

Oponentní posudek disertační práce

Autor: Ing. Natalia Kovalová
Název: Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání
Oponent: Prof. Ing. Karel Adámek, CSc.

Úvod

Předložená disertační práce shrnuje výsledky rešeršní, teoretické i experimentální práce autorky v oblasti, která je výstižně popsána nadpisem práce. Obsahuje celkem asi 100 stran textu, seznam 109 položek citované literatury a seznam 12 publikací autorky, vztahujících se k tématu disertace. Asi 30 stran tvoří 11 příloh s výsledky experimentů a s výrobní dokumentací. Řešený problém je mezioborový, zjednodušeně řečeno kombinuje znalosti z oboru textilních materiálů a mechaniky.

Význam práce pro obor

Jak je uvedeno v rešeršní části práce, téma mechanických vlastností šitých spojů je velmi významné ve výrobě technických textilií, na něž je práce zaměřena. Požadovaná je trvanlivost šitých spojů i při víceosém namáhání, přičemž v důsledku namáhání při vysoké rychlosti šití je pevnost nití po ušití švu snížena.

Postup řešení, použité metody a splnění stanoveného cíle

Kratší kap. 2 uvádí obecný přehled sektoru technických textilií. Navazující rozsáhlá kap. 3 se věnuje teoretické analýze vlastností šitých spojů a faktorů, které na ně působí, se zaměřením na šití a provozní namáhání potahů pro autosedačky. Tyto kap. 2 a kap. 3 mají rešeršní charakter a shrnují jednotlivé parametry rešerše do celku, potřebného pro cíl této disertace.

Další rozsáhlá kap. 4 shrnuje výsledky provedených experimentů – kompletní popis vlastností plošných textilií, návrh metody testování mechanických vlastností šitých spojů při víceosém namáhání s pomocí realizovaného měřicího zařízení a ověření na téměř 200 různých vzorcích. U jednoosého namáhání byly zjištěny výrazné rozdíly mezi teoretickým výpočtem a experimentální pevností švu.

Kap. 5 uvádí výsledky numerické simulace zatížení šitého spoje, tedy jakýsi numerický experiment, řešený jako alternativa k experimentům v kap. 4.

V kap. 4 a kap. 5 jsou uvedeny a shrnuty hlavní cíle práce, jak byly definované v úvodní kap. 1. Lze konstatovat, že stanovené cíle byly splněny.

Výsledky disertace a význam původního konkrétního přínosu autora disertace

Jak je uvedeno výše, stanovený cíl disertace byl splněn. Vysoké požadavky na kvalitu výrobku a vysoké náklady na opravu poškozeného švu potahu sedačky vedly k otázce, zda lze pevnost švu stanovit teoreticky nebo zkoušením vhodných vzorků na navrženém zařízení. V experimentální části byly stanoveny vhodné typy šicích nití i vliv sendvičové plošné textilie na pevnost šitých spojů při víceosém namáhání. U numerické simulace byla zjištěna dobrá korelace mezi výsledky experimentu a simulace v oblasti velkých deformací, kdy dochází

k poruše švu; v oblasti malých deformací bylo zjištěno, že tuhost modelu je větší než u experimentu.

Další vyjádření

Kladně hodnotím srozumitelný a logický popis řešeného problému, rozděleného do několika kapitol, systematickosti a logický postup prací na rozsáhlém výzkumu složitého víceoborového problému.

Podrobná rešeršní a experimentální část je nezbytná k získání relevantních podkladů k predikci pevnosti šitého švu experimentem i numerickou simulací. Výsledky simulace by bylo vhodné konfrontovat s experimenty, najít korelace, když dokonalou shodu experimentu se simulací asi nelze očekávat.

Publikace

V závěru práce je uvedeno 12 publikací autorky ve spoluautorství, které mají vztah k řešené problematice. Jejich počet i témata považuji za vhodné.

Připomínky a dotazy

Str. 34, obr. 16: Popis neodpovídá zobrazenému, např. „vliv počtu útkových nití“ je správně jemnost útku v nezákonných jednotkách Ne (správně tex), zákonnou jednotkou síly je N, ne kg. Tamtéž, obr. 17: Vliv rychlosti šití (osa x).

Str. 47, obr. 25: Fournisseur je podavač (odvíječ), který zajistí rovnoměrný odpor při odvíjení z různého tvaru cívky (plná/prázdna).

Str. 50, obr. 28: Sloupkový diagram není příliš přehledný, zdá se, že při vyšší rychlosti zatěžování je vyšší napětí. Je tu nějaká korelace, nebo jde o náhodné výsledky?

Str. 91, text nad obr.: Lze stanovit, který typ kontaktu by se tu měl použít jako ten nejvhodnější?

Str. 94, obr. 69: Jsou generované sítě dost jemné? I za zjednodušeného předpokladu, že šicí nit i šitá textilie jsou homogenní (to nejsou), by asi bylo vhodné zvětšit počet vrstev. Objeví se pak řada detailů, které se v hrubé síti nezobrazí. Obecně by bylo dobré se na zjednodušeném menším modelu zaměřit na reálně existující nehomogenity (nit se skládá z fibril, není to drátek), na deformace průřezu nití při tvorbě stehu během šití atd.

Str. 96, obr. 77: Pohled shora na pole ekvivalentního napětí je úplně jiný než pohled zdola, jemnější síť by asi zobrazila podrobnosti (tloušťka spojované textilie je považovaná za homogenní?)

Závěr

Na základě výše uvedeného doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělení akademického titulu PhD.

Karel Adámek
Liberec, červen 2023

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Ing. Natalia Kovalova: Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání

Práce o rozsahu 101 stran a několika příloh je rozčleněna do 5 kapitol následovaných závěrem. V první kapitole autorka popisuje předmět své práce, jímž je analýza mechanických vlastností šitých spojů technických textilií a vytyčuje její cíle. Těmi jsou realizace přípravku pro multiaxiální zatížení, ověření metodiky měření na tomto přípravku provedením pilotních experimentů s různými typy textilií a použitých nití a vytvoření simulačního modelu této zkoušky pomocí metody konečných prvků.

Kapitola 2 je stručným úvodem do problematiky aplikace textilních materiálů v průmyslu, zejména pak v průmyslu automobilovém, kde zájem autorky postupně směřuje k využití textilních technologií při výrobě potahů automobilových sedaček.

V kapitole 3 jsou položeny terminologické základy následujícího textu. Jsou zde vymezeny pojmy typů mechanického namáhání jak z hlediska směrů namáhání, tak z hlediska kinematiky zatěžování. Je zde také zmíněna funkce a vlastnosti spojů textilií. Podrobně jsou zde popsány faktory působící na mechanické vlastnosti šitých spojů a jejich technologické charakteristiky. Obsahuje také rešerši norem popisujících mechanické zkoušky textilních materiálů a jejich spojů, z níž autorka v této kapitole vychází.

V rozsáhlé 4. kapitole autorka popisuje provedené experimenty. Popisuje experimentální zařízení, metody a testované materiály. Těmi se rozumí různé typy sendvičových textilií používaných k čalounění automobilových sedaček a různé typy nití, které byly použity k vytvoření šitého spoje. Autorka analyzuje pevnost šitého spoje v závislosti na typu použité nitě a textilního materiálu. Zde dochází k zajímavým zjištěním ohledně závislosti pevnosti šitého spoje, která jsou přehledně dokumentována tabulkami a grafy.

5. kapitola je věnována tvorbě geometrie a sítě simulačního modelu v programu Ansys, definici materiálových vlastností, kde jsou využity údaje zjištěné experimentálně v kapitole 4 a samotnému provedení simulačního výpočtu. Jeho výsledky jsou následně porovnány s experimentálními zjištěními uvedenými v kap. 4.

Poslední 6. kapitola je věnována sumarizaci použitých metod a dosažených výsledků s naznačením dalšího vývoje.

Práce zaujme vyspělostí slohové stránky textu, ze kterého promlouvá autorčina schopnost analytického myšlení. Celý text je ovšem srážen chybami jazykovými a někdy i věcnými, s různou úrovní závažnosti. Z těch méně významných uvedme:

Str. 7 a 8 – V seznamu symbolů je F [N] použito pro označení síly působící na pohyblivou čelist. Stejný symbol F ve formě bezrozměrného čísla je zde uveden jako vektor zobecněného zatížení.

Str. 15, obr. 4 – Použití spojitě čáry v grafu nemá opodstatnění, protože mezi vyjmenovanými sektory, kde se technické textilie využívají, není plynulého přechodu. Mělo být použito disktrétního zobrazení např. pomocí grafu sloupcového.

Str. 19, obr. 6 – Vysvětluje-li autorka kinematiku pohybu s konstantním zrychlením, potom by graf polohy x v časovém intervalu t_0 až t_1 měl mít parabolický charakter.

Str. 31, obr. 14 - Vektory F_1 , F_2 , F_3 jsou v textu uváděny jako napětí. Zřejmě se ale jedná o síly, což by korespondovalo se seznamem symbolů na str. 7. Seznam symbolů je třeba řadit podle abecedy.

Str. 63, odst. 2 – Autorka v práci zdůrazňuje přínos zavedení předpokladu víceosé napjatosti v textilií, pro ilustraci ale uvádí Hookeův zákon pro jednoosou napjatost.

Str. 68, obr. 46 b – V grafu chybějí číselné kóty.

Str. 73, poslední odst. – Relativní prodloužení má zde uvedenu jednotku [mm], má být ovšem bezrozměrné.

Str. 76, druhý odstavec – Ve vztahu pro odvěsnu AB má být R_0 v druhé mocnině, taktéž ve vztahu (35) na téže straně.

Str. 76 – Ve vztahu pro L_1 chybí závorka.

Str. 76 – Ve vztahu (35) chybí započtení dvojnásobku vzdálenosti BC v délce L_1 . Na str. 74 je tento vztah uveden správně, ovšem s neopodstatněným použitím symbolu sjednocení.

Str. 82, poslední odst. – Z terminologického hlediska σ_j není vektor napětí, ale sloupcová matice složek tenzoru napětí, analogicky u ε_j .

Str. 85, vztah (41) – ν je v tabulce 25 použito jako Poissonovo číslo, ve stejném smyslu je definováno vztahem (40). U vztahu (41) je ale nesprávně popsáno jako Poissonova konstanta, což je převrácená hodnota Poissonova čísla. (Jen pro upřesnění, konstanta není Poissonová, ale Poissonova.)

Str. 87, obr. 60 – Název křivky je Bézierova nikoli Beziérová.

Str. 94, obr. 69 – Síť modelu textilie má po tloušťce tři vrstvy prvků. Pokud jsou každé vrstvě přiřazeny stejné materiálové vlastnosti (z textu nevyplývá, že by tomu bylo jinak) potom je neopodstatněné, aby jedna z vrstev měla odlišnou tloušťku.

Text práce je z jazykového hlediska pěkně upravený asi do str. 30. Potom se začíná objevovat větší množství chyb, které by bylo pomocí jazykové korektury možné odstranit. Bohužel se v textu vyskytují i věty, které nedávají smysl, např. na str. 32, poslední odst. Občas se vyskytnou chybné odkazy na obrázky, např. str. 60, 1. věta posledního odstavce, odkaz na obr. 36, str. 71, poslední odstavec, odkaz na obr. 46.

Jako vážnější připomínky uvádím tyto:

Str. 70, poslední odstavec – Zdůvodnění rozdílů v pevnosti šitých spojů při kvazistatické zkoušce nelze opírat o tvrzení, že „každé začínající zatížení a každá změna zatížení potřebuje jistý čas k tomu, aby se přenesla na druhý konec experimentálního vzorku“. Toto zdůvodnění je chybné. V případě kvazistatického zatížení, které bylo v práci předpokládáno a realizováno, musíme vycházet z platnosti 3. Newtonova zákona akce a reakce. Akce a reakce vznikají současně. Autorčino tvrzení by mělo opodstatnění, pokud by vyšetřovala např. rázové děje.

Str. 74, obr. 51 – Je zde vysvětleno, že poloha bodu B, který je tečným bodem přímkové části meridiánu určené body A, B, je zjištěna experimentálně obarvením koule a změřením průměru kulového otisku. Tuto část experimentu je možné vynechat, protože polohu tečného bodu B lze stanovit výpočtem. Je výsledkem řešení polohy tečny ke kružnici, kdy tečna prochází bodem A, přičemž poloměr kružnice R_0 a polohu středu D známe. Potom je možné dopočítat poloměr r_0 i úhel α .

Str. 85 – Tato partie je nedostatečně vysvětlená. Není jasné, jak byly vypočteny hodnoty modulů pružnosti ve smyku G_{12} , G_{23} , G_{13} uvedené v tab. 25. Vztah (41) pro výpočet G platí pouze pro izotropní materiál. V práci je materiál textilie považován za ortotropní. Proto je potřeba použít jiného vztahu. Stejně tak modul E_3 určený z tahové zkoušky v diagonálním směru plošné textilie patrně není modulem pružnosti materiálu v ose z (obr. 65 nahore).

Otázky k zodpovězení:

- 1) Co značí zelená křivka na obr. 51?
- 2) Z obr. 69 na str. 94 je zřejmé, že k vytvoření sítě konečných prvků byly zvoleny prvky typu tetrahedron. Mohla by to autorka zdůvodnit? Je to důsledek volby automaticky generované sítě? Geometrie tělesa (textilie) se nejeví jako příliš složitá. Proč pro tvorbu sítě nebyly použity prvky typu hexahedron, které by bylo s ohledem na spolehlivost výsledku možné preferovat?
- 3) V kapitole 5 je tvar modelu niti ve švu vytvořen pomocí Bézierovy křivky. Tento tvar ale reálně vzniká procesem šití, kdy lze předpokládat, že se tím do niti vnese i jisté předpětí ještě před započítím samotné zatěžovací zkoušky. Je toto předpětí v simulační modelu uvažováno? Pokud ne, jaký je názor autorky na to, jak by ovlivnilo výsledek?

Autorka řešené téma v počátku své práce zasadila do širokého kontextu průmyslového využití technických textilií. Podrobně vysvětluje technické aspekty procesu šití s ohledem na technologii výroby, ale i s ohledem na probíhající fyzikální děje. Uvádí návrh přípravku pro multiaxiální zatížení textilie s možností pořízení videozáznamu vysokorychlostní kamerou. Dále se věnuje simulaci této zkoušky pomocí metody konečných prvků. Vzhledem ke složitosti problému, tato část obsahuje oproti reálnému experimentu určitá zjednodušení. Proto bych spíše než o ověření simulace multiaxiálního zatížení experimentem hovořil o provedení pilotní simulace, která odkrývá další výzvy do budoucí práce. Cíle práce, které si autorka vytyčila v kap. 1.2, byly splněny.

Doporučuji práci k obhajobě.

6. července 2023

doc. Ing. David CírkI, Ph.D.
Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti
Technická univerzita v Liberci