{S}$$

Za smično opterećenje (slika 4.4) vrijedi:

$$F_{\max} = K_A F_{naz} \quad (4.4)$$

$$F_{naz} = A_L \frac{\tau_{LB}}{S} = bl \frac{\tau_{LB}}{S}$$

Analogno za uvojno opterećenje se računa:



$$T_{\max} = K_A T_{\text{naz}} \quad (4.5)$$

$$T_{\text{naz}} = 0,5b\pi d^2 \frac{\tau_{LB}}{S}$$

U gornjim su jednadžbama:

- $F_{\max}$  maksimalna vlačna ili smična sila kojom je opterećen spoj, N
- $T_{\max}$  maksimalni moment uvijanja, Nm
- $\sigma_{LB}$  vlačna čvrstoća ljepljenog spoja, N/mm<sup>2</sup>
- $\tau_{LB}$  smična čvrstoća u spoju, N/mm<sup>2</sup>
- $A_L$  površina lijepljenja, mm<sup>2</sup>
- $l, (l_p)$  dužina lijepljenog spoja (dužina preklopa), mm
- $b$  širina spoja, mm
- $K_A$  faktor primjene, - (tablica ....)
- $s$  najmanja debljina lijepljenih elemenata, mm
- $S$  faktor sigurnosti, -

Faktori sigurnosti se kreću u granicama 1,5 do 5 kako slijedi:

- S= 1,5 do 2,5 za mirno ili pretežno mirno opterećenje
- S= 3 za istosmjerno dinamičko opterećenje
- S= 5 za naizmjenično dinamičko opterećenje

Ovo je relativno pojednostavljeni proračun lijepljenih spojeva, gdje se većina utjecaja na čvrstoću spoja uzima samo preko faktora primjene odnosno faktora sigurnosti. Kada se želi točniji proračun treba konzultirati proizvođače ljepila. Tako naprimjer firma *Loctite* većinu utjecaja daje preko osam utjecajnih faktora kojima se množi nominalno naprezanje u lijepljenom spoju, da bi se dobilo usporedno naprezanje, koje mora biti manje od dopuštenog. Obzirom da su spomenuti faktori različiti za svako ljepilo pojedinog proizvođača ovo onemogućuje za sada normizaciju točnijeg proračuna.

#### 4.4. Proračunski primjeri

##### *Primjer 1:*

Potrebno je odrediti koju vlačnu silu za slučaj mirnog opterećenja ( $K_A=1$ ) može preuzeti stično lijepljeni spoj dvije aluminijske cijevi promjera 40 mm vanjskog promjera i dužine preklopa lijepljenog spoja od 40 mm, uz faktor sigurnosti  $S=1,5$ . Radna temperatura spoja je 55°C. Prema podacima proizvođača ljepila (Araldit AW116) ono ima čvrstoću na odrez  $\tau_{LB} = 14 \text{ N/mm}^2$  pri radnoj temperaturi od 55°C (tabela 4.2).

Riješenje:

$$F_{naz} = d\pi l \frac{\tau_{LB}}{S} = 40.40 \cdot \pi \frac{14}{1,5} \approx 46890 N$$

*Primjer 2:*

Čelična remenica unutarnjeg promjera glavine  $d=25$  mm pričvršćena je na rukavac vratila lijepljenjem ljepilom Loctite 330 koje ima lomno smičnu čvrstoću  $\tau_{LB}=23$  N/mm<sup>2</sup>. Pogon radi pri uvjetima gdje je  $K_A=1,5$ . Spoj treba prenijeti okretni moment od  $T=15$  Nm. Odrediti dužinu lijepljenog spoja (širinu glavine) uz faktor sigurnosti  $S=3$ .

