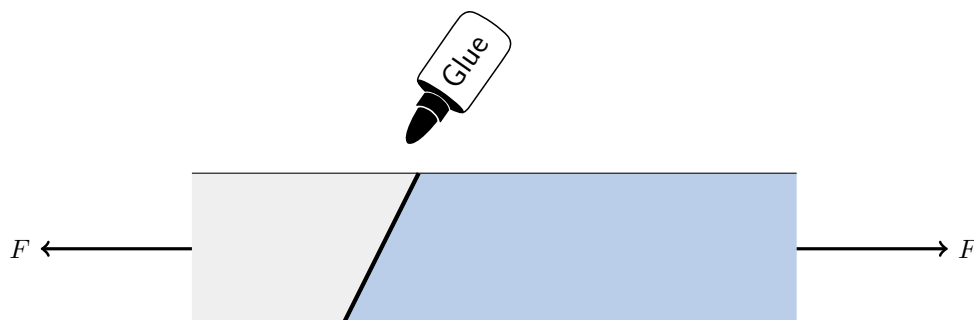


Lepené spoje

Keywords: goniometria, goniometrické funkcie, pravouhlý trojuholník

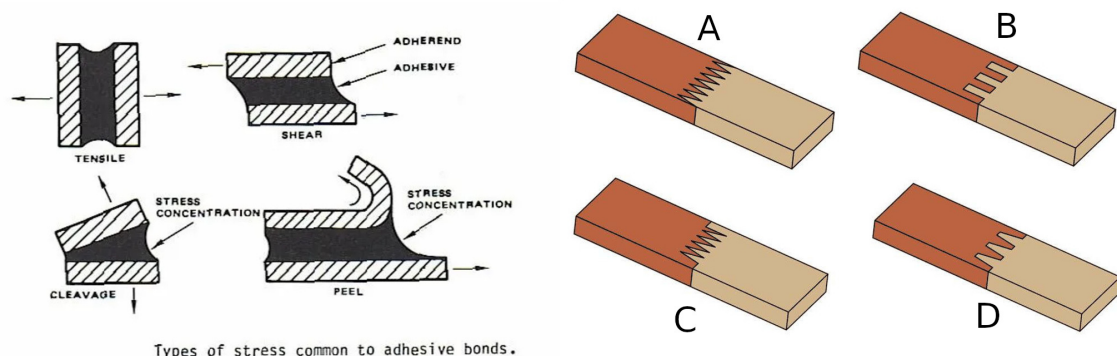
Pozrieme sa na možné praktické využitie goniometrických funkcií a vzťahov medzi dĺžkami strán pravouhlého trojuholníka. Budeme sa zaoberať problematikou lepených spojov. Ukážeme si metódy, ako rozložiť silové namáhanie spoja na viac zložiek a na väčšiu plochu. Tiež ako určiť napätie, ktoré vzniká pri namáhaní takého spoja. Vypočítame, ako sa zmení napätie v spoji pri osovom namáhaní tyče alebo nosníka, ktorý nie je zlepený čelne, ale spoj je vedený šikmo, ako je vidieť na obrázku.



Obr. 1: Šikmý spoj zvyšuje odolnosť voči namáhaniu.

Typy lepených spojov a ich namáhanie

Zo života každý pozná spájanie materiálov lepením. Pokiaľ na pevnosti výsledného spoja nezáleží, je lepenie jedným z najjednoduchších spôsobov spájania materiálov. V praxi však často potrebujeme, aby spoj bol trvanlivý a pevný. Potrebujeme, aby uniesol veľké silové zaťaženie. Lepidlá garantujú spravidla odolnosť voči normálovému namáhaniu ťahom a voči namáhaniu šmykom (tangenciálne napätie), ktoré neprekročí hodnoty dané výrobcom lepidla. Mechanické napätie vznikajúce pri namáhaní spoja silou, je podielom pôsobiacej sily a plochy, na ktorú sila pôsobí. V prípade normálového napätia je uvažovaná sila kolmá na plochu, v prípade namáhania šmykom je sila rovnobežná s plochou. Možné deformácie namáhaného spoja sú na obrázku vľavo, pričom “Tensile” ilustruje normálové namáhanie ťahom a “Shear” šmykové namáhanie.



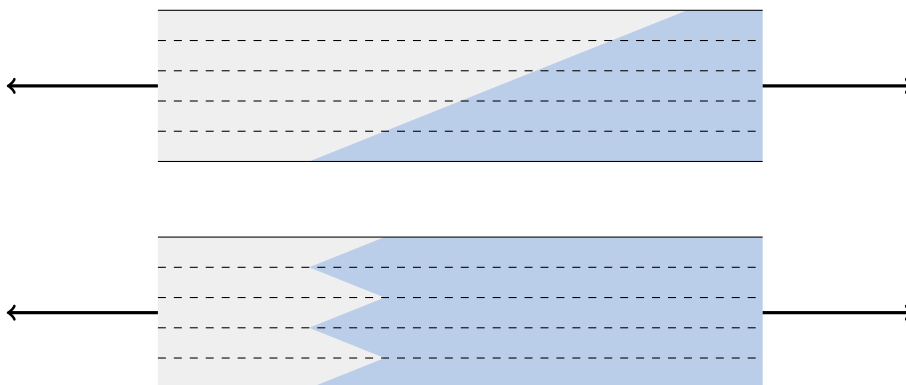
Obr. 2: Vľavo na čiernobiely obrázku sú zobrazené typy namáhania lepeného spoja. V hornej rade vľavo je normálové namáhanie spoja ťahom (Tensile) a vpravo je namáhanie šmykom (Shear). Vpravo na farebnom obrázku sú metódy umožňujúce rozložiť normálové namáhanie na väčšiu plochu a do viacerých zložiek.

Odolnosť spoja súvisí s použitým lepidlom a s lepenými materiálmi. Údaje možno nájsť u výrobcov a môžu vyzeráť napríklad takto:

- Spoj lepený sekundovým lepidlom Loctite 421 má pevnosť 18 MPa až 26 MPa na oceli a 5 MPa až 20 MPa na polykarbonáte.
- Spoj lepený disperzným lepidlom Herkules má pevnosť v šmyku pri lepení dreva 8 MPa.
- Spoj lepený lepidlom MAMUT Glue má pevnosť v ťahu 2,18 MPa a v šmyku 1,40 MPa.

Pretože napätie v spoji sa určuje ako podiel sily a plochy, pre jeho zníženie sa snažíme rozložiť silové pôsobenie do viac smerov a na väčšiu plochu. Ukážkou sú spoje na predchádzajúcom obrázku vpravo. Pri spoji B sú čelné plochy namáhané normálovým napätím doplnené plochami namáhanými čisto šmykovým napätím.

Pre nás bude zaujímavejšie spojenie šikmým spojom, pretože pri ňom je spoj vystavený súčasne normálovému aj šmykovému namáhaniu. Poznamenajme, že v praxi šikmý spoj často vidíme realizovaný inak, než je na úvodnom obrázku. Dôvod je ten, že je výhodnejšie mať spoj viac naklonený, ale zase príliš šikmý spoj by zaberal veľký priestor. V praxi je preto taký spoj realizovaný s prerušeniami, s otočením každej druhej časti a so zarovnaním jednotlivých častí nad seba.



Obr. 3: Praktická realizácia šikmého spoja. Nosník rozdelíme predpokladanými pozdĺžnymi rezmi a v každej druhej vrstve otočíme rez potom všetky časti zarovnáme nad seba.

Namáhanie šikmého spoja

Úloha 1. Uvažujme hranol so šírkou $b = 4$ cm a výškou $h = 3$ cm, ktorý je zlepený z dvoch častí šikmým spojom podľa obrázka. Spoj zvierá s čelom hranolu uhol veľkosti $\alpha = 30^\circ$. Hranol je namáhaný osovou silou $F = 1\,000$ N. Vypočítajte namáhanie spoja a porovnajte ho s namáhaním v reze kolmom na os hranolu.



Obr. 4: Zadanie úlohy

Úlohy pre samostatnú prácu

Úloha 2. Určte, pre aký uhol bude šmykové napätie v spoji podľa Úlohy 1 maximálne. Určte aj zodpovedajúce normálové napätie.

Úloha 3. Lepidlo garantuje, že spoj odolá namáhaniu, pri ktorom vzniká normálové napätie 10 MPa a šmykové napätie 8 MPa. Aká maximálna sila môže zatažiť spoj z Úlohy 1? Ako by sa odpoveď na túto otázku zmenila pre spoj pod uhlom 45° ?

Záverečné poznámky

Namáhanie v rovine spoja

Študovali sme sily, ktoré sa snažia porušiť spoj normálovým namáhaním kolmo na spoj a šmykovým namáhaním. Okrem toho silové pôsobenie môže ešte v rovine spoja natiahnuť spoj ako celok. V uvedenej analýze nás táto možnosť nezaujímala. Je však možné ju obdržať zo vzorca pre normálové napätie σ_N otočením o uhol 90 stupňov.

Analýza defektov

Rozklad namáhania do vopred zvolených smerov sa používa aj v iných situáciách inžinierskej praxe, než je lepenie. Napríklad pokiaľ je vnútri namáhaného materiálu trhlinka, znalosť silového pôsobenia umožní zhodnotiť riziká ďalšieho šírenia tohto defektu. Je potom prirodzené mechanické namáhanie transformovať do smeru defektu podobne, ako sme transformovali do smeru spoja.

Mechanické modelovanie kompozitných materiálov

Mechanické namáhanie je vhodné transformovať do skúmaných smerov aj pri štúdiu deformácie kompozitných materiálov. Môže sa jednať o umelé kompozity alebo aj o kompozity prírodné. Umelé kompozity sú napríklad materiály vystužené vláknami. Medzi prírodné kompozity patrí aj najrozšírenejší konštrukčný materiál a to drevo. Tieto kompozity majú vďaka svojej štruktúre v rôznych smeroch rôzne vlastnosti a pri štúdiu mechanického pôsobenia na takéto materiály je jednoduchšie študovať oddelene namáhanie v smeroch, ktoré súvisia so štruktúrou tohto kompozitu. Napríklad namáhanie v smere stužujúcich vlákien u umelých kompozitov alebo namáhanie v pozdĺžnom smere (po letokruhoch) u dreva. Všeobecne sa jedná o namáhanie v osiach alebo rovinách symetrie materiálu. V týchto smeroch je známa reakcia materiálu na namáhanie. Reakciu na namáhanie v iných smeroch môžeme určiť tak, že namáhanie rozložíme do jednotlivých smerov, určíme zodpovedajúce deformácie a informácie opäť zložíme, aby sme získali celkovú reakciu materiálu. Inžinieri túto problematiku poznajú ako tzv. transformáciu tenzorov a majú celý rad techník ako rýchlo a efektívne úlohy zadaného typu riešiť.

Literatúra a odkazy

Literatúra

- <https://www.lepidlatmely.cz/loctite-421-20-g-vterinove-lepidlo/>, online, 2024-04-28
- <https://www.druchema.cz/z1530-herkules-250g>, online, 2024-04-28
- <https://www.deko.ee/en/a/mamut-glue-25ml-25-ml>, online, 2024-04-29

Zdroje obrázkov

- <https://theepoxyexperts.com/general-bonding-design-guideline/>
- <https://homemade-furniture.com/woodworking-joints/finger-joint/>

- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glue_Bottle_-_The_Noun_Project.pdf