

Konstrukce přípravku pro zkoušku smykem dle DIN 53397

Lukáš Křenek

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Křenek**
Osobní číslo: **T14597**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce přípravku pro zkoušku smykem dle DIN 53397**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše v dané oblasti.
2. Návrh konstrukčního řešení.
3. Zhotovení výkresové dokumentace.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. června 2016

Ve Zlíně dne 4. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: KŘEML LUKÁŠ

Obor: TECHNOLOGIE
ZÁŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17.5.2016

Křemel Lukáš

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Úkolem této bakalářské práce bylo zkonstruovat přípravek pro zkoušku smykem dle normy DIN 53397 s možností použití na trhacím stroji od firmy Zwick. Teoretická část se zabývá z velké části vláknovými kompozity a zkušebními metodami, které se používají pro zjišťování smykových vlastností kompozitních materiálů. V experimentální části jest popsáno konstrukční řešení přípravků.

Klíčová slova: kompozit, přípravek, zkouška smykem

ABSTRACT

The task of this bachelor thesis was to design a device for the shear test according to DIN 53397 with the possibility of use on the tensile-testing machine Zwick. The theoretical part deals largely with fiber composites and test methods, that are used to determinate shear characteristics of the composite materials. In the experimental part, the construction layout of the devices are described.

Keywords: composite, preparation, shear test

Děkuji mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITY	12
1.1 ÚVOD	12
1.2 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ.....	12
1.3 VLASTNOSTI KOMPOZITŮ	13
1.4 MATRICE	13
1.5 VÝZTUŽ.....	13
1.5.1 Vlákna	14
1.5.2 Druhy vazeb	14
1.6 ROZDĚLENÍ KOMPOZITŮ	15
1.6.1 Vláknové kompozity	16
1.6.2 Částicové kompozity	16
1.7 TECHNOLOGIE VÝROBY	17
1.7.1 Ruční kladení za mokra.....	17
1.7.2 Nanášení sprejem	18
1.7.3 Lisování se vstříkem	19
1.7.4 Vakuová infúze pod pružnou folií.....	20
1.7.5 Pultruze	20
1.7.6 Výroba prepregu.....	21
2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITŮ	23
2.1 ÚVOD	23
2.2 DRUHY STATICKÝCH ZKOUŠEK.....	23
2.2.1 Zkouška tahem	23
2.2.2 Zkouška jednosměrným tlakem	24
2.2.3 Zkouška ohybem	24
2.2.4 Zkouška smykem	25
2.2.5 Zkouška interlaminárním smykem.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
3 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKŮ	31
3.1 ÚVOD	31
3.2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ	31
3.3 NORMA DIN 53397	32
3.4 METODA INTERLAMINÁRNÍCH PEVNOSTÍ VE SMYKU A TAHU	33
3.4.1 Princip přípravku.....	34
3.4.2 Příprava vzorku	34
3.5 METODA NAMÁHANÍ ČTVERCOVÉHO PLOCHÉHO VZORKU SMYKEM POMOCÍ KLOBOVÉHO SYSTÉMU	36
3.5.1 Princip přípravku.....	37
3.5.2 Příprava vzorku	38

3.6	MAXIMÁLNÍ ZATÍŽITELNOST PŘÍPRAVKU.....	39
3.7	TECHNOLOGICKÝ POSTUP.....	41
3.7.1	Redukce.....	42
3.7.2	Upínací tyč.....	43
3.7.3	Distanční vložka.....	44
3.7.4	Upínací deska.....	45
	ZÁVĚR	46
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	47
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	50
	SEZNAM TABULEK.....	52
	SEZNAM PŘÍLOH.....	53

ÚVOD

V průběhu vývoje lidské společnosti, kdy si člověk začal postupně osvojovat dovednosti v používání materiálů jako je dřevo, kámen, bronz, železo či keramika, také vzrostly nároky a požadavky objevovat stále nové způsoby a metody, které by vylepšily používané materiály a tedy i zajistily pokrok v technice. Této myšlenky se držíme doposud, a proto v dnešní době máme k dispozici bezmála 15 tisíc materiálů v různých modifikacích.

Momentálně nejvíce dynamicky rozvíjející se skupinou jsou plasty. Mezi jejich modifikace patří kompozity, o které se tato bakalářská práce opírá. Díky možnosti spojení 2 a více technologicky odlišných materiálů, vznikají zcela nové specifické vlastnosti, které nemohou nahradit ze žádných stávajících konvenčních materiálů. Jelikož z kompozitu lze navrhovat velmi lehké konstrukce, aniž by byly nějak rapidně sníženy jejich mechanické vlastnosti, posunujeme hranice v mnoha průmyslových odvětvích kupředu a vylepšujeme tak kladené nároky. Také zátěž na životní prostředí při výrobě těchto materiálů je podstatně menší než u kovů a slitin.

Abychom dokázali lépe specifikovat vlastnosti materiálů, podrobujeme je odborným zkouškám, které nám zajišťují přesné číselné údaje, jak se daný materiál chová při různých teplotách a mechanických zatíženích. Díky zavedeným normám, které dopodrobna uvádějí za jakých předem stanovených podmínek má daná zkouška probíhat, následně velice usnadňuje konstruktérům správně zvolit materiál vyhovující pro jejich projekt. Naměřené hodnoty také slouží jako konstanty pro numerické výpočty metodou konečných prvků v počítačových programech.

I. TEORETICKÁ ČÁST

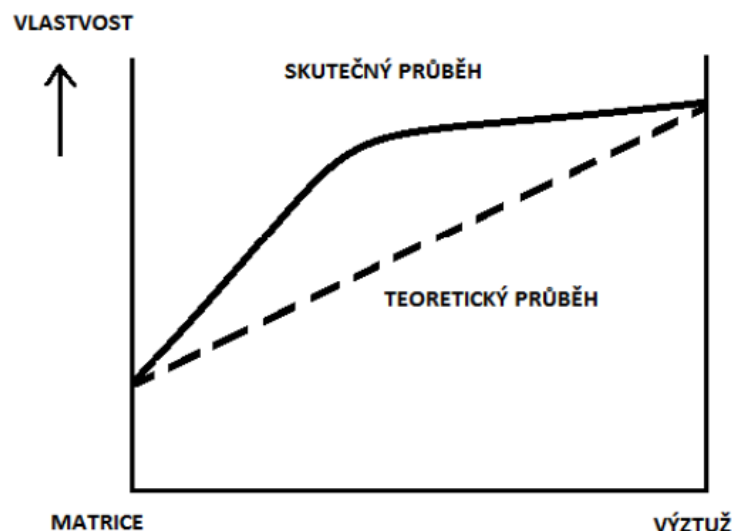
1 KOMPOZITY

1.1 Úvod

Kompozitní materiály se v současné době staly průmyslovými materiály po celém světě. Letecký, automobilový, elektronický, spotřební průmysl je dnes zcela závislý na plastech, které mají vyztužené vlákna. Především vzrůstá spotřeba po plastech plněnými částicemi nebo minerály a tento trend bude pokračovat do té doby, dokud budou minerální látky dostupnější než suroviny, které jsou potřebné pro syntézu polymerů. [1]

1.2 Definice kompozitních materiálů

Kompozit je každý materiálový systém, který se skládá alespoň ze dvou fází, z nichž jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které jednotlivé složky (fáze) nemohou dosáhnout samostatně ani prostou sumací.



Obr. 1 Synergický efekt v kompozitu [10]

Pevná fáze (výztuž) má o jednu až dva řády vyšší pevnost než druhá spojitá fáze (matrice), která bývá poddajnější a zastává funkci pojiva. Podle současného chápání pojmu kompozit musí být k zařazení vícefázového materiálu mezi kompozitní materiály splněny následující podmínky:

- podíl výztuže je větší jak 5 %

- vlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální i chemické) se liší, výztuž je významně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice
- kompozit musí být připraven smícháním složek [2, 3]

1.3 Vlastnosti kompozitů

Obecně platí, že mechanické vlastnosti kompozitů stoupají se zvyšujícím se obsahem vyztužující složky až do podílu 80%. Všechna vlákna musejí být totiž dokonale smočena pojivem. Aby se využily plně pevnosti vláken, musí se zabezpečit dobrá adheze mezi vlákny a matricí a tím i dokonalý přenos síly z matrice na výztuž. Vlákna se proto na povrchu chemicky upravují tak, aby se na rozhraní mezi matricí a vláknem vytvořily pevné chemické vazby. Charakteristickým rysem kompozitů oproti homogenním materiálům je jejich anizotropie – vlastnosti kompozitu silně závisí na směru uložení (orientaci) výztužných vláken. [4]

1.4 Matrice

Hlavní funkce matrice (pryskyřice) je udržovat vlákna ve správných pozicích, pomáhat distribuovat napětí, chránit vlákna před poškozením abrazí, kontrolovat elektrické a chemické vlastnosti a zajišťovat interlaminární pevnost. Mezi čtyři hlavní typy polymerních pryskyřic tvořící matrici jsou používány:

- epoxidové
- polyesterové
- fenolové
- polyamidové

1.5 Výztuž

Hlavní funkcí výztuže je především zajistit mechanické vlastnosti výsledného kompozitu, především jeho tuhost a pevnost. Typ výztuže má velký dopad na jeho elektrické vlastnosti. [9]

Typy výztuží:

- Vlákna
- Rohože
- Tkaniny

- Rovinky a kombinované výztuže [4]

1.5.1 Vlákna

Vlákna jsou vždy mnohem pevnější než stejné materiály v kompaktní podobě. Pevnost vláken roste spolu se zmenšujícím se průřezem, protože struktury přirozených defektů jsou u vláken malých průměrů pouze v podobě mikroskopických trhlinek a dutinek a navíc tyto defekty jsou příznivě orientované svým delším rozměrem ve směru osy vlákna. Pevnost vlákna závisí také na jeho délce. Části, které vzniknou porušením vlákna při namáhání tahem, mají větší pevnost než vlákno původní, protože k prvnímu lomu došlo z největšího defektu vlákna. Většina vyráběných vláken má kruhový průřez o průměru od 5 do 20 μm . Menší průměry se nepoužívají z technologických důvodů - produkty s velmi tenkými vlákny se obtížně prosycují matricemi. Mezi nejčastěji používaná vlákna patří:

- Skelná
- Uhlíková
- Aramidová
- Celulóza
- Wiskery [18]



Obr. 2 Aramidové, uhlíkové a skleněné vlákno.[18]

1.5.2 Druhy vazeb

Rovingové tkaniny mají různorodou textilní vazbu. Pro výsledné vlastnosti kompozitu rozhoduje i zvolení správného druhu vazby, k nejzákladnějším typům patří:

- Plátňová vazba (Plain weave)
- Keprová vazba (Twill weave)

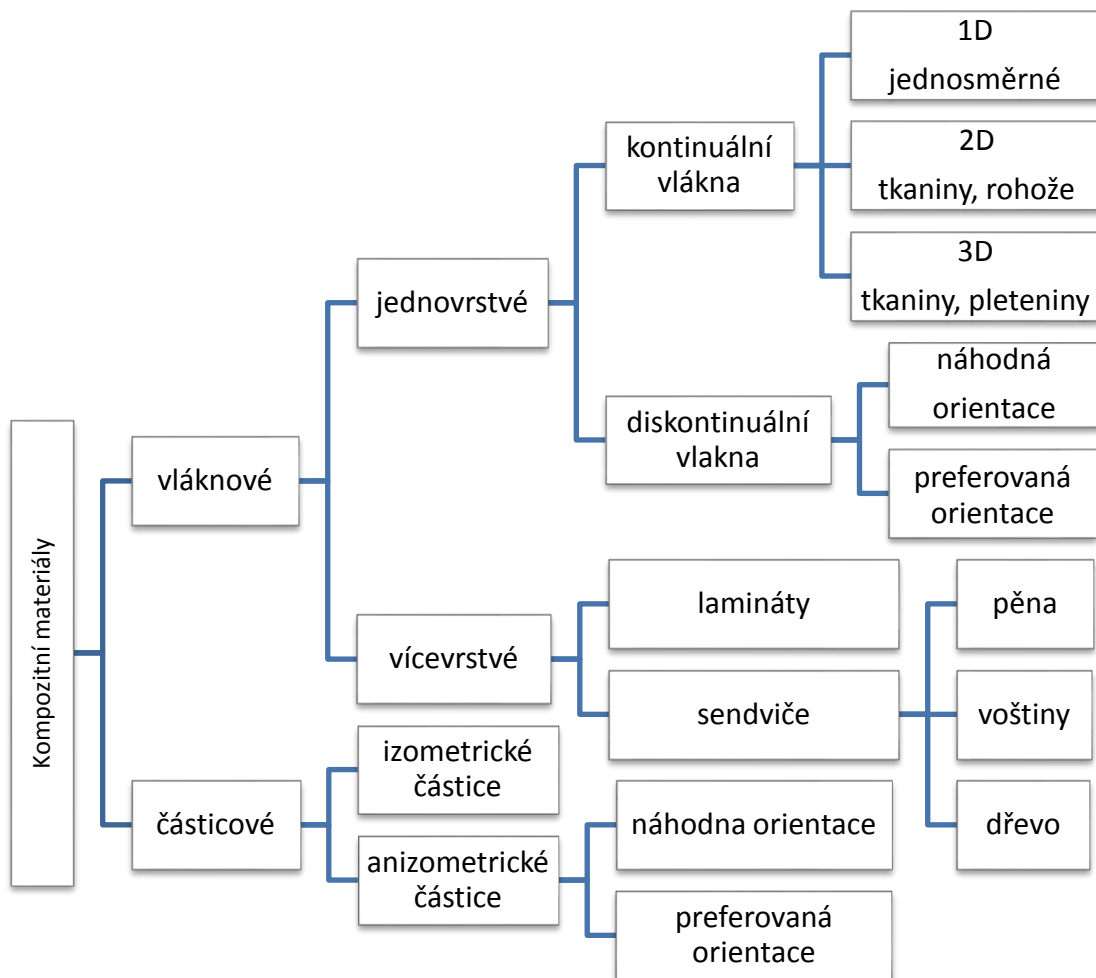
- Atlasová vazba (Satin weave) [4]



Obr. 3 Druhy vazeb [4]

1.6 Rozdělení kompozitů

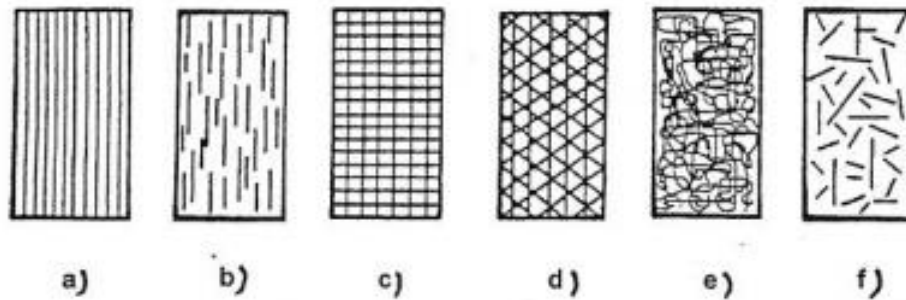
Kompozitní materiály lze klasifikovat podle řady parametrů – např. dle tvaru a typu výztuže, uspořádání výztuže a makrostruktury, typu matrice, technologie výroby. Nejčastější rozdělení je dle geometrického tvaru výztuže.



Obr. 4 Rozdělení kompozitních materiálů dle geometrie výztuže.

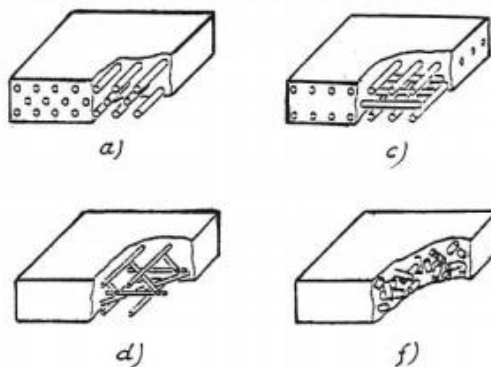
1.6.1 Vláknové kompozity

Útvary výztuže (vlákna) jsou v jednom směru výrazně rozměrnější než v ostatních směrech. Charakteristické typy vláknových kompozitů jsou graficky znázorněny na následujícím obrázku [5, 7].



Obr. Typy vláknových kompozitů [6]

- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| a) jednosměrná dlouhá vlákna | d) vícesměrné vyztužení |
| b) jednosměrná krátká vlákna | e) náhodná orientace vláken |
| c) dvousměrné vyztužení | f) náhodná orientace krátkých vláken |

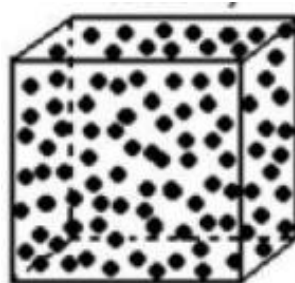


Obr. 5 Prostorové uspořádání vybraných vláknových kompozitů [6]

1.6.2 Částicové kompozity

U částicových kompozitních materiálů jsou vyztužující částice dispergovány v matrici, díky kterým značně omezují rozvoj plastických deformací. Tím zvyšují mez kluzu, pevnosti a tvrdosti a samozřejmě ovlivňují celou řadu dalších vlastností např. tepelnou a elektrickou vodivost. Předpokládá se, že jejich mechanické vlastnosti budou jak

v podélném, tak v příčném směru shodné. Vyztužující částice mají tvar kulovitý, destičkovitý, tyčinkovitý případně nepravidelný. Jednotlivé částice nesmí rozměrově přesahovat ty ostatní. [6, 19]



Obr. 6 Částicový kompozit [19]

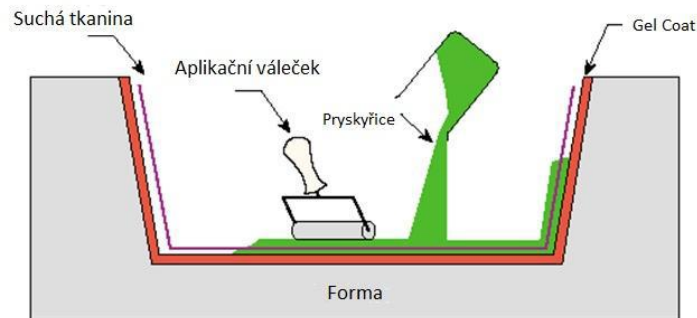
1.7 Technologie výroby

Způsob výroby kompozitů je jedním ze základních faktorů, kterým lze ovlivnit výsledné vlastnosti, ale také celkovou nákladovost výroby. Proto je třeba se řídit několika základními faktory:

- Velikost a členitost výrobku
- Sériovost dílce
- Kvalita povrchu
- Vlastnosti (především hmotnost a pevnost)
- Nákladovost [13]

1.7.1 Ruční kladení za mokra

Je to proces, ve kterém se pryskyřice nanáší na výztuž ručně do otevřené formy. Dosažená kvalita vytvrzeného kompozitního dílu se odvíjí od toho, na jaký povrch byla pryskyřice nanášena. Pryskyřice se používá nejčastěji polyesterová, vinylesterová. Výztuž – sklo, uhlík, kevlar anebo přírodní vlákna.



Obr. 7 Ruční kladení za mokra. [14]

Výhody

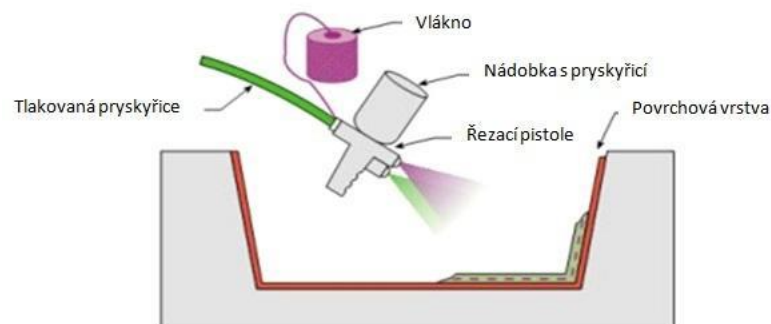
- Jednoduchá a rozšířená technologie
- Vhodná pro malé série
- Vhodná pro složitější výrobky, které jsou rozměrově větší
- Nízké náklady na výrobu formy

Nevýhody

- Kvalita povrchu se silně odvíjí od zkušeností pracovníka
- Malá produktivita [13,14]

1.7.2 Nanášení sprejem

U tohoto procesu se do formy pomocí řezací pistole nastříká katalyzovaná směs krátkých skleněných vláken a následně se celá matrice slisuje a vytvrdí.



Obr. 8 Ruční nanášení sprejem. [14]

Výhody

- Nízká nákladnost na zařízení

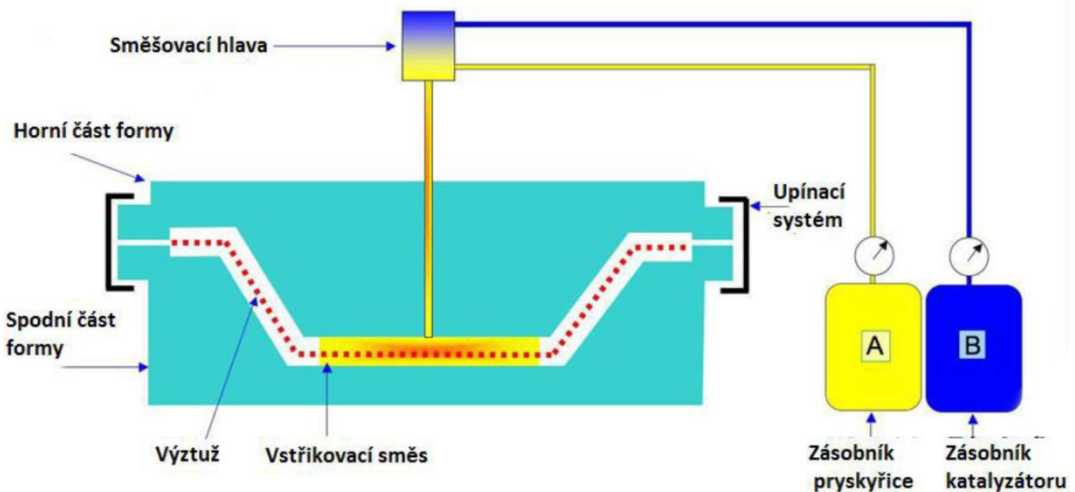
- Žádné omezení z pohledu velikosti výrobku

Nevýhody

- Vyšší nárok na kvalitu a zkušenost pracovníka
- Těžké dosažení přesných tolerancí [13,14]

1.7.3 Lisování se vstříkem

Tato technologie se používá u dvojdílných forem, které jsou uzavíratelné a tím pádem nemohou uvolňovat reaktivní rozpouštědla do ovzduší. Do formy je vstříknuta směs pryskyřice a tvrdidla. Formy se vyrábí ocelové anebo hliníkové. [3]



Obr. 9 Lisování se vstříkem. [13]

Výhody

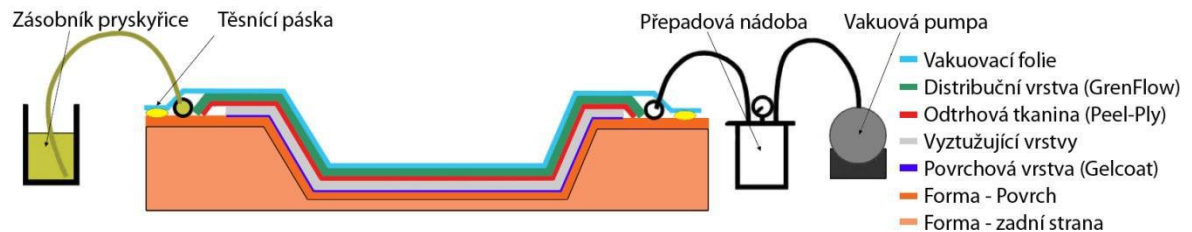
- Výrobek je hladký z obou stran
- V porovnání s ručním nanášením je technologie přesnější a produktivnější
- Jednoduchá a rozšířená technologie

Nevýhody

- Vysoké náklady na výrobu forem
- Hmotnost a robustnost forem [13]

1.7.4 Vakuová infúze pod pružnou folií

Tato technologie využívá podtlaku, díky kterému dochází k prosycování suchých vrstev výztuže kompozitního materiálu. Průtok pryskyřice je umožněn pomocí systému hadiček. Technologie je vhodná pro velkorozměrné výrobky a malo-sériovost.



Obr. 10 Vakuová infúze pod pružnou folií. [33]

Výhody

- Rovnoměrné rozložení pryskyřice
- Kontrolovaný proces, který zlepšuje kvalitativní a mechanické vlastnosti kompozitu

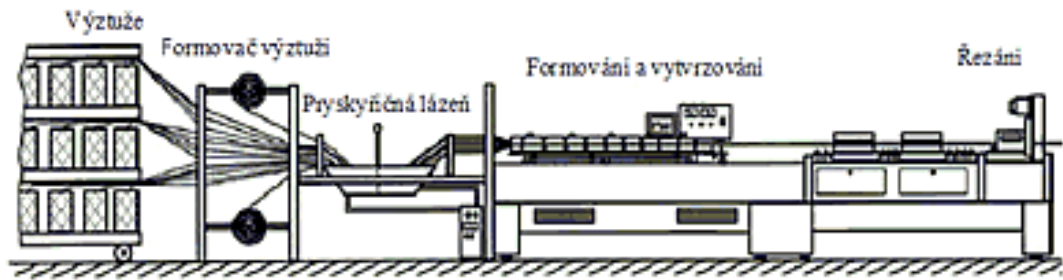
Nevýhody

- Technologicky náročný proces
- Vysoké náklady na pomocné materiály (vakuovací folie, odtrhová tkanina, separační fólie)

1.7.5 Pultruze

Technologie se rozeznává na otevřený nebo uzavřený výrobní postup. U otevřeného postupu jsou vyztužovací vlákna vedena přes ponorný válec do vany s pryskyřicí. Za pomoci speciální mřížky se vlákna rozdělují a vytvářejí žádaný profil. Vlákna postupně prochází několika oddíly, ve kterých se spolu s pryskyřicí formují až do konečného tvaru.

Při uzavřeném postupu se vyztužovací vlákna dostávají do styku s pryskyřicí teprve při formování pod tlakem. Tímto způsobem se dosahuje vyššího objemu obsažených vláken a také lepší impregnací. [16]



Obr. 11 Pultruze. [17]

Výhody

- Kontinuálnost procesu výroby
- Nekonečná délka taženého profilu
- Produktivnost
- Automatizace

Nevýhody

- Vysoké náklady na provoz
- Pořizovací cena stroje [16]

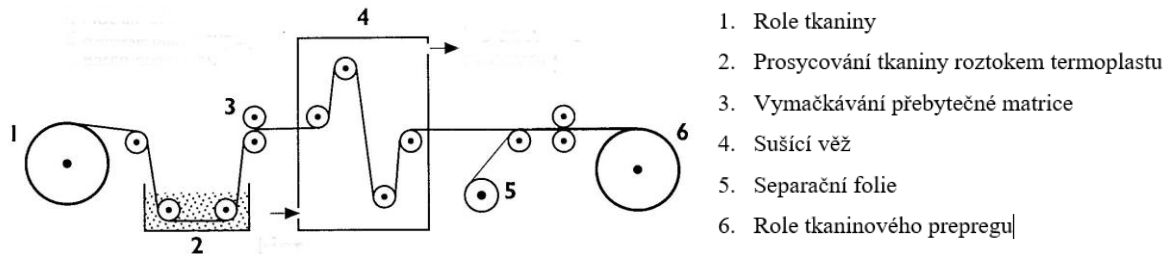
1.7.6 Výroba prepregu

Prepregy jsou ploché útvary, které obsahují před-impregnovanou pryskyřici, která je částečně vytvrzená.



Obr. 12 Prepreg. [14]

Jeden z možných způsobů výroby prepregu je pomocí impregnace tkaniny roztokem polymeru. Tkanina je prosycována roztokem termoplastu, poté pomocí dvou válců se vymačkává přebytečná pryskyřice, následuje vytvrzování v sušící věži a nakonec je tkanina namotávána spolu se separační folií, vzniká prepreg.



Obr. 13 Výroba prepregu impregnací tkaniny roztokem polymeru. [14]

Výhody

- Minimalizace dutin
- Rovnoměrné rozložení pryskyřice
- Vysoký podíl vláknové výstuže

Nevýhody

- Vyšší cena
- Nutnost skladovat při nízkých teplotách [14]

2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITŮ

2.1 Úvod

U mechanického namáhání kompozitních materiálů má na chování největší vliv rozložení vláken nebo plniva, jejich orientace, zakřivení, obsah vláken a vytvrzení matrice. Je proto důležité, abychom při srovnávání brali v úvahu velikost obsahu vláken.

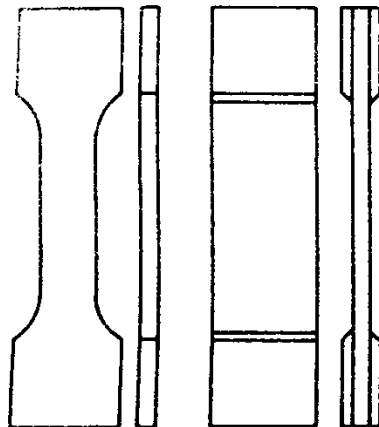
Porušení nebo případně únavové procesy, jsou u plastů s výztuží daleko složitější než u homogenních materiálů jako jsou např. kovy nebo nevyztužené plasty. Životnost materiálu nám určuje např. vznik, popř. rychlost šíření jednotlivých trhlin.

U statických a dynamických zkoušek pevnosti kompozitu dochází k lokálnímu poškození různého typu, které způsobuje narušení nosných vláken. Následně dochází k úplnému zlomení materiálu. [20]

2.2 Druhy statických zkoušek

2.2.1 Zkouška tahem

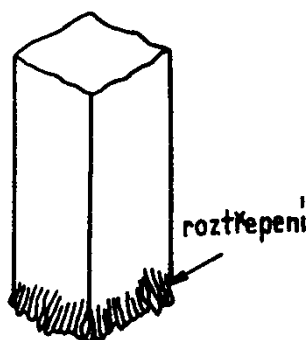
Zkouška probíhá pouze za působení sil v jedné ose, zkoušený vzorek je natahován až do přetržení. Tato zkouška se používá při určování modulu pružnosti, Poissonova čísla a pevnosti v tahu. Vzorky u kompozitních materiálů jsou obvykle ploché normované tyče (ve tvaru kosti) anebo vzorky s rovnými stranami s koncovým zesílením. Osově zatížení je přenášeno za pomoci čepu anebo čelistí. Norma, která se zabývá touto zkouškou, je např. ČSN EN ISO 527. [1, 20]



Obr. 14 Typ vzorků u zkoušky tahem. [1]

2.2.2 Zkouška jednosměrným tlakem

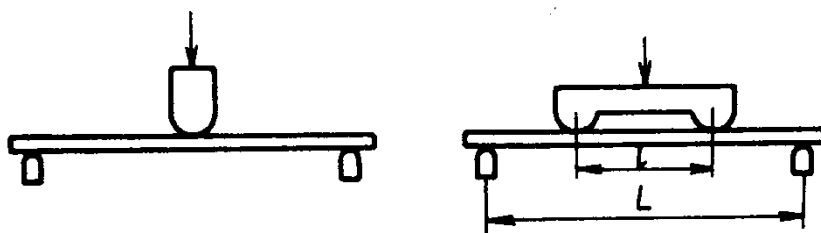
Při deformaci v tlaku dochází ke zkracování vzorku. U této zkoušky dochází k nebezpečí ztráty stability. K tomu by nám měly dopomoci boční podpěry, které zabrání vybočení vzorku ze své roviny. Pokud je jednosměrný kompozit vystaven tlakové zkoušce ve směru vláken, dochází k předčasnému poškození roztřepením na koncích. Tím lze předejít vetknutím konců. Z měření lze zjistit modul pružnosti, Poissonovo číslo, pevnost v tlaku. Norma, která se zkouškou zabývá je ASTM D-695. [1, 20]



Obr. 15 Předčasné porušení při tlakovém zatížení. [1]

2.2.3 Zkouška ohybem

Nejpoužívanější ohybové zkoušky jsou tříbodové anebo čtyřbodové. U těchto zkoušek se plochý vzorek podepře na dvou koncích a zatíží středovým nebo dvěma symetricky umístěnými břemeny. Pro určení správné hodnoty pevnosti v ohybu musí porušení nastat přetržením vláken, a nikoli interlaminárním smykem. Většina normalizovaných metod předchází tomuto problému správným zvolením vzorku v poměru rozpětí a výšky hodnotou 16. Pro zkoušku ohybem slouží několik norem pro různé druhy vyztužení, provádí se dle ČSN EN ISO 178 a 14125. [1, 20]

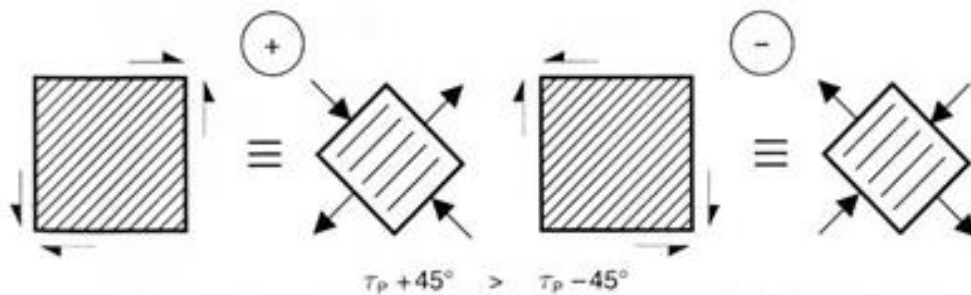


Obr. 16 Zkouška ohybem – tří a čtyř bodová. [1]

2.2.4 Zkouška smykem

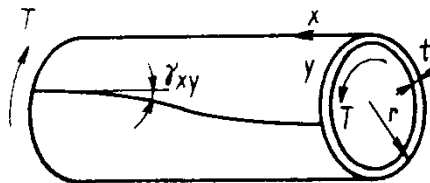
Zkouška slouží ke zjištění pevnosti kompozitního materiálu ve smyku na směr zatížení. Jednosměrně vyztužený laminát má výrazně větší pevnost ve směru vláken, než ve směru kolmém na vlákna. U tlakového namáhání je to naopak. Existuje tedy závislost pevnosti ve smyku na směr namáhání.

Pokud je jednosměrný laminát zatížen smykovým napětím, které působí ve směru skloněném ke směru vláken o úhel 45 stupňů, tak ve směru rovnoběžném a směru příčném k vláknům působí jen napětí normálová. Pokud působí smykové napětí ve směru znázorněném jako +, tak je příčné namáhání tlakové. Ve směru znázorněném jako – jde o napětí tahové. To znamená, že pevnost ve smyku je v prvním případě větší než v případě druhém.



Obr. 17 Vliv směru smykových napětí na způsob zatížení. [21]

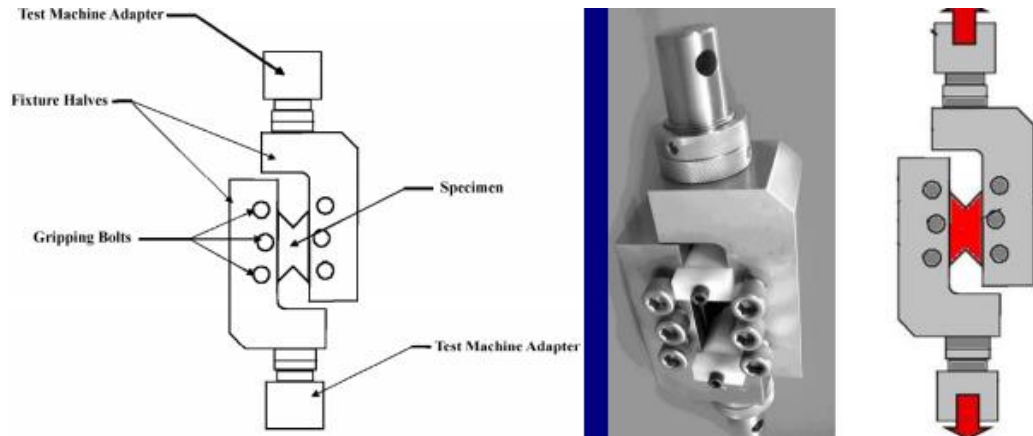
Uskutečnit namáhání materiálu čistým smykem je náročné, nejideálnější jsou zkušební tělesa ve tvaru trubky namáhané krutem. [20]



Obr. 18 Zkouška trubky krutem.[1]

Metoda V-notched Rail-Shear dle ASTM D7078

Zkoušený plochý obdélníkový vzorek o velké tloušťce je zaopatřen dvěma vruby. Vzorek je zatěžován ve speciálním zatěžovacím přípravku. Vyhodnocuje se pevnost ve smyku, skosení a modul pružnosti ve smyku. [22]

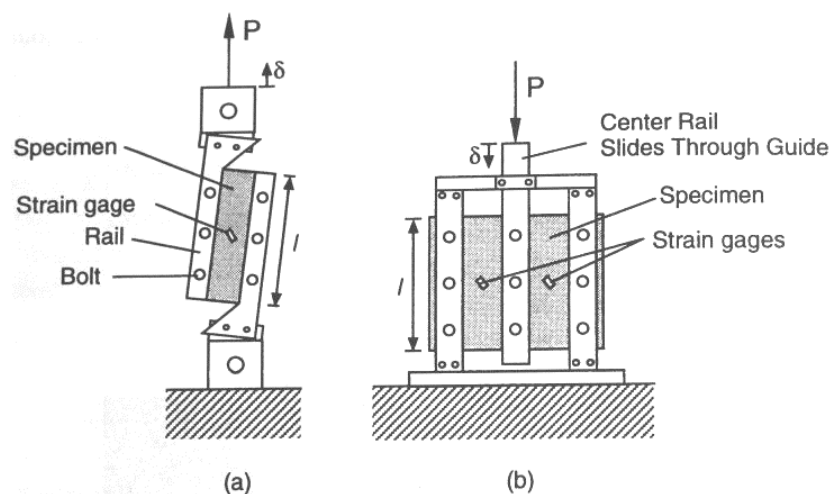


Obr. 19 Schéma metody zkoušky smyku V-vrubem [22]

Metoda Rail-Shear dle ASTM D4255

Jedná se o jednu z dalších metod, které dokážou určit smykové vlastnosti kompozitního materiálu. Smykové deformace je nutno měřit tenzometrickou růžicí. Ze zkoušky je možné vypočítat smykový modul pružnosti a pevnost ve smyku. Smykové napětí je dáno vztahem:

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2} \sigma_{xx}$$

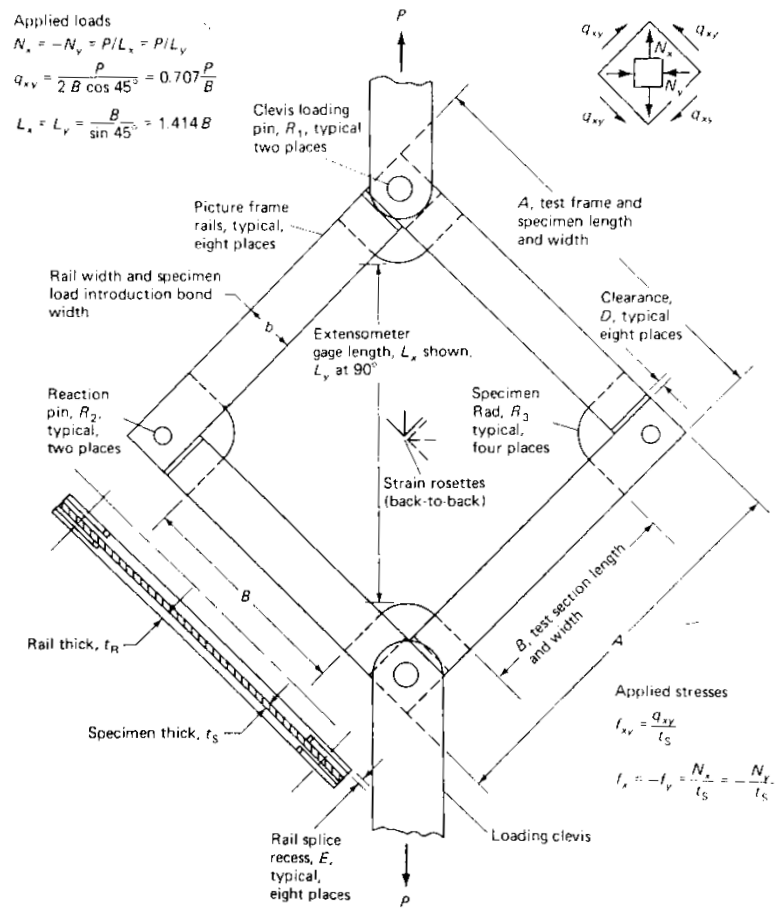


Obr. 20 Schéma metod rail-shear dle ASTM D4255 [24]

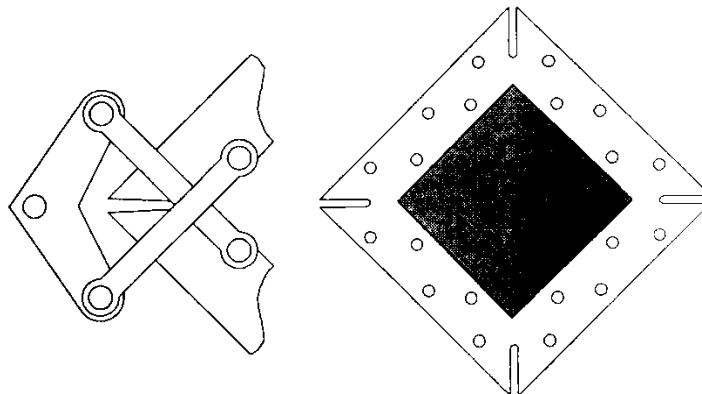
Metoda namáhání čtvercového plochého vzorku pomocí kloubového systému

Měření smykové pevnosti v rovině laminátu pomocí speciální kloubové konstrukce.

Tato metoda zatím nebyla normalizována. U této zkoušky lze vypočítat smykové napětí.



Obr. 21 Zkouška smykem pomocí kloubového systému. [12]

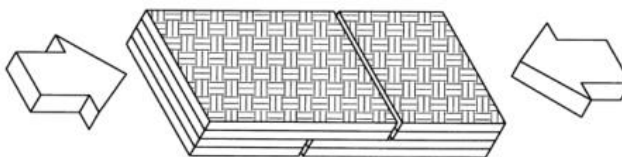


Obr. 22 Schéma kloubového systému. [24]

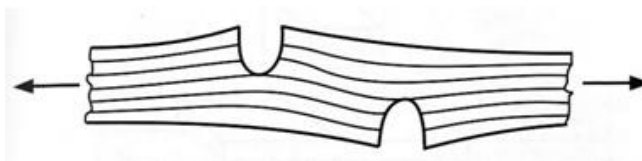
2.2.5 Zkouška interlaminárním smykem

1. metoda

Jednou z vlastností kompozitů ovlivňujících jejich kvalitu je mezivrstvá-interlaminární pevnost ve smyku. Ke zjištění této vlastnosti se používají zkušební tělesa, která minimalizují vliv ohybové tuhosti. Na obrázcích č. 18, č. 19 se jedná o normu ASTM D3846, kdy se pomocí zatížení tlakem určuje zdánlivá mezilaminární smyková pevnost. [20, 21]



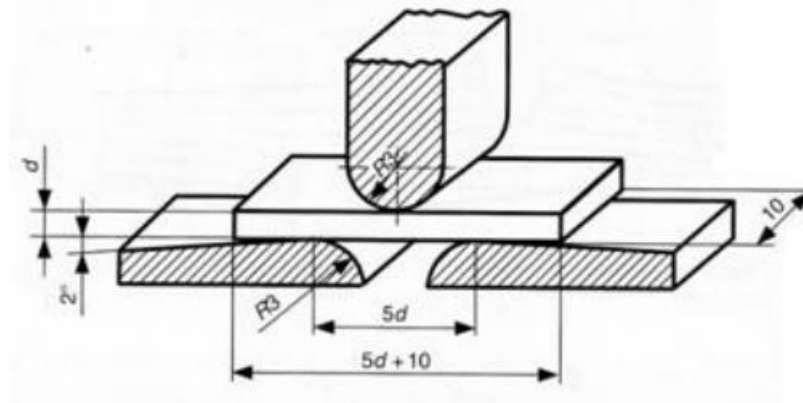
Obr. 23 Zkušební těleso ke stanovení interlaminární pevnosti ve smyku. [22]



Obr. 24 Ohybové přetvoření zkušebního tělesa pro určení interlaminární smykové pevnosti [21]

2. metoda

Interlaminární pevnost ve smyku mezi jednotlivými vrstvami laminovaných kompozitů nebo jednosměrně vyztužených laminátů můžeme zjistit na krátkém zkušebním tělese namáhaném tříbodovým ohybem zkouškou Short-Beam Test dle normy ČSN EN ISO 14130. U této zkoušky vzniká lom vlivem maximálního smykového napětí, které působí v neutrální rovině krátkého nosníku. [20]



Obr. 25 Zkouška tříbodovým ohybem ke stanovení interlaminární smykové pevnosti. [20]

Tato zkouška je podobná zkoušce ohybové, ovšem zkoušený vzorek je zvolen tak, aby nedošlo k ohybovému namáhání. Proto tato zkouška se vyznačuje velkým poměrem tloušťky vzorku k rozteči uložení. Rozteč podpor se volí co nejkratší. [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

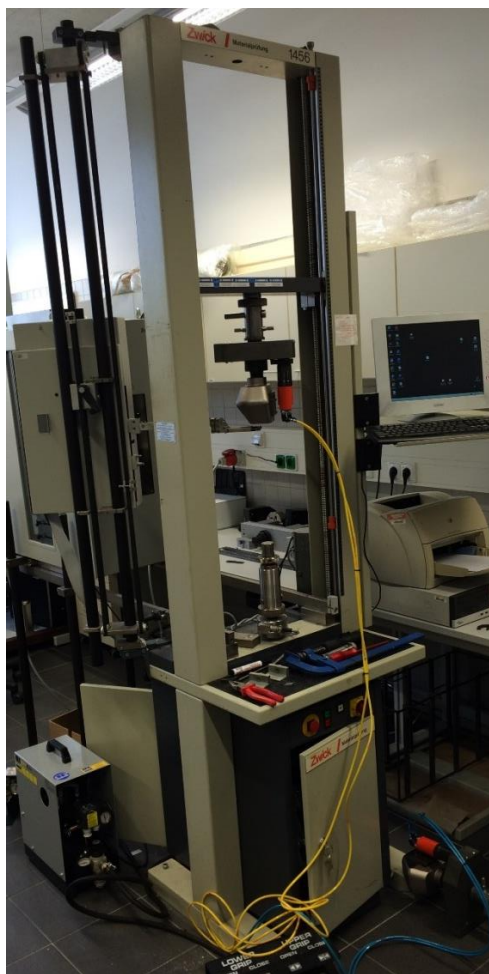
3 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKŮ

3.1 Úvod

Praktická část se zabývá konstrukcí přípravku pro zkoušku smykem dle normy DIN 5339, dále konstrukcí přípravku pro čtvercové desky na zkoušku smykem, která prozatím nebyla normalizována. Přípravky budou vymyšleny tak, aby byly možné jejich použití na zkušebním stroji Zwick 1456.

3.2 Zkušební zařízení

Na zkušebním stroji ZWICK 1456, který vlastní univerzita UTB lze provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky nejrůznějších druhů materiálů – nejčastěji však polymerů a kompozitů. Ke stroji lze použít i teplotní komoru, pomocí které můžeme dosáhnout velmi nízkých popř. vysokých teplot.

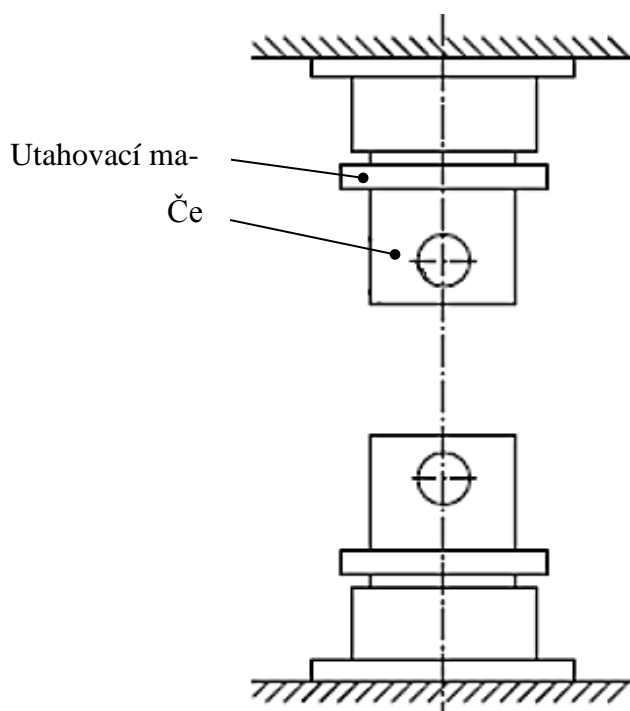


Obr. 26 Univerzitní zkušební stroj
Zwick 1456.

Tab. 1 Základní technické údaje zkušebního stroje Zwick.

Maximální zkušební síla [N]	20 000
Základní rozměry – výška x šířka [mm]	2012 x 630
Hmotnost [kg]	150
Maximální rychlost posuvu [mm/min]	800
Dosahovaná teplota v komoře [°C]	-80 / +250

Upínací zařízení stroje, na kterém bude upevněn přípravek, se skládá ze spodní a horní části, které jsou vůči sobě identické. Spojovací čep má vnější průměr $\text{Ø}36\text{mm}$ a jeho vnitřní průměr díry je $\text{Ø}18\text{mm}$.



Obr. 27 Upínání na zkušebním stroji Zwick 1456.

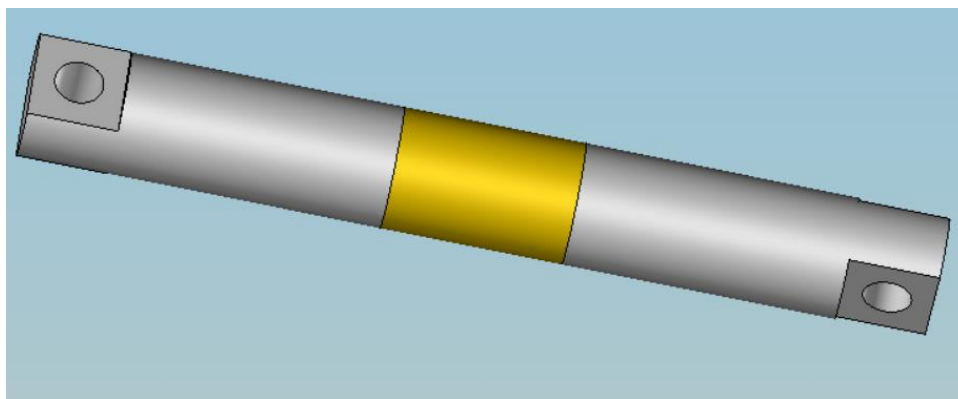
3.3 Norma DIN 53397

Tato německá norma klade určité požadavky na to, jak má daná zkouška smykem probíhat. Požadavky se také týkají samotné konstrukce přípravku a zkušebního tělesa. Jednotlivé požadavky znějí:

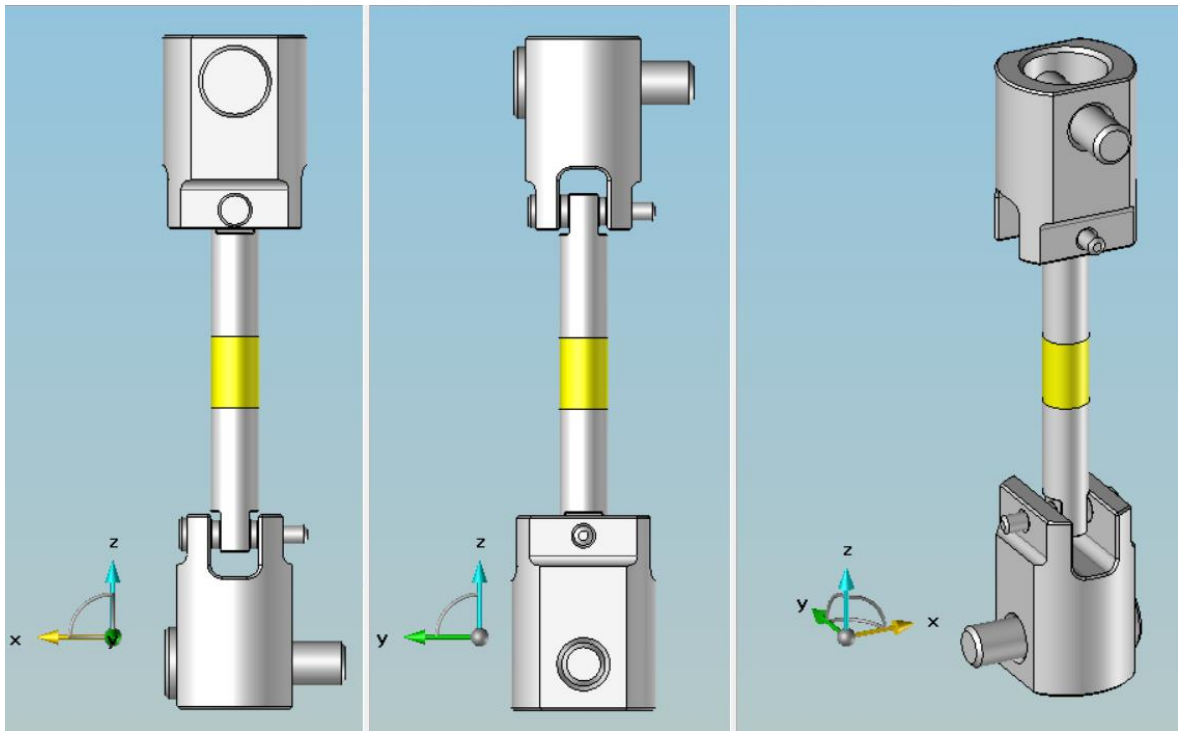
- Zkouška bude probíhat za normálních teplot $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti $50\pm 5\%$
- Zkušební těleso – kompozit – musí mít průměr $\varnothing 20\pm 0,1\text{mm}$ a minimální tloušťku 20mm.
- Přípravek musí být z oceli nebo jiného kovu.
- Zkouška je platná pouze při testu alespoň deseti zkušebních těles, které se přetrhnou v místech zkušebního vzorku, nikoliv u lepeného spoje.
- Použité lepidlo musí být dostatečně tuhé, aby se nedostalo do struktury testovaného kompozitu a nezměnilo jeho mechanické vlastnosti.
- Výstupní dokumentace o zkoušce, musí obsahovat také dokument o používaném lepidlu a postup jeho aplikace.
- Je kladen vysoký nárok na čistotu práce při aplikaci lepidla na zkušební vzorek a přípravek.
- Kvůli zvýšení adheze musí být plocha přípravku, která bude dosedat na vzorek, zdrsňená.
- Lepidlo nesmí zůstat po obvodě přípravku.

3.4 Metoda interlaminárních pevností ve smyku a tahu

Přípravek byl navržen tak, aby vyhovoval normě DIN 53397 a aby byla možná co nejjednodušší příprava pro následné testování. Kvůli malým rozměrům přípravku byla navržena i redukce pro upínání na zkušební stroj Zwick. Veškerá dokumentace a 3D modely byly vytvořeny v programu TopSolid 2013.



Obr. 28 Základní část přípravku, žlutá část představuje zkušební vzorek.



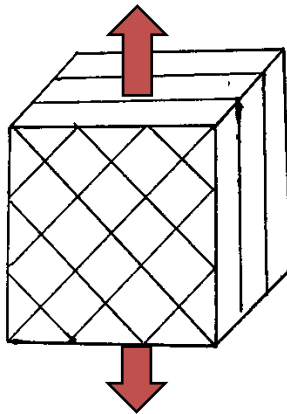
Obr. 29 Přípravek s redukcí na stroj.

3.4.1 Princip přípravku

Do upínacího čepu zkušebního stroje se upne navrhovaná redukce a zajistí se pomocí pojistných čepů. Do redukce se vloží přípravek s již připraveným vzorkem a také se zajistí pojistnými čepy. Spodní část přípravku je nepohyblivá, horní část je pohyblivá. S plynule vzrůstající silou se horní část přípravku oddaluje od spodní části a tím dochází k natahování vzorku až do fáze, kdy dojde k přetržení. Vlastnosti daného vzorku jsou pak vyhodnocovány jako závislosti síly na prodloužení.

3.4.2 Příprava vzorku

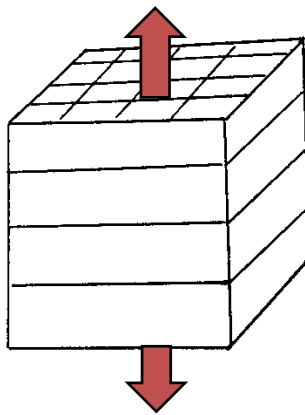
Pomocí prizmy, která zajistí sousost proti-jdoucích dílů přípravku, se nanese lepidlo na určené plochy přípravku a vzorku, následně se zatíží celá soustava tlakem, dokud lepidlo zcela nezaschne. Po zaschnutí je potřeba přebytečnou část lepidla a kompozitu odstranit, díky jednoduché konstrukci přípravku, lze tohoto odstranění dosáhnout jednoduchou operací na soustruhu popř. brusce. Vzorek bude tedy rotační a deformace budou vztaženy na kruhový průřez.



Obr. 30 Působení sil na vlákna s natočením o 45°.

Přilepí-li se vzorek na přípravek způsobem, kdy vlákna jsou natočena o 45°. Budou působící síly působit tangenciálně. Vzorek bude namáhán na smyk. Napětí ve smyku bude:

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$



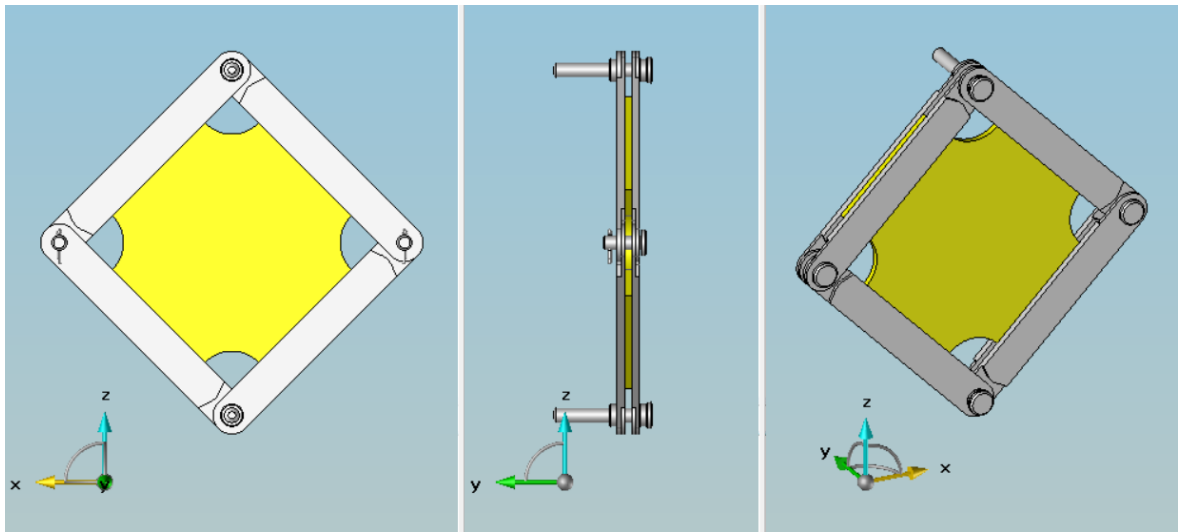
Obr. 31 Působení sil na vlákna s podélným uložením.

Pokud však k upnutí s natočením o 45° nedojde, zkušební vzorek bude namáhán pouze normálovým napětím. Napětí v tahu bude:

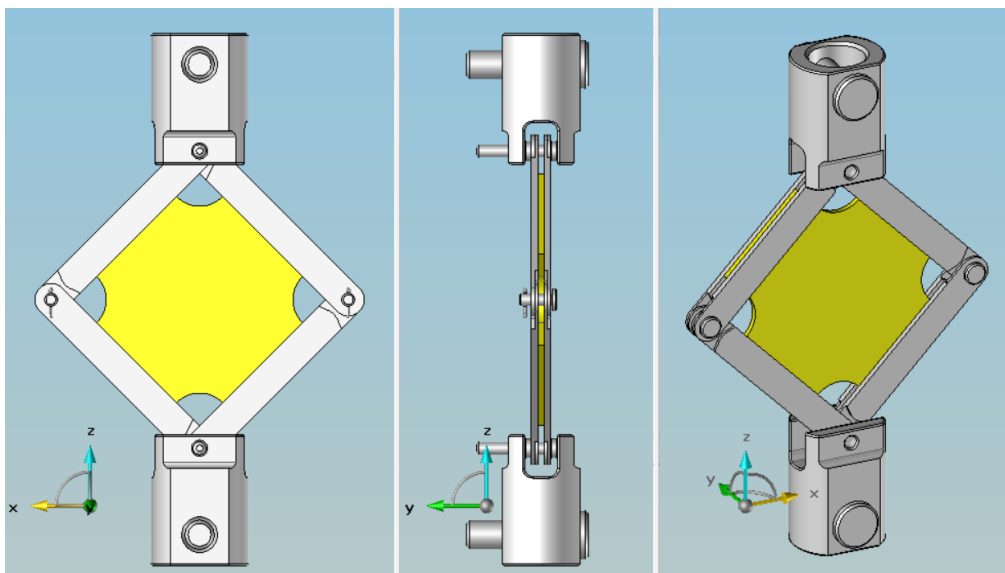
$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

3.5 Metoda namáhání čtvercového plochého vzorku smykem pomocí kloubového systému

Druhé konstrukční řešení se již neomezuje normou. Samotný přípravek se skládá z 8 kusů desek, které jsou zajištěny čepy. Upnutí do zkušebního stroje je stejné jako u prvního návrhu, přípravek pasuje do stejných redukcí. Distanční vložky zajišťují, že zkušební vzorek bude upnut přesně v ose působení síly stroje.



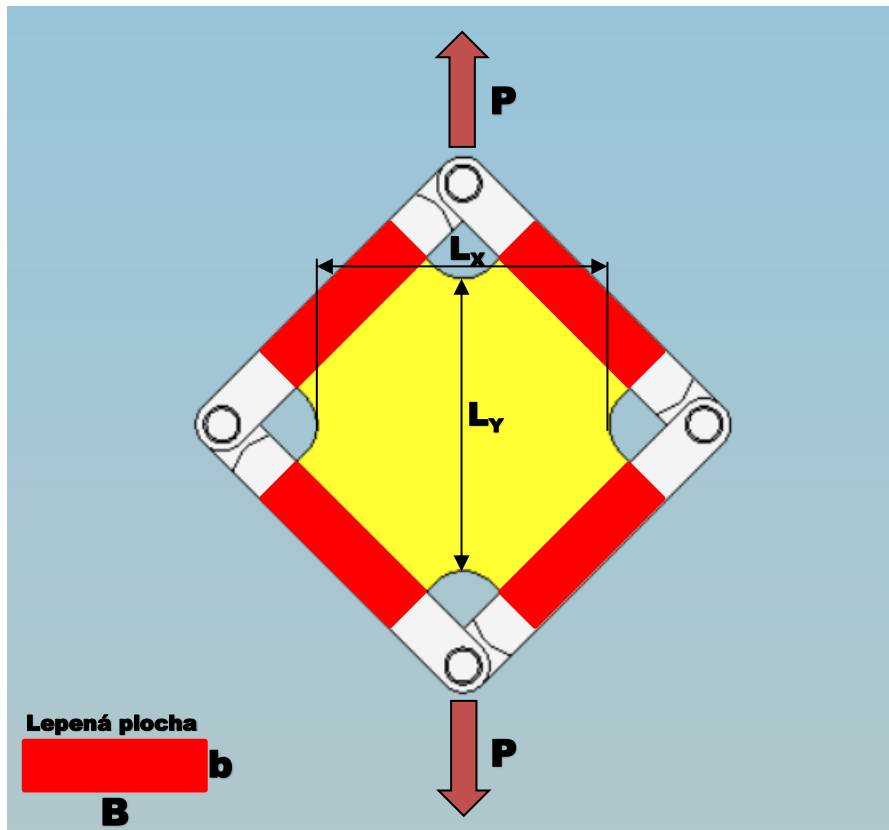
Obr. 32 Základní část přípravku č. 2, žlutá část představuje zkušební vzorek.



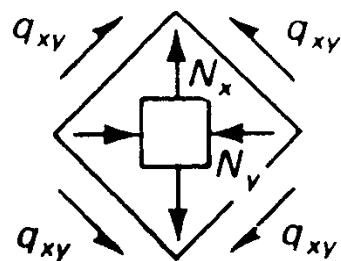
Obr. 33 Přípravek č. 2 s redukcí na stroj.

3.5.1 Princip přípravku

Zkušební vzorek je nalepen na ocelové desky, horní posuvná část přípravku se plynule posouvá směrem nahoru, tím dochází k natahování vzorku ve vertikální ose a ke stlačování ve vodorovné ose.



Obr. 34 Zobrazení lepených ploch.



Obr. 35 Působící síly na zkušební vzorek. [12]

Aplikované zatížení [12]:

$$N_X = -N_Y = \frac{P}{L_X} = \frac{P}{L_Y}$$

$$L_X = L_Y = \frac{B}{\sin 45^\circ}$$

$$q_{XY} = \frac{P}{2 \cdot B \cdot \cos 45^\circ}$$

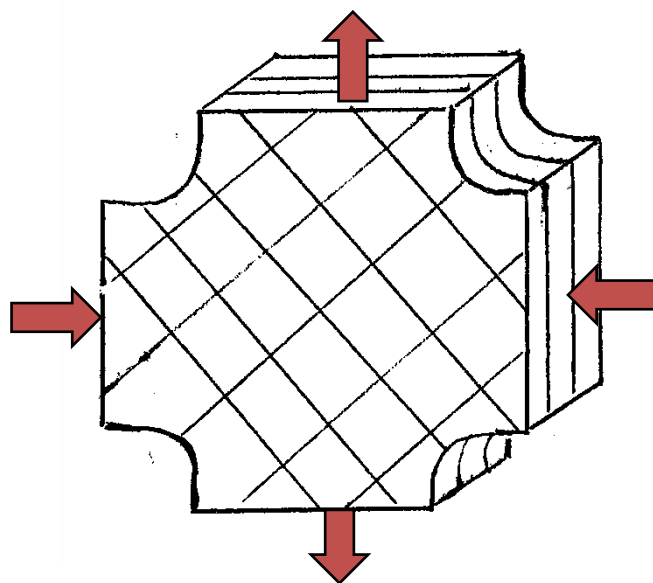
Aplikované namáhání [12]:

$$F_{XY} = \frac{q_{XY}}{t_S}$$

$$F_X = -F_Y = \frac{N_X}{t_S} = \frac{N_Y}{t_S}$$

3.5.2 Příprava vzorku

Vzorek se bude skládat z 15-ti vrstev, celková tloušťka bude 3,75mm. Po odfrézování rohů na vzorku se následně vzorek upne tak, aby vlákna vůči působení sil byla natočena o 45°. Vzorek se přilepí z jedné i z druhé strany k upínacím deskám. Po zaschnutí se přebytečné lepidlo odfrézuje. Po této operaci je již možné provést samotnou zkoušku smykem.



Obr. 36 Působení sil na vlákna

3.6 Maximální zatížitelnost přípravku

Maximální zatížitelnost přípravku se vypočítá z kontroly čepu na stříh, poté se ověří kontrolou na otláčení. Výpočet bude proveden pouze pro nejmenší průměr čepu, který se v celé soustavě nachází. U obou přípravků je nejmenší průměr čepu $\varnothing 8\text{mm}$. Čepy jsou vyrobeny z oceli 12 060.

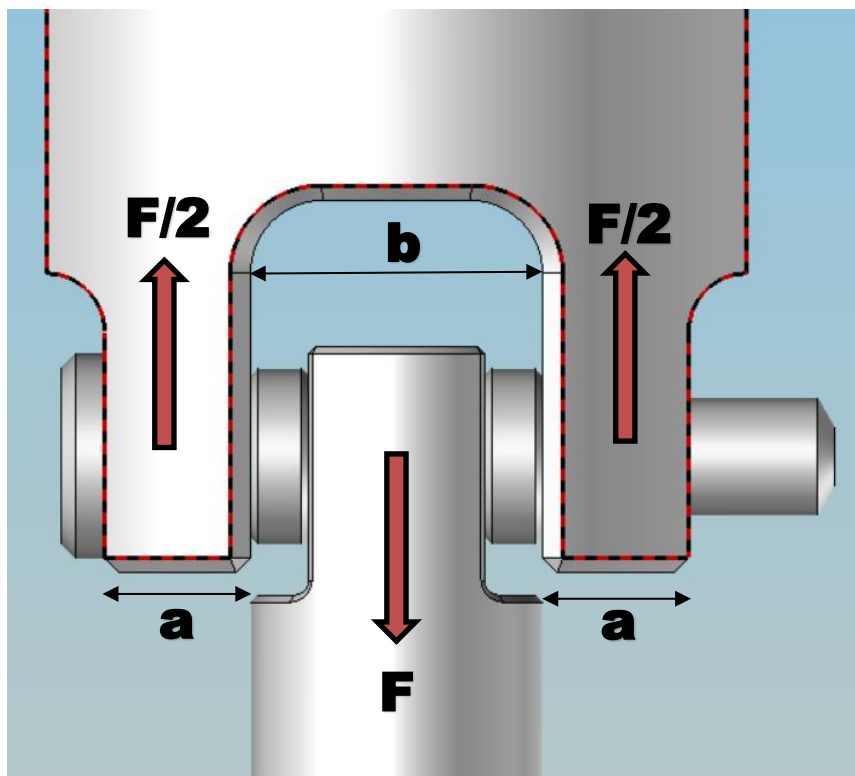
Materiál 12 060: $\tau_{DS} = 110\text{-}130\text{ MPa} \rightarrow$ Zvoleno 120 MPa

$p_{dov} = 175\text{-}205\text{ MPa} \rightarrow$ Zvoleno 190 MPa

Průměr čepu: $d = 8\text{ mm}$

Délka 1 (viz. obr.37): $a = 10\text{ mm}$

Délka 2 (viz. obr.37): $b = 20\text{ mm}$



Obr. 37 Síly působící na čep.

Kontrola na stříh:

$$\frac{F}{2 \cdot S} \leq \tau_{DS}$$

$$F \leq \tau_{DS} \cdot 2 \cdot S$$

$$F \leq \tau_{DS} \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$F \leq 120 \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 12063,7\text{N}$$

Maximální zatížitelnost přípravku je 12063,7N.

Kontrola na tlak:

$$\frac{F}{d \cdot a} \leq p_{dov}$$

$$\frac{12063,7}{8 \cdot 10} \leq 190$$

$$\mathbf{150,8\text{MPa} \leq 190\text{MPa}}$$

$$\frac{F}{d \cdot b} \leq p_{dov}$$

$$\frac{12063,7}{8 \cdot 20} \leq 190$$

$$\mathbf{75,39\text{MPa} \leq 190\text{MPa}}$$

Kontrola čepu na tlak vyhovuje.

3.7 Technologický postup

Všechny nenormalizované součástky byly navrženy z konstrukční oceli 11 500. Z důvodu zamezení korodování bylo do postupů zahrnuto povlakování zinkem. Technologické postupy byly sestaveny pro obrábění na nejmodernějších obráběcích centrech.



Obr. 38 Frézovací centrum s možností vytočení stolu od firmy Hermle.



Obr. 39 Multifunkční soustružnicko-frézovací centrum od firmy Kovosvit Mas.

3.7.1 Redukce

Postup:

1. Soustružení/frézování

- Upnout do sklíčidla → Zarovnat čelo → Stružit $\text{Ø}60\text{mm}$ → Frézovat boční strany na rozměr 48mm → Navrtat důlky → Vrtat díru $\text{Ø}17,8\text{mm}$ → Vrtat díru $\text{Ø}35$ → Šlicht díry $\text{Ø}18\text{H}7$ → Srazit hranu díry $2 \times 45^\circ$ → Stružit vnitřní díru $\text{Ø}36\text{H}7$ → Vrtat díru $\text{Ø}7,8$ → Šlicht díry $\text{Ø}8\text{H}7$ → Srazit hrany děr $2 \times 45^\circ$

2. Frézování

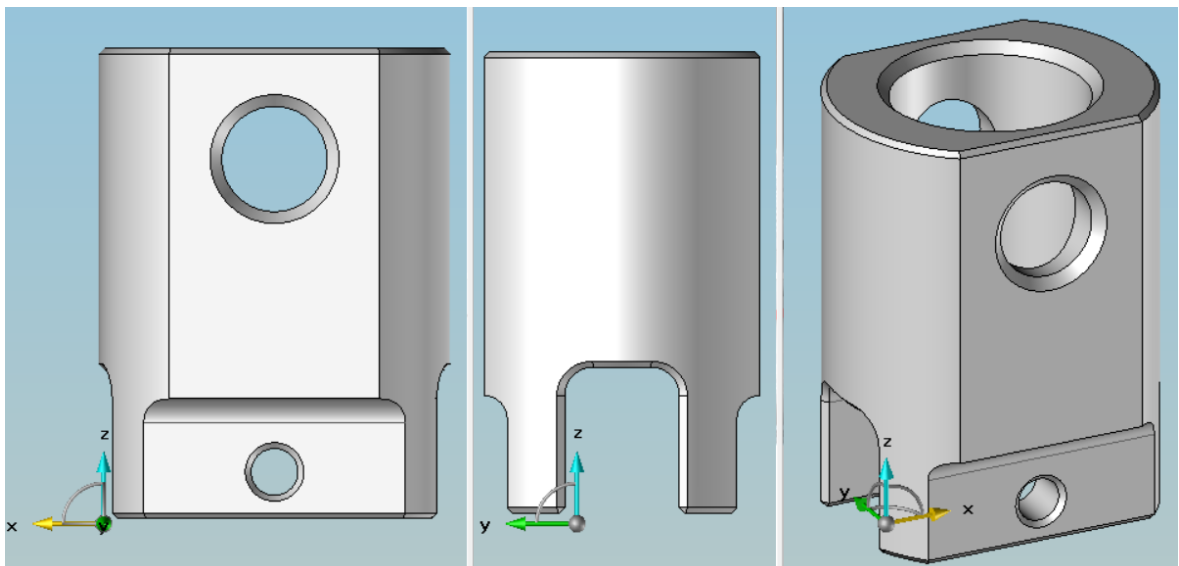
- Upnout do svěráku → Frézovat drážku → Frézovat vnější odlehčení → Srazit hrany $1 \times 45^\circ$

3. Pozinkování

Použité nástroje:

Soustruh: pravý vnější uběrací nůž, navrtávák, vrták $\text{Ø}35$, vnitřní hladicí nůž, fréza tvarová (srážecí hran), výstružník $18\text{H}7$

Frézka: fréza kulová $\text{Ø}8$, $\text{Ø}10$, fréza valcová $\text{Ø}10$



Obr. 40 3D model redukce.

3.7.2 Upínací tyč

Postup:

1. Soustružení

- Upnout do sklíčidla → Zarovnat čelo → Stružit $\text{Ø}20\text{mm}$ → Otočit kus
- Zarovnat čelo na rozměr 60mm → Stružit $\text{Ø}20\text{mm}$

2. Frézování

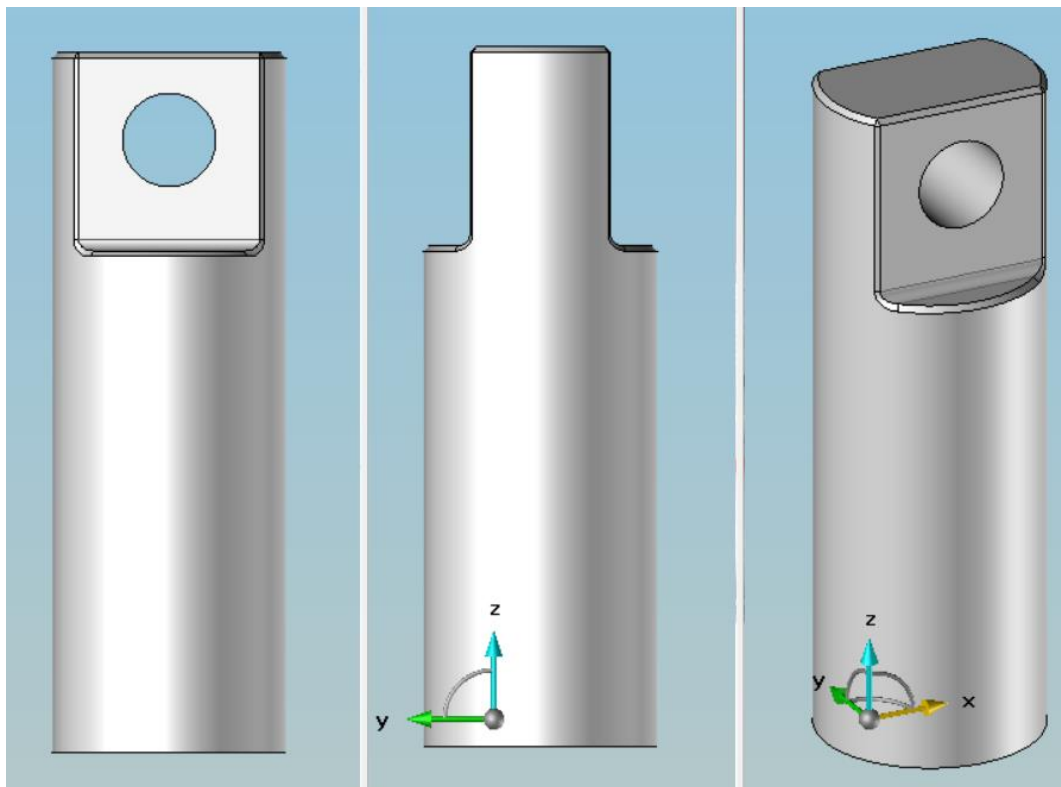
- Upnout do sklíčidla → Frézovat odlehčení + sražení → Vytočení stolu o 90° → Navrtat důlek → Vrtat díru $\text{Ø}7,8$ → Šlichtovat díry $\text{Ø}8\text{H}7$

3. Pozinkování

Použité nástroje:

Soustruh: pravý vnější uběrací nůž

Frézka: fréza válcová $\text{Ø}20$ s R1, navrtávák, vrták $\text{Ø}7,8$, výstružník $\text{Ø}8\text{H}7$, fréza tvarová (srážeč hran)



Obr. 41 3D model upínací tyče.

3.7.3 Distanční vložka

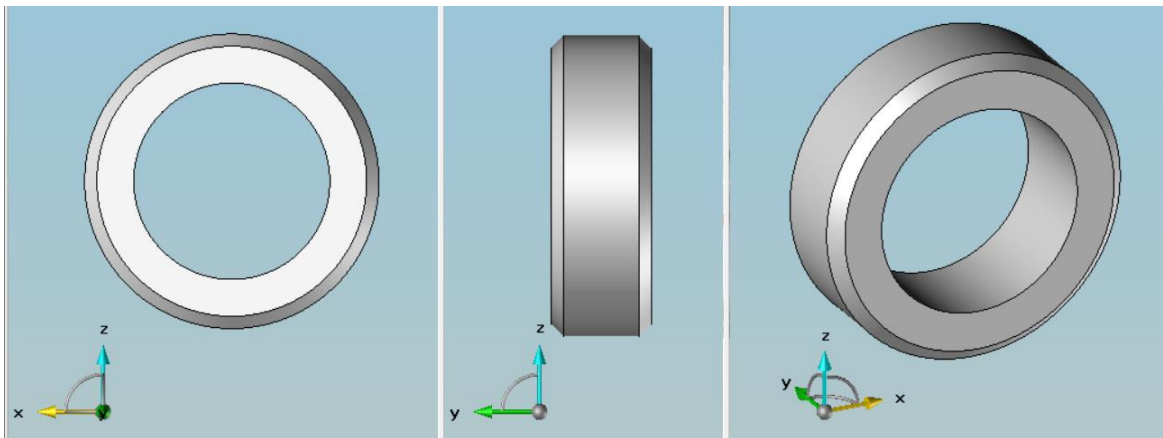
Postup:

1. Soustružení

- Upnout do sklíčidla → Zarovnat čelo → Stružit $\text{Ø}12\text{mm}$ → Navrtat důlek → Vrtat díru $\text{Ø}7,8\text{mm}$ → Šlichtovat díru $\text{Ø}8\text{H}7$ → Zarovnat čelo, srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$ → Upíchnutí
- Otočit kus → Zarovnat čelo na rozměr 4mm → Srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$

Použité nástroje:

Soustruh: pravý vnější uběrací nůž, navrtávák, vrták $\text{Ø}7,8$, vnitřní hladicí nůž



Obr. 42 3D model distanční vložky.

3.7.4 Upínací deska

Postup:

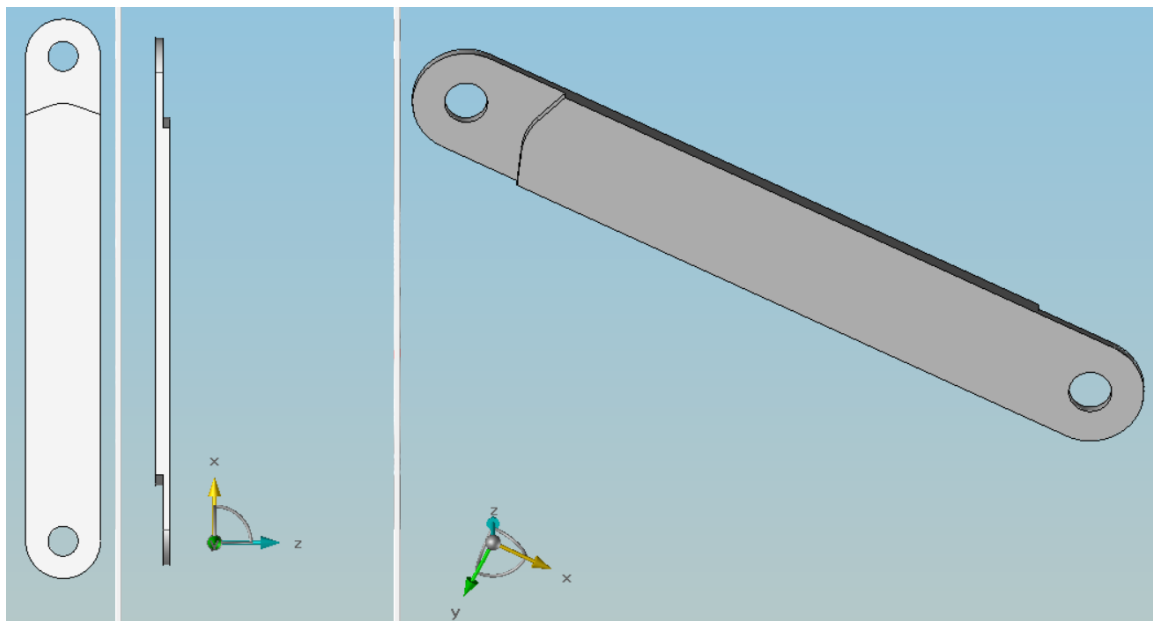
1. Frézování

- Upnout do svěráku → Zarovnat horní stranu → Frézovat obvod včetně R10 → Navrtání důlků → Vrtání děr $\varnothing 7,8\text{mm}$ → Šlicht děr $\varnothing 8\text{H7}$ → Frézovat odlehčení → Otočit kus
- Zarovnat horní stranu → Frézovat odlehčení

2. Pozinkování

Použité nástroje:

Frézka: fréza válcová $\varnothing 16$, fréza rovinná $\varnothing 40$, navrtávák, vrták $\varnothing 7,8$, výstružník $\varnothing 8\text{H7}$



Obr. 43 3D model upínací desky.

ZÁVĚR

V první části se teorie zabývala kompozity, jejich významem, vlastnostmi jednotlivých částí, rozdělením a technologií výroby. Druhá část se zabírala mechanickými zkouškami kompozitů, kde byl kladen důraz především na smykové zkoušky.

V praktické části byly uvedeny základní informace a parametry zkušebního zařízení, na kterém by testování probíhalo. Poté byly vypsány všechny požadavky, které určovala norma pro konstrukci prvního přípravku. Následně s ohledem na tyto požadavky byl navrhnout přípravek. U druhého řešení byl přípravek navrhnout pouze na základě doporučení z odborné literatury. Z důvodu malých rozměrů přípravků, byly navrženy redukce, které odstraňovaly problém s upnutím do zkušebního zařízení. Přípravky byly výpočtově zkontrolovány na stříh a tlak, maximální zatížitelnost činila 12063,7 N. Nakonec byly navrhnuty technologické postupy všech nenormalizovaných částí. Přípravky by v budoucnu mohly sloužit na ústavu výrobního inženýrství pro vědecké účely. Všechny návrhy byly zhotoveny v 3D programu TopSolid 2013. Výkresová dokumentace včetně sestav jednotlivých přípravků byla přiložena do přílohy bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [3] Volny.cz [online]. [cit. 2016-05-20]. *Definice a historie kompozitů*. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/historie.pdf>
- [4] Havel-composites.com [online]. [cit. 2016-05-20]. *Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů*. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popis-materialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>
- [5] Tpm.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2016-05-20]. *Kompozitní materiály*. Dostupné z: <http://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka/main/MI11.pdf>
- [6] VRBKA, Jan. *MECHANIKA KOMPOZITŮ* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340
- [7] MÍŠEK, Bohumil. *Kompozity*. Brno: Technický dozorčí spolek - Sekce materiálů a svařování, 2003. ISBN 80-903386-0-7.
- [8] Kompozity.info [online]. [cit. 2016-05-20]. *Zkoušení materiálů*. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/material2.pdf>
- [9] Kompozity.info [online]. [cit. 2016-05-20]. *Vláknové kompozitní materiály, jejich vlastnosti a výroba*. Dostupné z: http://www.kompozity.info/seminar/2_seminar/1_materialy_technologie.pdf
- [10] DAŘOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [11] JEŘÁBEK, Ivan. *Zkoušení kompozitních materiálů* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupný z: http://www.kompozity.info/seminar/12_zkousky_kompozitu.pdf
- [12] REINHART, Theodor J. *Composites* .: Ohio: Metals Park, 1987. ISBN 0-87170-279-7.

- [13] Havel-composites.com [online]. [cit. 2016-05-20]. *Technologie výroby kompozitů*. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/0-/76-Technologie-jejichpopis-%20%20a-schemata.html>
- [14] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Zpracovatelské inženýrství kompozitů*. Přednášky 2012
- [16] Pultruze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pultruze>
- [17] Gdpkoral.cz [online]. [cit. 2016-05-20]. *Technologie výroby kompozitů*. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/technologie-vyroby-kompozitu/w7>
- [18] Kompozity.info [online]. [cit. 2016-05-20]. *Vláknové kompozitní materiály, jejich vlastnosti a výroba*. Dostupné z: http://www.kompozity.info/seminar/1_materialy_technologie.pdf
- [19] Umi.fs.cvut.cz [online]. [cit. 2016-05-20]. *Kompozitní materiály*. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6_kompozitni-materialy.pdf
- [20] LECIÁN, Václav. *Studium mechanických vlastností kompozitů na bázi Kordcarbon tkaniny* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28574/leci%C3%A1n_2014_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce.
- [21] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [22] CABRNOCH, Bohuslav. *Porovnání zkušebních metod pro měření interlaminární smykové pevnosti laminátů* [online]. 2012 [cit. 2016-05-20]. Dostupný z: http://www.csm-kompozity.wz.cz/ILSS_Cabrnoch_2010.pdf
- [23] MALLICK, P. K. *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. 3rd ed., [expanded and rev. ed.]. Boca Raton, FL: CRC Press, c2008. ISBN 0849342058.
- [24] NORDIC INDUSTRIAL FUND. ED.: D. ZENKERT. *The handbook of sandwich construction*. Cradley Heath, West Midlands: Engineering Materials Advisory Services Ltd. (EMAS), 1997. ISBN 0947817964.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F	[N]	Síla
τ	[MPa]	Smykové napětí
σ	[MPa]	Normálové napětí
S	[mm ²]	Obsah plochy
P	[N]	Vyvozená síla stroje
b	[mm]	Šířka lepené plochy
B	[mm]	Délka lepené plochy
L _X	[mm]	Délka v ose X měřená tenzometrem
L _Y	[mm]	Délka v ose Y měřená tenzometrem
q _{XY}	[N]	Smykové síly
N _X	[N]	Normálová síla v ose X
N _Y	[N]	Normálová síla v ose Y
t _S	[mm]	Tloušťka vzorku
τ_{DS}	[MPa]	Dovolené smykové napětí
p _{dov}	[MPa]	Dovolené tlakové napětí
d	[mm]	Průměr čepu
a	[mm]	Určená délka redukce
b	[mm]	Určená délka redukce

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Synergický efekt v kompozitu [10]	12
Obr. 2 Aramidové, uhlíkové a skleněné vlákno.[18].....	14
Obr. 3 Druhy vazeb [4]	15
Obr. 4 Rozdělení kompozitních materiálů dle geometrie výztuže.....	15
Obr. 5 Prostorové uspořádání vybraných vláknových kompozitů [6]	16
Obr. 6 Částicový kompozit [19]	17
Obr. 7 Ruční kladení za mokra. [14]	18
Obr. 8 Ruční nanášení sprejem. [14]	18
Obr. 9 Lisování se vstřikem. [13]	19
Obr. 10 Vakuová infúze pod pružnou folií. [33]	20
Obr. 11 Pultruze. [17]	21
Obr. 12 Prepreg. [14].....	21
Obr. 13 Výroba prepregu impregnační tkaniny roztokem polymeru. [14].....	22
Obr. 14 Typ vzorků u zkoušky tahem. [1].....	23
Obr. 15 Předčasné porušení při tlakovém zatížení. [1].....	24
Obr. 16 Zkouška ohybem – tři a čtyř bodová. [1].....	24
Obr. 17 Vliv směru smykových napětí na způsob zatížení. [21].....	25
Obr. 18 Zkouška trubky krutem.[1].....	25
Obr. 19 Schéma metody zkoušky smyku V-vrubem [22]	26
Obr. 20 Schéma metod rail-shear dle ASTM D4255 [24].....	26
Obr. 21 Zkouška smykem pomocí kloubového systému. [12]	27
Obr. 22 Schéma kloubového systému. [24].....	27
Obr. 23 Zkušební těleso ke stanovení interlaminární pevnosti ve smyku. [22].....	28
Obr. 24 Ohybové přetvoření zkušební tělesa pro určení interlaminární smykové pevnosti [21].....	28
Obr. 25 Zkouška třibodovým ohybem ke stanovení interlaminární smykové pevnosti. [20]	29
Obr. 26 Univerzitní zkušební stroj Zwick 1456.	31
Obr. 27 Upínání na zkušebním stroji Zwick 1456.....	32
Obr. 28 Základní část přípravku, žlutá část představuje zkušební vzorek.....	33
Obr. 29 Přípravek s redukcí na stroj.	34
Obr. 30 Působení sil na vlákna s natočením o 45°......	35

Obr. 31 Působení sil na vlákna s podélným uložením.....	35
Obr. 32 Základní část přípravku č. 2, žlutá část představuje zkušební vzorek.....	36
Obr. 33 Přípravek č. 2 s redukcí na stroj.....	36
Obr. 34 Zobrazení lepených ploch.....	37
Obr. 35 Působící síly na zkušební vzorek. [12].....	37
Obr. 36 Působení sil na vlákna	38
Obr. 37 Síly působící na čep.....	39
Obr. 38 Frézovací centrum s možností vytočení stolu od firmy Hermle.....	41
Obr. 39 Multifunkční soustružnicko-frézovací centrum od firmy Kovosvit Mas.....	41
Obr. 40 3D model redukce.....	42
Obr. 41 3D model upínací tyče.....	43
Obr. 42 3D model distanční vložky.....	44
Obr. 43 3D model upínací desky.....	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní technické údaje zkušebního stroje Zwick.....	32
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I:	Výrobní výkres BP 001 - redukce
Příloha P II:	Výrobní výkres BP 002 - upínací tyč
Příloha P III:	Výrobní výkres BP 003 - distanční vložka
Příloha P IV:	Výrobní výkres BP 004 - upínací deska
Příloha P V:	Výkres sestavení BP 0001 - Přípravek č. 1
Příloha P VI:	Výkres sestavení BP 0002 - Přípravek č. 2
Příloha P VII:	CD disk