

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: Vstřikování termoplastů vyztužených krátkými skleněnými vlákny – Analýza orientace a homogenizace vláken ve výstřiku

Doktorand: Ing. Stefan Krebs

Pracoviště: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie Fakulta strojní České vysoké učení technické v Praze

Oponent: prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE

Pracoviště: Katedra materiálu a strojírenské metalurgie Fakulta strojní Západočeská univerzita v Plzni

Posudek byl vypracován na základě dopisu 898/12921/O/2022 o jmenování oponentem disertační práce Ing. Stefana Krebse ze dne 1.7. 2022.

V oponentském posudku se na základě pokynů pro vypracování vyjadřují k:

- dosažení stanoveného cíle disertační práce,
- úrovni rozboru současného stavu řešené problematiky,
- teoretickému přínosu disertační práce,
- praktickému přínosu disertační práce,
- vhodnosti použitých metod řešení a způsobu, jak byly použité metody aplikovány,
- prokázání odpovídajících znalostí doktoranda v daném oboru,
- formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni,
- doporučení či nedoporučení disertační práce k obhajobě.

Úvod posuzující aktuálnost zvoleného tématu

Disertační práce se věnuje vlivu orientace vyztužujících vláken ve vazbě vstřikování termoplastů a jejich dopadu na mechanické vlastnosti. Tyto výsledky jsou podpořeny provedenou numerickou simulací. Kompozitní materiály složené vyztužující fází skleněných vláken a polymerní matricí na bázi termoplastů (polyamid) jsou v praxi velmi častým materiálem, proto analýza vlastností a jejich vazba na výrobu je velmi aktuálním tématem, který má vysoký disertabilní potenciál s výstupy aplikovatelnými do praxe.

Disertační práce má 10 popisných kapitol a další 4 kapitoly obsahují seznamy literárních zdrojů, obrázků a tabulek a rovněž publikační činnost autora. První 4 kapitoly obsahují rešeršní část, přičemž v kapitole 3 jsou uvedeny cíle disertační práce. Od páté kapitoly jsou uvedeny praktické informace týkající se použitého zařízení (přístrojů), použitých původních, nebo i upravených metodik. Sedmá kapitola se věnuje výsledkům a jejich diskusi. Osmá kapitola je závěrečná diskuse. Velmi cenná je i kapitola pojednávající o doporučení pro další postup a následně je v desáté kapitole uveden závěr.

Uvedené členění kapitol má svůj logický rámec, který dovoluje získat jak teoretický základ s následnými praktickými výsledky a jejich diskusí ve vazbě na možnosti uplatnění v praxi. Za přínosné považují rovněž uvedení cílů disertační práce až po uvedení problematiky kompozitních materiálů, protože stanovené cíle tak mají logické opodstatnění.

Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle disertační práce mají 4 body. Jednotlivé cíle na sebe navazují. Jako první cíl je uvedeno „nalezení kvalitativních podmínek pro prasknutí výstřiků kompozitních částí z polyamidu vyztuženého krátkými skleněnými vlákny.“ Z daného popisu, ale i z dalších informací není zcela jasné, co je myšleno uvedenými „kvalitativními podmínkami“. Na tento první cíl, který tak není zcela jasně definován, se vztahují všechny následující tři cíle. Disertační práce v dalších kapitolách uvádí, jaké kvalitativní podmínky byly sledovány, nicméně v cílech měly být lépe definovány.

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Jak již bylo uvedeno, disertační práce se opírá o provedenou rešeršní studii, která zahrnuje 81 citačních zdrojů. Citace odpovídají normě ČSN ISO 690, avšak jejich číselné označení je zavádějící, protože 12 citovaných zdrojů je spárováno a 8 zdrojů chybí (59 až 66). Tímto je znemožněna identifikace příslušných publikačních odkazů. Na druhou stranu uvedené citace se aktuálně vztahují k danému tématu a poskytují celou řadu důležitých poznatků. Uvedené poznatky měly být více provázány, uvedeny do větší hloubky a měly více pracovat s dosaženými daty. V úvodu disertační práce jsou uvedeny pouze výhody kompozitních materiálů, zde již měly být popsány také nedostatky, a to i ve vazbě na řešenou disertační práci. Obr. 2 má nepřesný popis, zde má být uvedeno „vytahování vláken“ z matrice, nikoliv „vztahování vláken“. Jestliže se posuzuje pevnost kompozitu je dobře, že je uvedena pevnost matrice, ale měla být uvedena i pevnost vyztužující fáze. Měly být také více rešeršně diskutovány souvislosti mezi koncentrací vyztužující fáze a mechanickými vlastnostmi, tak jak je to uvedeno, je to pouze v rovině konstatování. Obr. 34 je dalším příkladem zjednodušení poskytnuté informace o skutečné viskozitě nevyztužené matrice PA a zdánlivé viskozitě PA-GF. Zde je otázkou, co je myšleno pojmem „zdánlivá viskozita“. Jak již bylo uvedeno, celá řada dalších rešeršních informací je významným přínosem nejen pro disertační práci (její následnou praktickou část), ale i pro širší odbornou veřejnost, protože komplexně shrnuje jednotlivé souvislosti mezi koncentrací a orientací vyztužujících vláken a očekávanými vlastnostmi kompozitu. Autor disertační práce měl více rozepsat, jak bylo zařízení, které vzniklo na základě jeho autorských patentových práv, využito pro danou disertační práci.

Teoretický přínos disertační práce

Rešeršní studie cíleně zahrnuje nejdůležitější poznatky z oblasti kompozitních materiálů. Doktorand mohl více pracovat s informacemi, které jsou konfrontační jak k dalším publikačním zdrojům, tak k jeho vlastním zkušenostem. Na několika místech je zbytečně stručný a uvedené informace tak nejsou dotaženy do diskutabilního závěru, nebo mají charakter pouhého konstatování bez potřebné hloubky. Jak již bylo uvedeno, některé citované zdroje jsou chybně

označeny, což zhoršuje možnost vlastní revizní rešerše, popř. hlubší zpracování uvedených informací. (Citace nejsou důležité jen kvůli případnému plagiátorství, ale především pro další práci s poskytnutými informacemi). V tomto směru je teoretický přínos disertační práce zbytečně oslaben.

Vhodnost použitých metod řešení

Doktorand Ing. Stefan Krebs se ve své práci věnuje jednotlivým metodám, které aplikuje na shodných vzorcích, u nichž vyhodnocuje dosažené výsledky. Jediný rozdíl je v segmentech, které byly odebrány v jednotlivých vzorcích. V tomto směru je experiment ochuzen o širší škálu rozdílných vzorků. Uvedenými metodami hodnotí vliv homogenity rozložení vláken u kompozitů, u nichž má být konstantních 30 % GF. Tímto zjistil, že jeden segment (6) má v orientaci vláken jisté heterogenity a k tomuto segmentu následně vztahuje svoje poznatky. Dále popisuje vhodnost jednotlivých metod, ale opět bez většího množství vzorků stejného druhu, ale i definovaně odlišných vzorků není jasné, jakou roli zde hraje nepřesnost měření a interpretace dosažených výsledků. Bylo by vhodné, kdyby na základě rešeršní studie vybral několik analytických metod, které by prověřil na větším množství stejných vzorků a vzorků s definovaným množstvím a orientací vyztužujících vláken.

Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Jednotlivé metody byly použity pro získané segmenty, u nichž v již uváděné oblasti 6 se lišilo rozložení zpevňující fáze. Některé metody neprokázaly svoje opodstatnění, protože dosažené výsledky nebyly přesné, popř. neměly požadovanou vypovídající hodnotu. V disertační práci jsou uvedeny jednotlivé metody, které jsou vždy představeny v kapitole s číslem experimentu. Některé všeobecně známé metody, např. metalografie (plastografie) jsou zbytečně popisné, naopak některé informace chybí (např. využití obrazové analýzy pro stanovení orientace vlákna). Jistou míru nepřehlednosti vnáší diskuse výsledků až v následující kapitole (7.) a následná závěrečná diskuse k výsledkům (kap. 8). Rovněž větší provázanost jednotlivých dosažených výsledků by disertační práci přidala hlubší význam vědecké práce. Takto se jedná především o shrnutí jednotlivých dosažených výsledků bez hlubších vazeb

Zda doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru

Doktorand Ing. Stefan Krebs prokázal nejen na základě hodnocené disertační práce hluboké znalosti v oboru kompozitních materiálů tvořených polymerní maticí a vyztužujícími skleněnými vlákny, ale i na základě předchozích publikačních výstupů a patentu (Patent DE 19631532). Pro hlubší studium kompozitních materiálů i z hlediska jejich vnitřní skladby by bylo nejvhodnější použít micro-Computer-Tomographie, která by dovolila detailně sledovat jednotlivé rozdíly v uvedených segmentech. Na druhou stranu doktorand vhodně využil přístrojové vybavení, které je na pracovišti k dispozici. Provedená rešerše rovněž vypovídá o jeho schopnosti se v daném problému orientovat a zvolit správné řešení včetně použitých metod.

Formální úroveň práce

Z mého pohledu nedostatkem disertační práce je její formální úroveň, která je zbytečně snížena některými odbornými obraty, stručností a místy zjednodušenými výroky, nebo naopak rozepisováním nepodstatných informací. Některé snímky by bylo vhodné dopracovat, lépe popsat, nebo použít jiný font popisu. Již uváděný seznam použitých literárních zdrojů má svoje zbytečné nedostatky, které mohl autor snadno opravit. V každé kapitole je několik zbytečných nedostatků, které by bylo možné snadno odstranit, kdyby jim autor věnoval náležitou pozornost. Na druhou stranu doktorand zpracoval velké množství naměřených dat, které jsou uvedeny přehledně s následným komentářem.

Doporučení k obhajobě

Posuzovaná disertační práce „Vstříkování termoplastů vyztužených krátkými skleněnými vlákny – Analýza orientace a homogenizace vláken ve výstřiku“ autora Ing. Stefana Krebse splňuje věcné a formální kritéria pro disertační práci. Autor prokázal dostatečné teoretické a praktické znalosti, které mu umožnily získat cenné výsledky a následně je správně analyzovat a vyhodnotit.

Na základě výše uvedeného posudku **doporučuji**, aby byla tato disertační práce předložena k obhajobě před komisí daného doktorského studijního programu. Po úspěšné obhajobě, aby byl panu Ing. Stefanu Krebsovi dle zák. č. 111/1998 Sb. § 47 **udělen vědecko-akademický titul *philosophiae doctor (Ph.D.)***.

Otázky k obhajobě:

- 1) Jak deformace matrice ovlivňuje vznik a šíření trhliny v kompozitu?
- 2) Proč nebyly použity kompozity s odlišným množstvím zpevňující fáze?
- 3) Jak se změnila hmotnost vzorků po sušení?
- 4) Jaké bylo charakteristické poškození kompozitu po provedené statické zkoušce v tahu (viz. obr. 2)?

V Plzni, 11. července 2022

prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: Vstřikování termoplastů vyztužených krátkými skleněnými vlákny – Analýza orientace a homogenizace vláken ve výstřiku

Doktorand: Ing. Stefan Krebs

Pracoviště: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie Fakulta strojní České vysoké učení technické v Praze

Oponent: prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE

Pracoviště: Katedra materiálu a strojírenské metalurgie Fakulta strojní Západočeská univerzita v Plzni

Posudek byl vypracován na základě dopisu 898/12921/O/2022 o jmenování oponentem disertační práce Ing. Stefana Krebse ze dne 1.7. 2022.

V oponentském posudku se na základě pokynů pro vypracování vyjadřují k:

- dosažení stanoveného cíle disertační práce,
- úrovni rozboru současného stavu řešené problematiky,
- teoretickému přínosu disertační práce,
- praktickému přínosu disertační práce,
- vhodnosti použitých metod řešení a způsobu, jak byly použité metody aplikovány,
- prokázání odpovídajících znalostí doktoranda v daném oboru,
- formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni,
- doporučení či nedoporučení disertační práce k obhajobě.

Úvod posuzující aktuálnost zvoleného tématu

Disertační práce se věnuje vlivu orientace vyztužujících vláken ve vazbě vstřikování termoplastů a jejich dopadu na mechanické vlastnosti. Tyto výsledky jsou podpořeny provedenou numerickou simulací. Kompozitní materiály složené vyztužující fází skleněných vláken a polymerní matricí na bázi termoplastů (polyamid) jsou v praxi velmi častým materiálem, proto analýza vlastností a jejich vazba na výrobu je velmi aktuálním tématem, který má vysoký disertabilní potenciál s výstupy aplikovatelnými do praxe.

Disertační práce má 10 popisných kapitol a další 4 kapitoly obsahují seznamy literárních zdrojů, obrázků a tabulek a rovněž publikační činnost autora. První 4 kapitoly obsahují rešeršní část, přičemž v kapitole 3 jsou uvedeny cíle disertační práce. Od páté kapitoly jsou uvedeny praktické informace týkající se použitého zařízení (přístrojů), použitých původních, nebo i upravených metodik. Sedmá kapitola se věnuje výsledkům a jejich diskusi. Osmá kapitola je závěrečná diskuse. Velmi cenná je i kapitola pojednávající o doporučení pro další postup a následně je v desáté kapitole uveden závěr.

Uvedené členění kapitol má svůj logický rámec, který dovoluje získat jak teoretický základ s následnými praktickými výsledky a jejich diskusí ve vazbě na možnosti uplatnění v praxi. Za přínosné považují rovněž uvedení cílů disertační práce až po uvedení problematiky kompozitních materiálů, protože stanovené cíle tak mají logické opodstatnění.

Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle disertační práce mají 4 body. Jednotlivé cíle na sebe navazují. Jako první cíl je uvedeno „nalezení kvalitativních podmínek pro prasknutí výstřiků kompozitních částí z polyamidu vyztuženého krátkými skleněnými vlákny.“ Z daného popisu, ale i z dalších informací není zcela jasné, co je myšleno uvedenými „kvalitativními podmínkami“. Na tento první cíl, který tak není zcela jasně definován, se vztahují všechny následující tři cíle. Disertační práce v dalších kapitolách uvádí, jaké kvalitativní podmínky byly sledovány, nicméně v cílech měly být lépe definovány.

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Jak již bylo uvedeno, disertační práce se opírá o provedenou rešeršní studii, která zahrnuje 81 citačních zdrojů. Citace odpovídají normě ČSN ISO 690, avšak jejich číselné označení je zavádějící, protože 12 citovaných zdrojů je spárováno a 8 zdrojů chybí (59 až 66). Tímto je znemožněna identifikace příslušných publikačních odkazů. Na druhou stranu uvedené citace se aktuálně vztahují k danému tématu a poskytují celou řadu důležitých poznatků. Uvedené poznatky měly být více provázány, uvedeny do větší hloubky a měly více pracovat s dosaženými daty. V úvodu disertační práce jsou uvedeny pouze výhody kompozitních materiálů, zde již měly být popsány také nedostatky, a to i ve vazbě na řešenou disertační práci. Obr. 2 má nepřesný popis, zde má být uvedeno „vytahování vláken“ z matrice, nikoliv „vztahování vláken“. Jestliže se posuzuje pevnost kompozitu je dobře, že je uvedena pevnost matrice, ale měla být uvedena i pevnost vyztužující fáze. Měly být také více rešeršně diskutovány souvislosti mezi koncentrací vyztužující fáze a mechanickými vlastnostmi, tak jak je to uvedeno, je to pouze v rovině konstatování. Obr. 34 je dalším příkladem zjednodušení poskytnuté informace o skutečné viskozitě nevyztužené matrice PA a zdánlivé viskozitě PA-GF. Zde je otázkou, co je myšleno pojmem „zdánlivá viskozita“. Jak již bylo uvedeno, celá řada dalších rešeršních informací je významným přínosem nejen pro disertační práci (její následnou praktickou část), ale i pro širší odbornou veřejnost, protože komplexně shrnuje jednotlivé souvislosti mezi koncentrací a orientací vyztužujících vláken a očekávanými vlastnostmi kompozitu. Autor disertační práce měl více rozepsat, jak bylo zařízení, které vzniklo na základě jeho autorských patentových práv, využito pro danou disertační práci.

Teoretický přínos disertační práce

Rešeršní studie cíleně zahrnuje nejdůležitější poznatky z oblasti kompozitních materiálů. Doktorand mohl více pracovat s informacemi, které jsou konfrontační jak k dalším publikačním zdrojům, tak k jeho vlastním zkušenostem. Na několika místech je zbytečně stručný a uvedené informace tak nejsou dotaženy do diskutabilního závěru, nebo mají charakter pouhého konstatování bez potřebné hloubky. Jak již bylo uvedeno, některé citované zdroje jsou chybně

označeny, což zhoršuje možnost vlastní revizní rešerše, popř. hlubší zpracování uvedených informací. (Citace nejsou důležité jen kvůli případnému plagiátorství, ale především pro další práci s poskytnutými informacemi). V tomto směru je teoretický přínos disertační práce zbytečně oslaben.

Vhodnost použitých metod řešení

Doktorand Ing. Stefan Krebs se ve své práci věnuje jednotlivým metodám, které aplikuje na shodných vzorcích, u nichž vyhodnocuje dosažené výsledky. Jediný rozdíl je v segmentech, které byly odebrány v jednotlivých vzorcích. V tomto směru je experiment ochuzen o širší škálu rozdílných vzorků. Uvedenými metodami hodnotí vliv homogenity rozložení vláken u kompozitů, u nichž má být konstantních 30 % GF. Tímto zjistil, že jeden segment (6) má v orientaci vláken jisté heterogenity a k tomuto segmentu následně vztahuje svoje poznatky. Dále popisuje vhodnost jednotlivých metod, ale opět bez většího množství vzorků stejného druhu, ale i definovaně odlišných vzorků není jasné, jakou roli zde hraje nepřesnost měření a interpretace dosažených výsledků. Bylo by vhodné, kdyby na základě rešeršní studie vybral několik analytických metod, které by prověřil na větším množství stejných vzorků a vzorků s definovaným množstvím a orientací vyztužujících vláken.

Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Jednotlivé metody byly použity pro získané segmenty, u nichž v již uváděné oblasti 6 se lišilo rozložení zpevňující fáze. Některé metody neprokázaly svoje opodstatnění, protože dosažené výsledky nebyly přesné, popř. neměly požadovanou vypovídající hodnotu. V disertační práci jsou uvedeny jednotlivé metody, které jsou vždy představeny v kapitole s číslem experimentu. Některé všeobecně známé metody, např. metalografie (plastografie) jsou zbytečně popisné, naopak některé informace chybí (např. využití obrazové analýzy pro stanovení orientace vlákna). Jistou míru nepřehlednosti vnáší diskuse výsledků až v následující kapitole (7.) a následná závěrečná diskuse k výsledkům (kap. 8). Rovněž větší provázanost jednotlivých dosažených výsledků by disertační práci přidala hlubší význam vědecké práce. Takto se jedná především o shrnutí jednotlivých dosažených výsledků bez hlubších vazeb

Zda doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru

Doktorand Ing. Stefan Krebs prokázal nejen na základě hodnocené disertační práce hluboké znalosti v oboru kompozitních materiálů tvořených polymerní maticí a vyztužujícími skleněnými vlákny, ale i na základě předchozích publikačních výstupů a patentu (Patent DE 19631532). Pro hlubší studium kompozitních materiálů i z hlediska jejich vnitřní skladby by bylo nejvhodnější použít micro-Computer-Tomographie, která by dovolila detailně sledovat jednotlivé rozdíly v uvedených segmentech. Na druhou stranu doktorand vhodně využil přístrojové vybavení, které je na pracovišti k dispozici. Provedená rešerše rovněž vypovídá o jeho schopnosti se v daném problému orientovat a zvolit správné řešení včetně použitých metod.

Formální úroveň práce

Z mého pohledu nedostatkem disertační práce je její formální úroveň, která je zbytečně snížena některými odbornými obraty, stručností a místy zjednodušenými výroky, nebo naopak rozepisováním nepodstatných informací. Některé snímky by bylo vhodné dopracovat, lépe popsat, nebo použít jiný font popisu. Již uváděný seznam použitých literárních zdrojů má svoje zbytečné nedostatky, které mohl autor snadno opravit. V každé kapitole je několik zbytečných nedostatků, které by bylo možné snadno odstranit, kdyby jim autor věnoval náležitou pozornost. Na druhou stranu doktorand zpracoval velké množství naměřených dat, které jsou uvedeny přehledně s následným komentářem.

Doporučení k obhajobě

Posuzovaná disertační práce „Vstřikování termoplastů vyztužených krátkými skleněnými vlákny – Analýza orientace a homogenizace vláken ve výstřiku“ autora Ing. Stefana Krebse splňuje věcné a formální kritéria pro disertační práci. Autor prokázal dostatečné teoretické a praktické znalosti, které mu umožnily získat cenné výsledky a následně je správně analyzovat a vyhodnotit.

Na základě výše uvedeného posudku **doporučuji**, aby byla tato disertační práce předložena k obhajobě před komisí daného doktorského studijního programu. Po úspěšné obhajobě, aby byl panu Ing. Stefanu Krebsovi dle zák. č. 111/1998 Sb. § 47 **udělen vědecko-akademický titul *philosophiae doctor (Ph.D.)***.

Otázky k obhajobě:

- 1) Jak deformace matrice ovlivňuje vznik a šíření trhliny v kompozitu?
- 2) Proč nebyly použity kompozity s odlišným množstvím zpevňující fáze?
- 3) Jak se změnila hmotnost vzorků po sušení?
- 4) Jaké bylo charakteristické poškození kompozitu po provedené statické zkoušce v tahu (viz. obr. 2)?

V Plzni, 11. července 2022

prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE