

Experimentální a výpočtová analýza lepeno-nýtovaných spojů v leteckých konstrukcích

Daniel Klepiš
Letecký ústav



ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Hlavní cíl:

- Nýtové spoje jsou ve firmě Evektor dimenzovány tak, aby zatížení přenášely pouze nýty, bez uvažování přídatného přenosu sil pomocí vrstvy lepidla, která se také podílí na silovém přenosu.
- Cílem práce je proto stanovení vlivu lepidla na statickou pevnost nýtových spojů a implementace příspěvku lepené vrstvy do výpočtů.

Dílčí cíle:

- Tvorba vhodných smykových a tlakových vzorků, které reprezentují vybrané konstrukční uzly letounu.
- Volba vhodné laboratorní metody vystárnutí lepidla, která umožní sledovat vliv možné degradace v provozu.
- Analytické metody výpočtu – pro tlakové vzorky jsou využity přístupy dle Niu, Bruhna a Timoshenka.
- MKP výpočty využívající nelineární analýzu v programu Nastran a následné porovnání výsledků.
- Vytvoření metodiky pro zahnutí podlepení do pevnostních analýz.

Předpoklady:

- Použití podlepení bude mít pozitivní dopad na statickou únosnost spoje.
- Stárnutí způsobí degradaci vrstvy lepidla a dojde ke zhoršení mechanických vlastností hybridního spoje.

EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

- V rámci práce je provedeno rozsáhlé měření 79 smykových a tlakových vzorků.
- Podoba vzorků vychází ze struktury draku malého sportovního letounu, u kterých je možné využít potenciál hybridních spojů.
- Část vzorků není podlepena a slouží tak jako referenční výsledky, další část je podlepena a následně je i většina podrobena laboratornímu stárnutí dle normy PV 1200 v rozsahu 16 a 32 cyklů.
- Podstatou této metody stárnutí je cyklická změna teploty a vlhkosti v rozsahu od -40 do +80 °C a změna relativní vlhkosti na 80 %

Obr. 1 – Tlakový a smykový vzorek.

Obr. 2 – Jeden cyklus laboratorního stárnutí dle PV 1200.

VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Smykové zkoušky

- Nevystárlé lepidlo způsobilo 66 % navýšení únosnosti spoje vůči nýtovému spoji bez podlepení.
- Vystárnutím 16 cyklů dle normy PV 1200 došlo k navýšení únosnosti o 109 %.
- 32 cyklů stárnutí dle normy PV 1200 způsobilo až 114 % navýšení únosnosti spoje.

Tlakové zkoušky

- Nevystárlé lepidlo u tlakových vzorků způsobilo 5,6 % navýšení kritické síly při ztrátě stability.
- 16 cyklů stárnutí dle normy PV 1200 došlo ke 13 % navýšení kritické síly.
- 32 cyklů stárnutí dle normy PV 1200 způsobilo pokles na 7,3 % navýšení.

Obr. 3 – Grafické porovnání výsledků smykových zkoušek.

Obr. 4 – Grafické porovnání výsledků tlakových zkoušek.

MKP ANALÝZA

Smykové vzorky

- Optimalizace tuhosti Cbush elementů – „Popuštění nýtu“.
- Optimalizace materiálového modelu lepidla na základě zkoušek.
- Kombinací optimalizovaných modelů byl vytvořen model pro hybridní spoj.

Tlakové vzorky

- Optimalizace tuhosti uložení vzorku na základě zkoušky.
- Bylo dosaženo dobré shody jak výsledné křivky tak deformačního módu s experimentem.

Obr. 5 – Výsledné křivky smykových nýtových vzorků.

Obr. 6 – Výsledné křivky smykových lepeno-nýtových vzorků.

Obr. 7 – Deformace nýtového vzorku.

Obr. 8 – Výsledné křivky tlakových lepeno-nýtových vzorků.

NÁVRH METODIKY

Smykové podlepené spoje

- Využívá principu superpozice nýtu a lepidla a je doplněn o korekční součinitel lepidla K_L , který do vztahu vnáší vliv teploty a stavu lepidla.
- Dále je vytvořena modifikovaná tuhost CBUSH elementu, která zohledňuje tuhost vrstvy lepidla. Díky tomu je možné zjednodušeně modelovat hybridní spoj pouze za pomocí CBUSH elementů.

Podlepené skládané profily

- V případě analytického výpočtu dle Timoshenka nelze uvažovat, že podlepením dojde k součtu tlouštěk stěny – výsledek je až o 88 % nadhodnocen.
- Proto je vytvořena MKP „virtuální zkouška“, která využívá optimalizované tuhosti uložení vzorku.
- Díky tomu je možné po provedení nelineární analýzy určit kritické napětí profilu při ztrátě stability.

Obr. 9 – Definice korekčního součinitele na základě zkoušek.

Obr. 10 – Schéma MKP modelu.

VYHODNOCENÍ A ZÁVĚRY

- Podlepení má výrazný vliv na únosnost nýtových spojů. V případě smykového vzorku bylo dosaženo až 114 % navýšení oproti nýtovému spoji. U tlakových vzorků byl vliv menší a to maximálně 13 %. Výsledky odporují předpokladu o degradaci lepidla, obecně docházelo k opačnému jevu.
- Z výsledků je patrné, že stárnutím dochází ke změně mechanických vlastností lepidla. To se stává odolnějším ve smyku na úkor odolnosti vůči odlupu.
- U smykových spojů byl potvrzen předpoklad, že platí princip superpozice. To je dáno použitím polyuretanového lepidla.
- Za zvýšených okolních teplot docházelo k výraznému poklesu únosnosti smykových hybridních spojů. Toto zkoušení bylo provedeno nad rámec zadání a je zde prostor pro další výzkum.
- Správné využití podlepení nýtových spojů umožňuje snížit počet nýtů potřebných k přenosu zatížení, čímž dochází ke snižování hmotnosti, pracnosti výroby a času montáže.

Obr. 11 – Potvrzení principu superpozice.

Obr. 12 – Vliv lepidla na ztrátu stability potahu mezi nýty.