

Výpočet pevnosti u lepených spojů

Stejně jako u konvenčních metod lze i pevnost spojování lepidlem vypočítat. Dosažitelná pevnost lepeného spojení a přenášený moment se v praxi vypočítají pomocí dvou vzorců:

1. Přenos axiální síly

$$F = A \cdot \tau_{D2} \cdot f_{ges}$$

příčemž

F = výtlačná síla v N

A = lepená plocha v mm²

τ_{D2} = pevnost na tlak ve stříhu v N/mm² dle DIN 54452

f_{ges} = celkový faktor

2. Přenos krouticího momentu

$$M_t = \frac{\tau_{D2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{2} \cdot f_{ges}$$

příčemž

M_t = krouticí moment v Nmm

τ_{D2} = pevnost na tlak ve stříhu dle DIN 54452

d = střední průměr válcového spojení

b = délka lepení

f_{ges} = celkový faktor

Faktorové vlivy

Stejně jako u klasických spojovacích metod musí se i u lepeného spoje počítat s f_{ges} jako výsledným faktorem postihujícím všechny vlivy konkrétního případu. 8 dále uvedených faktorů postihuje hlavní odchylky hodnoty změřených na zkušebních tělískách (laboratorní hodnoty stanoveny dle norem DIN, například pevnost ve

stříhu dle normy DIN 54452) od hodnot dosažitelných v praxi. Při výpočtu pevnosti spoje zahrnují tyto jednotlivé veličiny:

f_1 = druh materiálu

f_2 = spára

f_3 = drsnost povrchu

f_4 = spojovaná plocha a vztah b/d

b = délka náboje

d = střední průměr lepeného spoje

f_5 = směr zatížení od radiálního k axiálnímu

f_6 = druh zatížení

f_7 = teplota nasazení

f_8 = způsob vytvrzení lepidla

Ve speciálních případech, jako např. u chemických vlivů, se může ukázat nutným uvést dodatečné faktory vlivu dle vzorce

$$f_{ges} = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_8 \cdot f_n$$

V dalším textu rozvádíme jednotlivé faktory, které se vyskytují u lepených spojení pomocí lepidel anaerobního typu.

f_1 Druh materiálu

Anaerobní lepidla umožňují slepení různých druhů materiálů tím nejjednodušším způsobem. Jelikož však vytvrzování lepidla může být ovlivněno katalytickým chováním kovů a adhezivní síly závisí také na povrchové struktuře materiálu, je nutno rozlišovat faktory vlivu dle této stupnice:

umělá hmota	0,2–0,4
šedá litina	0,4–0,8
měď	0,5
galvanická úprava kovových ploch	0,5
hliník	0,7
vysoce legované oceli	0,8
ocel	1,0

Při spojování různých druhů materiálů nutno vzít vždy příslušnou nižší hodnotu faktoru. Nižší dosahované hodnoty jsou nejčastěji způsobeny oxidací povrchu nebo galvanickou vrstvou na materiálu. U umělých hmot může být slabší přilnavost lepidla způsobena horší smáčelnivostí (viz kapitolu „Předpoklady pro optimální výsledky techniky lepení“). Při lepení malých předmětů z umělých hmot jsou vhodnější často kyanakrylátová lepidla.

(viz graf vpravo). U některých produktů fy LOCTITE je však vliv velikosti spáry pro výpočet pevnosti zanedbatelný. Rovněž u spojování ocel/ocel lze počítat spíše s vyššími hodnotami faktoru. Příslušné údaje jsou obsaženy v technických podmínkách každého produktu.

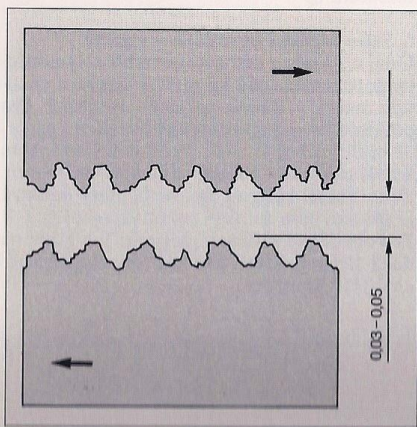
Při soustředné poloze platí vzorec:

$$\text{Spára} = \frac{D - d}{2}$$

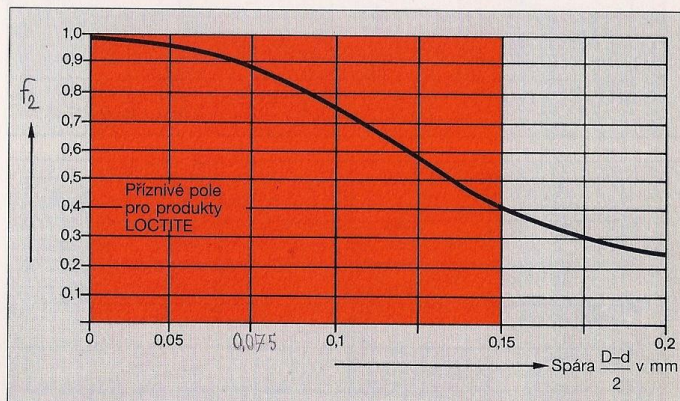
Faktor f_2
Pevnost v závislosti na válcové spáře mezi průměry.

f_2 Spára

Příznivá spára pro lepení je mezi 0,03 a 0,05 mm. V tomto rozsahu je pevnost ve smyku největší díky nejpříznivějšímu vlivu drsnosti povrchů (viz graf).

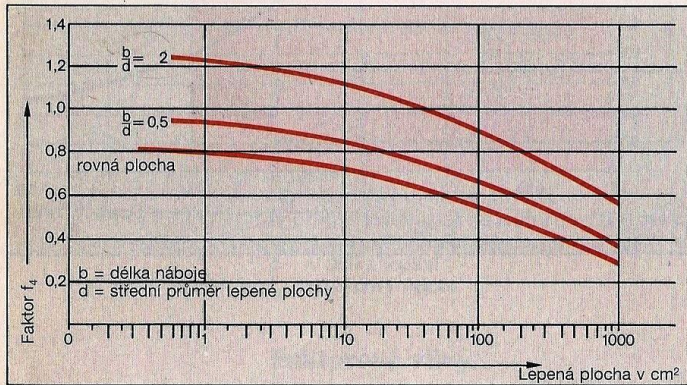
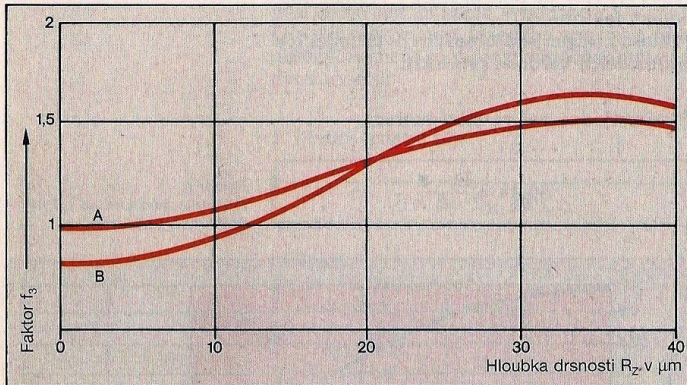


Pevnost na stříh silně klesá v závislosti na



Levý sloupec:
Spára pro lepené plochy má být mezi 0,03-0,05 mm.

Faktor f_3 Pevnost v závislosti na drsnosti povrchu
 Křivka A pro produkty LOCTITE: 326,327, 638,639,648,649,660,661,662
 Křivka B pro produkty LOCTITE: 270,290, 601,620,640,641



Faktor f_4 Pevnost v závislosti na vztahu b/d á

f_3 Drsnost povrchu (R_z)

Zatím co u nalisovaných spojení se vyžaduje hloubka drsnosti cca $4\mu\text{m}$, stačí u lepených spojení hloubka drsnosti mezi $15\text{--}40\mu\text{m}$. To šetří podstatně náklady na mechanické opracování dílů. Při větší hloubce drsnosti než $40\mu\text{m}$ vzniká nebezpečí, že se celá plocha nesmáčí a že se navíc projeví vrubový účinek. Vedlejší graf ukazuje souvislost mezi hloubkou drsnosti a pevností. Označená část je pro spojování lepením nejvýhodnější.

f_4 Spojovaná plocha a vztah b/d

Smykové napětí uvnitř spojení hřídel/náboj není po celé délce náboje rozděleno rovnoměrně a mění se časem pod vlivem plastické deformace. Optimalizace mezi rozložením napětí a dobrým smáčením celé plochy se docílí vhodným poměrem b/d (b =délka náboje, d =střední průměr lepeného spojení). U dané konstrukce zahrnujeme tento poměr b/d do výpočtu faktorem f_4 .

Vedle uvedený graf ukazuje souvislost mezi poměrem b/d , velikostí spojované plochy a faktorem f_4 .

f_5 Směr zatížení obvodově – axiálně

Údaj o hloubce drsnosti povrchu u symetrických rotačních dílů se měří a udává v axiálním směru – kolmo na směr obrábění. Pro podporu přenosu kroutícího momentu spojení hřídel/náboj je však směrodatná mnohem menší hloubka drsnosti v obvodovém směru. Tento rozdíl koriguje faktor f_3 , jehož velikost je při axiálním zatížení tohoto spojení $f_3 = 1$. Pro obvodové zatížení odečteme f_3 z grafu na další stránce, který ukazuje vliv R_z na velikost této korekce.

f₆ Druh zatížení

Trvalá pevnost spojení záleží ve velké míře na druhu působícího zatížení. Podle praktických zkušeností lze nasadit do výpočtu následující faktory vlivu únavy materiálu:

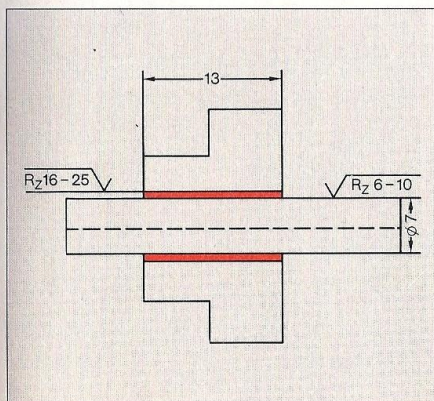
čistě statické zatížení	1,0
mírné zatížení	0,7
dynamické trvalé střídavé zatížení	0,2–0,5

f₇ Provozní teplota

Lepidla fy LOCTITE dosahují největší pevnosti při cca +20°C (pokojová teplota). Se stoupající teplotou pevnost plynule klesá. Faktor f₇ sleduje tento pokles pevnosti. V technických podmínkách platných pro jednotlivé produkty je uvedena relativní pevnost v závislosti na teplotě nasazení. Z toho se vypočte faktor f₇ podle vzorce:

$$\text{Faktor } f_7 = \frac{\text{relativní pevnost v \%}}{100}$$

Podle okolností případu lze do výpočtu zahrnout i stárnutí produktu vlivem tepla.



f₈ Způsob vytvrzení lepidla

Pevnost slepeného spojení je rovněž závislá na způsobu a druhu vytvrzování. Čím více zesíťovaných bodů polymerizované lepidlo při vytvrzení vytvoří, tím je jeho pevnost vyšší.

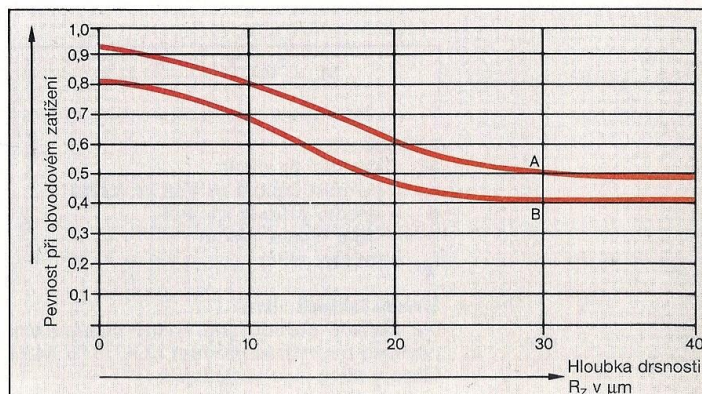
Faktor f₈

:	
Vytvrzení při pokojové teplotě	1,0
Vytvrzení pomocí aktivátorů	0,8
Vytvrzení pomocí tepla (120°C)	1,2

Příklad výpočtu spojení hřídel/náboj anaerobním lepidlem

U tohoto příkladu dle obrázku se vypočítává přenášený krouticí moment lepeného náboje z oceli St 37 na hřídel z oceli St 37. Maximální krouticí moment je 2,5 Nm, nejvyšší teplota spojených dílů je 100°C. Nalicování je H7/f7 a zatížení čistě obvodové, při malém střídání zatížení. Čas do manipulační pevnosti max. do 5 minut.

Faktor f₃ Pevnost při obvodovém zatížení
Křivka A pro produkty LOCTITE 326,327,638,639,648,649,660,661,662
Křivka B pro produkty LOCTITE 270,290,601,620,640,641



Výpočet:

Přenášený kroutící moment se vypočte dle vzorce:

$$M_t = \frac{\tau_{D2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{2} \cdot f_{ges}$$

příčemž

M_t = kroutící moment

τ_{D2} = pevnost lepidla na tlak ve stříhu

d = střední průměr spojení

b = šířka lepené plochy

f_{ges} = faktory vlivu

Určení faktorů vlivu

Na základě požadované rychlé manipulační pevnosti byl vybrán produkt LOCTITE 648 a faktory vlivu jsou následující:

f_1 : Druh materiálu: ocel/ocel	$\rightarrow f_1 = 1,0$
f_2 : Velikost spáry: 0,025 mm	$\rightarrow f_2 = 1,0$
f_3 : Drsnost povrchu: $R_z = 6-10\mu\text{m}$	$\rightarrow f_3 = 1,1$
f_4 : Spojovaná plocha: $\frac{b}{d} = \frac{13}{2,9} = 1,8$; $\frac{\text{cm}^2}{7}$	$\rightarrow f_4 = 1,1$
f_5 : Směr zatížení: čistě obvodové	$\rightarrow f_5 = 0,85$
f_6 : Způsob zatížení: střídavý	$\rightarrow f_6 = 0,5$
f_7 : Teplota: 100°C	$\rightarrow f_7 = 0,92$
f_8 : Vytvrzení při pokojové teplotě (20°C)	$\rightarrow f_8 = 1,0$
$f_{ges} = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_8 = 0,46$	

Dosaíme-li do vzorce pro výpočet specifickou pevnost na stříh τ_{D2} platnou pro produkt LOCTITE 648 hodnotou 20 N/mm² dostáváme:

$$M_t = \frac{20 \cdot \pi \cdot 7^2 \cdot 13}{2} \cdot 0,46 \text{ Nmm}$$

$M_t = 9230 \text{ Nmm}$

$M_t = 9,23 \text{ Nm}$

Přenášený kroutící moment je 9,23 Nm. Požadavek byl 2,5 Nm.

Tím je dosažena bezpečnost = 3,7.

LOCTITE 3292

TECHNICKÉ INFORMACE O PRODUKTECH

Houževnaté akrylické lepidlo, další informace viz Lepení, kapitola 9.

Vlastnosti kapaliny

	Složka A	Složka B
Druh chemikálie:	Metakrylátová	Metakrylátová
Vzhled	červený	zelený
Hustota - 25°C	1.05	1.05
Viskozita - 25°C mPa.s:	2500 až 5000	2500 až 5000
Bod vzplanutí (COC), °C:	12	12
Tlak páry, mbar	<40	<40

Fyzikální vlastnosti vytvrzeného materiálu a provozní parametry

Plná pevnost je dosažena po 4 hodinách při 22 °C na většině materiálů.

Koeficient tepelné roztažnosti ASTM D696, K ⁻¹ :	100 x10 ⁻⁶
Koeficient tepelné vodivosti ASTM C177, W.m ⁻¹ K ⁻¹ :	0.1
Doporuč. spára (při nanášení, housenka na housenku), mm; 0.25	
Maximální spára (nanesená statickým směšovačem), mm;	3

Provozní vlastnosti vytvrzeného materiálu

Pevnost v tahu a smyku, ASTM D1002, DIN 53283, N/mm ²	
Otryskaná měkká ocel	35 až 50
Žlutý dvojchroman zinku	7.5 až 15
ABS	5 až 10
PVC	5 až 10
PC	5 až 10

Pevnost v loupání: ASTM D2095, DIN 53282 N/mm	
Otryskaný hliník:	0.5 až 1
Pevnost v tahu: DIN 53288 N/mm ²	10 až 22

Vysvětlení k diagramům vlastností

(Není-li stanoveno jinak).

Zkušební postup:	Pevnost ve střihu ASTM D1002/DIN 53283
Materiál:	Pásky z otryskané oceli (GBMS)
Rychlost vytvrzení dle materiálu	Viz diagram
Rychlost vytvrz. dle lep. spáry	Viz diagram
Rychlost vytvrzení dle teploty	Viz diagram
Pevnost za tepla	Zkoušeno při teplotě Materiál: Viz diagram Vytvrzení: 24 hodin při 22°C
Stárnutí za tepla	Stárnutí za tepla: Stárnutí při stanovené teplotě a zkouška při 22°C. Materiál: Viz diagram Postup vytvrzení: 24 hodin při 22°C.

Odolnost proti chemikáliím / rozpouštědlům

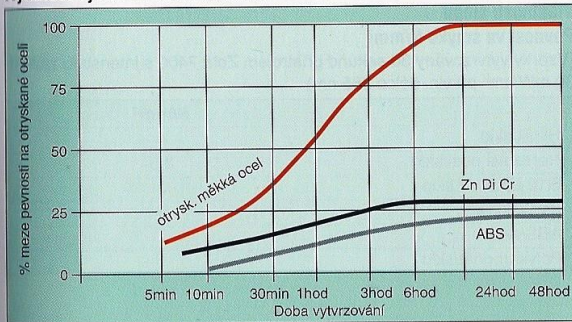
Vystárnutí za stanovených podmínek, zkoušeno při 22 °C

Zkušební postup:	Pevnost ve střihu, ASTM D1002/DIN 53283
Materiál:	1. otryskaná měkká ocel - pásky 2. dvojchroman zinku - povlak
Postup vytvrzení:	24 hodin při 22°C

Stárnutí v rozpouštědle

	Otryskaná měkká ocel			Dvojchroman zinku povlak		
	% původní pevnosti po:					
	100	500	1000	100	500	1000
	hod.	hod.	hod.	hod.	hod.	hod.
I.P.A (isopropylalk.)	80	80	80	90	90	90
Trichlorethan	80	80	75	90	90	90
Aceton	75	75	75	80	40	20
98% rel. vlhk., 40°C	90	60	60	100	100	100
10% HCl:	50	50	50	80	40	20
Motorový olej, 125°C	100	100	100	90	90	90
Voda/glycol 90°C	50	50	50	90	40	5
Benzin	90	90	90	100	90	60

Rychlost vytvrzení dle materiálu



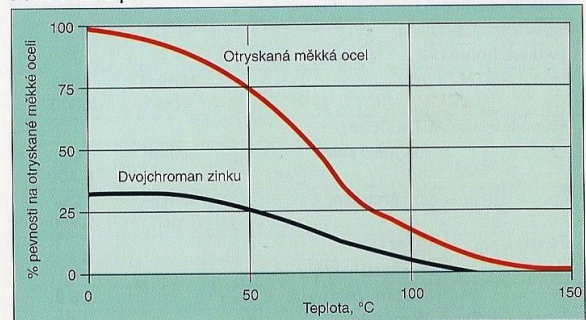
Rychlost vytvrzení dle lepené spáry



Rychlost vytvrzení dle teploty



Pevnost za tepla



Stárnutí za tepla

