

Konstrukce přípravků pro měření smykových vlastností kompozitů

Radim Pavelka

Bakalářská práce
2016/2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Radim Pavelka
Osobní číslo: T15621
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: Konstrukce přípravků pro měření smykových vlastností kompozitů

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

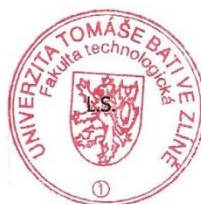
Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



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



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

Příjmení a jméno: PAVEUKA RADUŽ

Obor: T2

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 17.5.2017


.....

²⁾ 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 nevdělečně 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 nahlázení 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 vzdělávacímu 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 díla:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-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 přihlídáne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Úkolem mé bakalářské práce bylo zkonstruovat přípravek pro smykovou zkoušku dle normy D 7078 s možným použitím na trhačím stroji od firmy Shimadzu a Zwick. V teoretické části se zabývám vláknovými kompozity, jejich rozdělením a zkušebními metodami, které se využívají pro zjišťování smykových vlastností kompozitů. V praktické části popisují konstrukční řešení přípravků, které budou při smykových zkouškách používány.

Klíčová slova: smyková zkouška, přípravek, kompozit

ABSTRACT

For the task in my Bachelor Thesis was to design a product for shear tests according to standard D 7078 with potential applications on a tensile tester from. The theoretical part deals with fiber composites, their classification and testing methods that are used for determining the shear properties of composites. The practical part describes the construction solution products which shed during shear tests used.

Keywords: shear test, medicine, composites, methods

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Milanu Žaludkovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné rady a připomínky, kterými jsem se mohl řídit při vypracování mé bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat i své mamince za pevné nervy a podporu při mém studiu.

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

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	14
1.6 Rozdělení kompozitů.....	15
1.6.1 Vláknové kompozity.....	15
1.6.2 Vlákna.....	16
1.6.3 Částicové kompozity.....	17
2 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ	18
2.1 Ruční laminování za mokra.....	18
2.2 Nanášení sprejem	20
2.3 RTM (Resin Transfer Moulding).....	20
2.4 Vakuová infuze	22
2.5 VFI (Vacuum Foil Infusion)	23
2.6 Navíjení	23
2.7 Výroba prepregu.....	24
3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITŮ	26
3.1 Úvod.....	26
3.2 Zkoušky statické.....	26
3.2.1 Zkouška smykem	26
3.2.1 Zkouška interlaminárním smykem	34
3.2.2 Interlaminární smyk pomocí krátkého nosníku	34
3.2.3 Smyk jednoosý tah $\pm 45^\circ$	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
4 ZKUŠEBNÍ STROJE PŘI ZKOUŠCE ASTM D 7078	39
4.1 Zkušební stroj Zwick 1456.....	39
4.2 Zkušební stroj Shimadzu AG-CC 50kN.....	40
4.3 Technologický postup výroby součástí přípravku ASTM D7078	41
4.3.1 Technologický postup.....	41

4.3.2	Součást 1 – čelist levá.....	42
4.3.4	Součást 3 – Čelist pravá.....	48
5	POSTUP SESTAVENÍ PŘÍPRAVKU ASTM D 7078.....	54
5.1	Podsestava čelist levá + šrouby + držáky.....	54
5.2	Podsestava čelist pravá + šrouby + držáky	55
5.3	Finální sestava přípravku ASTM D 7078	55
5.4	Pevnostní kontrola v kritickém místě.....	57
5.5	Sestava uležená ve stroji Shimadzu	57
6	PŘÍPRAVA VZORKU DLE NORMY ASTM D 7078.....	59
6.1	Dovolené poruchy zkušební vzorku.....	60
6.2	Vyhodnocení zkoušky	61
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Od doby kdy lidstvo začalo vytvářet umělé předměty, se také začala řešit kvalita materiálu použitého k výrobě. Už i ve středověku se bral zřetel na kritéria použitá k efektivní výrobě a využití materiálu. Volba byla založena na mechanických vlastnostech potřebných pro jistý účel. S rozvíjející se technologií byl kladen důraz i na další vlastnosti, ale mechanické vlastnosti zůstaly rozhodující. Hlavní kritéria, která byla v minulosti rozhodující jsou zohledňována i dnes, a to: ekonomická stránka, estetická stránka, dostupnost materiálu, účel a požadavky ze strany kupujícího včetně trvanlivosti.

Vývoj jde dál. Když se na počátku zjistilo, že lze vlastnosti materiálů upravit, zlepšit jistou metodou, začaly se vyrábět materiály v přírodě neexistující. V průběhu let se každá etapa vědy ve vývoji lidstva dovršuje tehdy, když je zřejmé, že vznikla nová disciplína. V posledních letech vznikla například věda o materiálech jako nová disciplína, která obsahuje spoustu technologických odvětví jako je: metalurgie, keramika, technologie skla, technologie polymerů a další materiálové technologie.

Při spojování technologicky odlišných materiálů vznikají nové vlastnosti. Proto se začaly zavádět zkoušky, které nám upřesní složení a vlastnosti spojeného materiálu, abychom mohli dobré, vhodné vlastnosti posílit a nežádoucí vlastnosti odstranit.

Kompozitní materiály jsou kombinovány ze všech hlavních tříd (kovů, keramiky, anorganických materiálů a polymerů). S vývojem kompozitů se musí rozšiřovat a prohlubovat komplexnost přístupu a současně s tím posuzovat všechny vlastnosti použitých složek v kompozitu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

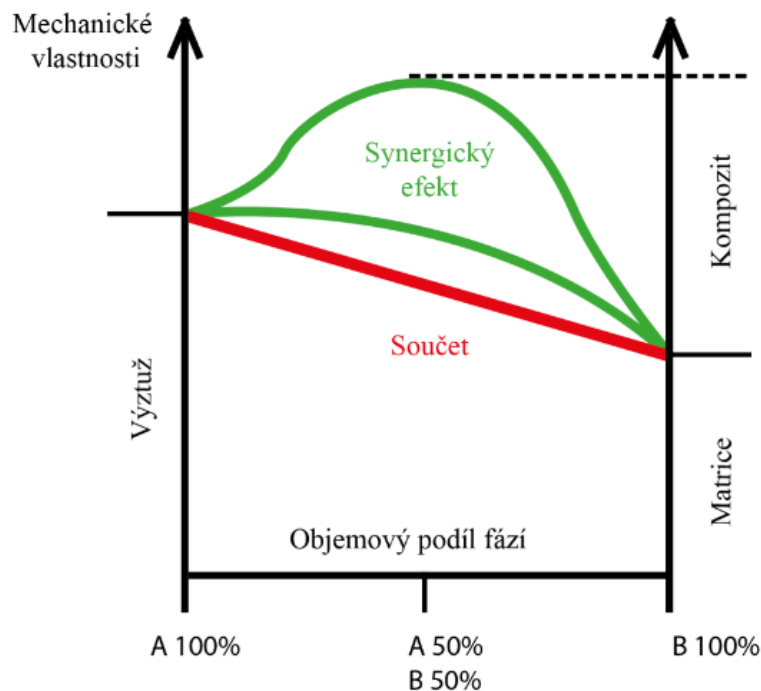
1 KOMPOZITY

1.1 Úvod

Kompozitní materiály se staly v dnešní době průmyslovými materiály na celém světě. Původní vojenská použití za 2. světové války podnítila jejich komerční využití koncem 40. a začátkem 50. let. V dnešní době jsou na plastech vyztužených vlákny závislé mnohé průmysly, jako jsou např. letecký, automobilový, elektronický i průmysl sportovních potřeb. Narůstá využití méně náročných plastových kompozitů, které jsou plněné částicemi nebo minerály pro snížení nákladů, a tento nárůst bude i nadále pokračovat, dokud budou minerální látky dostupnější než suroviny pro syntézu polymerů. [2]

1.2 Definice kompozitních materiálů

Kompozit je takový materiál, který se skládá ze dvou nebo i více částí (z nichž je alespoň jeden materiál tuhý) či cílevědomé kombinování různých vlastností, ať už se jedná o mechanické či chemické, kde každá složka plní jinou funkci. Takový materiál označujeme jako kompozit. Výsledné vlastnosti (výhody i nevýhody) jsou dané kombinací vlastností jednotlivých složek [3]



Obrázek č.1 Mechanické vlastnosti kompozitu-synergický efekt [4]

1.3 Vlastnosti kompozitů

Vlastnosti kompozitů jsou silně ovlivňovány vlastnostmi svých materiálových složek, jimiž jsou tvořeny, a také jejich distribucí a interakcí mezi nimi. Pro zlepšení a zvýšení mechanických vlastností se přidávají vyztužující složky. Se zvyšujícím se obsahem této složky rostou i mechanické vlastnosti, a to až do podílu 80% této složky. Aby se zajistila plná pevnost vláken, musí být vlákna dokonale propojená (smočená) pojivem a musí se zabezpečit dobrá přilnavost (adheze) mezi vlákny a matricí. Povrch vláken se chemicky upravuje pro vytvoření chemických vazeb mezi matricí a vlákny. Na směru výztužných vláken závisí vlastnosti kompozitů. [1]

1.4 Matrice

Jedná se o pojivo výztuže ve vláknových kompozitech. Nejpoužívanějším pojivem je pryskyřice. Úkolem matrice je chránit výztuž proti vnějším vlivům, pomáhat přenášet tlak ve směru kolmo na vlákna a rozkládat lokální namáhání do okolí, k přenosu sil dochází pomocí adheze mezi vláknovou výztuží a matricí. Mezi hlavní typy polymerních pryskyřic tvořící matrici jsou:

- a) Epoxidové
- b) Polyesterové
- c) Fenolové
- d) Polyamidové

Většina namáhaných kompozitních struktur je vyráběna z epoxidových pryskyřic díky dobrým vlastnostem, jako jsou:

- a) Dobrá adheze k vláknům
- b) Nízké smrštění během vytvrzování
- c) Dobrá chemická odolnost
- d) Creepová a únavová odolnost
- e) Neobsahuje styren – nejsou toxické [5]

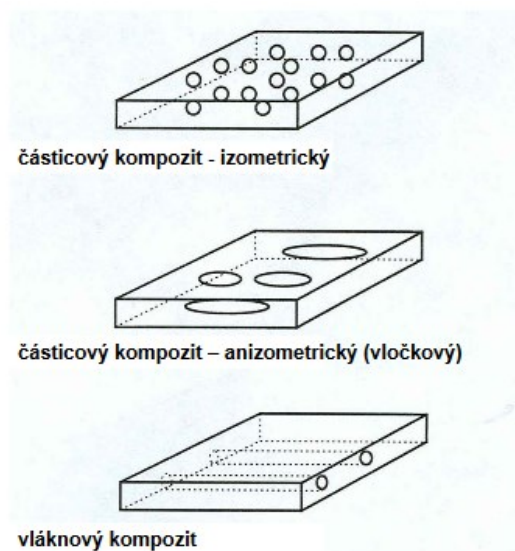
1.5 Výztuž

Výztuže zajišťují dobré mechanické vlastnosti kompozitů, zvláště pevnost a tuhost. Při použití výztuže lze kompozity rozdělit na:

- a) podle velikosti použité výztuže na:
 - Makrokompozity
 - Mikrokompozity
 - Nanokompozity

- b) podle orientace výztuže na:
 - Preferovaná
 - Náhodná

- c) podle tvaru výztuže na:
 - Částicové (izometrický či anizometrický tvar)
 - Vláknové

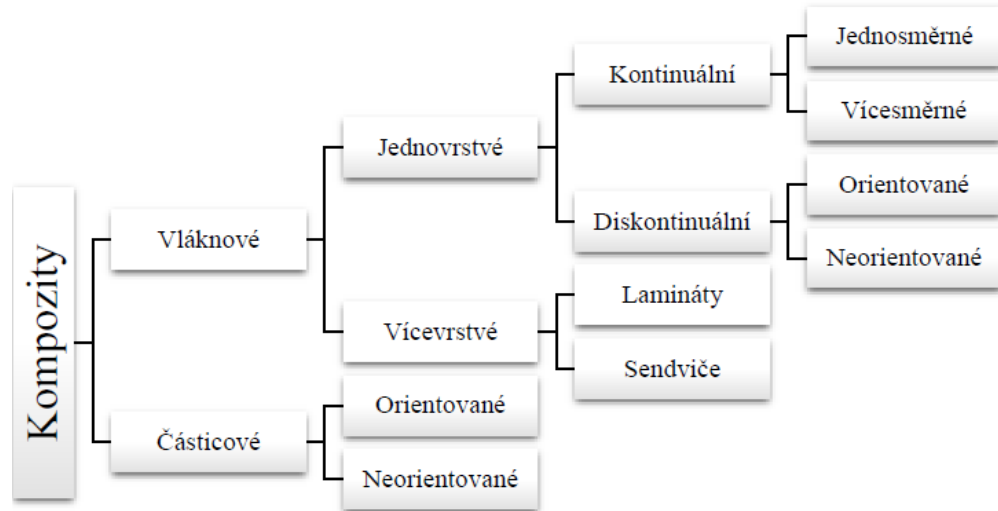


Obrázek č.2 Tvar výztuže [9]

- d) podle typu použité výztuže na:
 - Vlákna
 - Tkaniny
 - Rohože
 - Kombinované výztuže

1.6 Rozdělení kompozitů

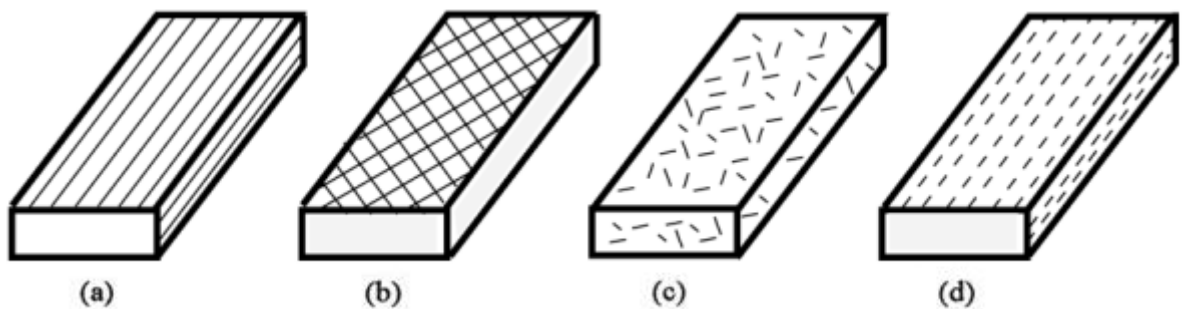
Kompozity jsou rozdělovány do mnoha skupin, ale v základní kategorii jsou rozdělovány na vláknové a částicové.



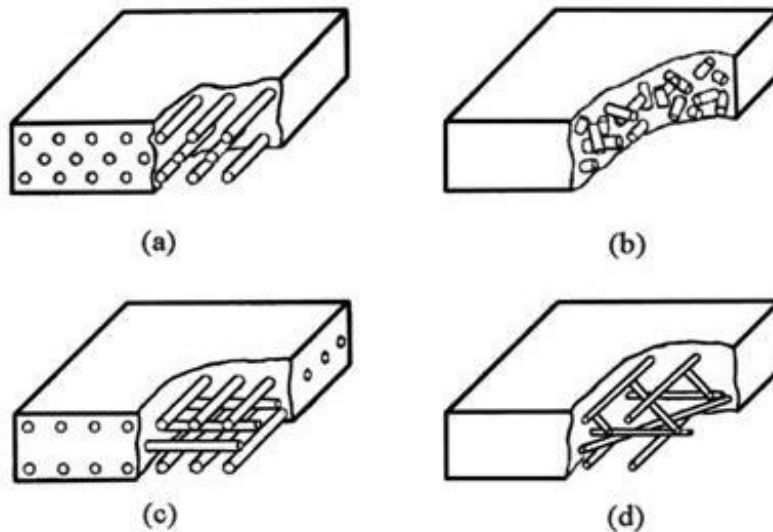
Obrázek č.3 rozdělení kompozitů

1.6.1 Vláknové kompozity

Jedná se o kompozity skládající se z vláknové výztuže, pojiva a matrice. Vláknové kompozity jsou s dlouhými vlákny nebo s krátkými vlákny, kompozity s kontinuálními vlákny mohou mít výztuž orientovanou jednosměrně nebo dvouose, víceose nebo nahodile. [5,6]



Obrázek č.4 Orientace dlouhých a krátkých vláken



Obrázek č.5 Prostorové uspořádání vláknových kompozitů

- a) Jednosměrně orientovaná vlákna c) Ortogonálně orientovaná vlákna
b) Náhodně orientovaná vlákna d) Několikvrstveně uspořádaná vlákna

[5,6]

1.6.2 Vlákna

Jsou pevnější než materiály v kompaktní podobě. Jejich pevnost závisí na jejich délce a průměru vláken. Používá se především při přesném navíjení. Na počtu vláken závisí pružnost, pevnost a cena. V dalších technologiích jsou používána jako výztuž v lokálních místech, ale z důvodů malých průměrů se nemohou používat přímo. Proto se vkládají do matricových materiálů pro vytvoření vláknových kompozitů. Většina vyráběných vláken má od 5 do 20 μm v průměru. Mezi nejpoužívanější vlákna patří:

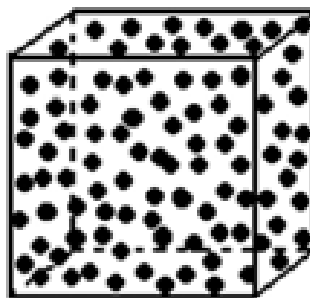
- Skelná
- Uhlíková
- Aramidová
- Keramická
- Kovová



Obrázek č.6 Skelné, Uhlíkové, Aramidové vlákno

1.6.3 Částicové kompozity

Jedná se o kompozit, který má značně rozdílnou strukturu a je tvořen maticí zpevněnou jemnými částicemi. Jemnými částicemi mohou být kovy nebo konstrukční keramika. Matrice může v tomto případě být kovová, keramická, polymerní. Mechanické vlastnosti jako jsou mez kluzu, pevnosti a tvrdosti jsou vyšší, tak i další vlastnosti, např. tepelná a elektrická vodivost. Částice, které nám zpevňují kompozit a nedosahují vyšších rozměrů než $1\ \mu\text{m}$ jsou kulovitých, destičkový tvarů, popřípadě tvarů nepravidelných. Částice musí být v matici rovnoměrně rozptýleny jinak dojde k poklesu pevnosti kompozitu. [6]



Obrázek č.7 Částicový kompozit

2 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ

Na technologii výroby kompozitů má vliv celá řada faktorů. Nejvíce však výrobu ovlivňuje cena a výsledné vlastnosti. Další kritéria, která jsou důležitá pro výrobu bych shrnul do těchto bodů. Jedná se o:

- Velikost a členitost výrobku
- Sériovost dílce
- Kvalita povrchu
- Požadované vlastnosti (hmotnost a pevnost)
- Limit nákladů

Dále je třeba dohlédnout, aby forma měla splněny základní podmínky v každé technologii:

- Forma musí být před použitím nepoškozená a čistá
- Musí být naseparovaná separačním prostředkem

Rozdělení technologií: [5,11]

1. Ruční laminování za mokra
2. Nanášení sprejem
3. Lisování se vstřikem RTM
4. Vakuová infuze
5. VFI
6. Navíjení
7. Výroba prepregu

2.1 Ruční laminování za mokra

Výztuže ve formě tkanin nebo rohoží se ve výrobní formě postupně přesycují pryskyřicí pomocí ručního náradí. Používá se pro výrobu obkladů karosérií dopravních prostředků.

Využívá se přitom pryskyřice:

- Polyesterová
- Epoxidová
- Vinylová
- Fenolická

Jako výztuž se používá:

- Sklo
- Uhlík
- Kevlar
- Juta
- Konopí



Obrázek č.8 Ruční laminování za mokra [5,11]

Výhody:

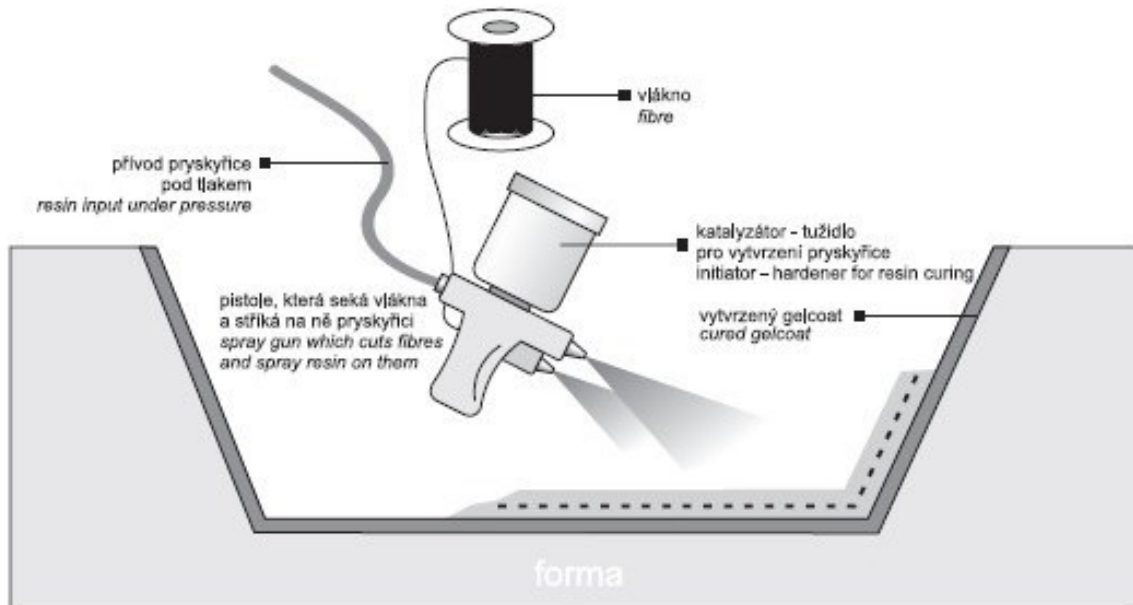
- Jednoduchá technologie
- Ekonomická- nízké náklady na výrobu formy
- Pro malé série
- Pro velké výrobky složitých tvarů

Nevýhody:

- Kvalita závisí na zručnosti pracovníka
- Nebezpečí vdechnutí výpar styrénu

2.2 Nanášení sprejem

Při tomto procesu se nanáší pomocí řezací pistole do formy katalyzovaná směs krátkých skleněných vláken následně slisování celou matici vytvrdí.



Obrázek č.9 nanášení sprejem [5,11]

Výhody:

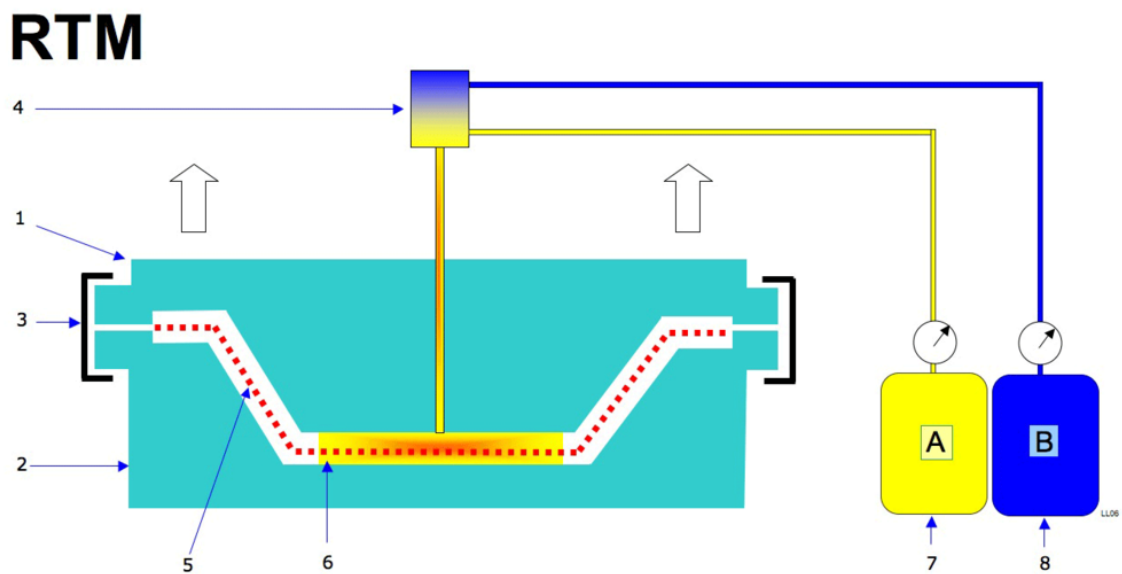
- Nízká cena
- Jakýkoliv rozměr lze vyrobit

Nevýhody:

- Nutná vyšší zkušenost pracovníka
- Těžké dosažení přesných tolerancí

2.3 RTM (Resin Transfer Moulding)

Neboli přenos pryskyřice lisováním. Je zde použita dvojdielná forma. Suché výztuže ve formě tkanin nebo spečených tkaných rohoží se postupně dávají do dutiny spodní části formy. Po uložení se forma uzavře horní částí a poté se pryskyřice dávkovacím zařízením dopraví do dutiny formy. Používá se pro výrobu obkladů karosérií dopravních prostředků, kryty přístrojů a zařízení.



Obrázek č.10 RTM laminování [5,11]

Výhody:

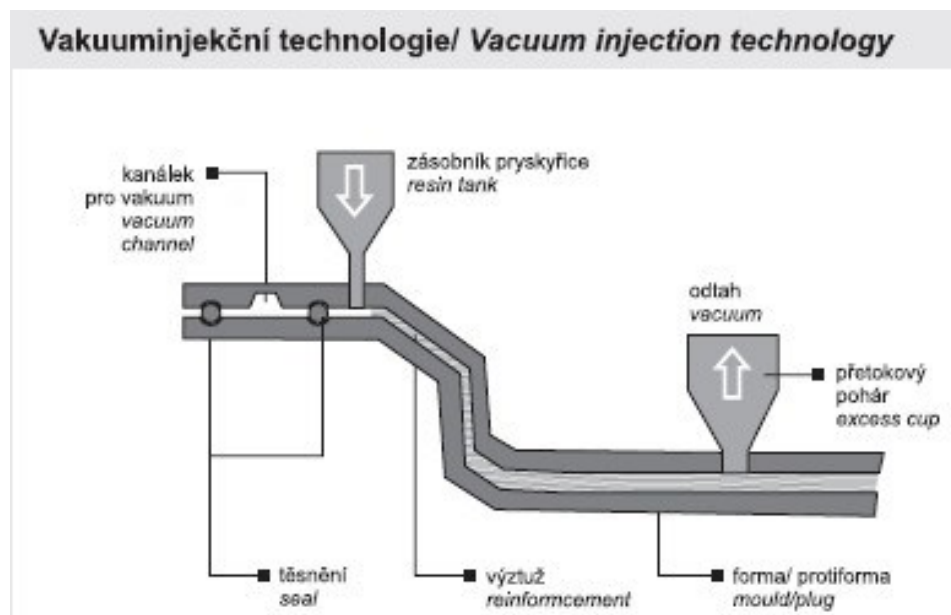
- Jednoduchá a přesnější než ruční laminování
- Vhodná pro střední série a to 300-5000 ks
- Obě strany výrobku jsou hladké
- Snížení emisí styrénu
- Rovnoměrnější kvalita výrobku

Nevýhody:

- Vyšší náklady na výrobu forem
- Formy jsou velké a těžké
- Nejsou možné vyrobit s negativními úhly
- Složitější postup obsluhy
- Neustálá kontrola tlaku

2.4 Vakuová infuze

Tato metoda se používá pro výrobu lodí, výrobu vrtulí větrných elektráren, kdy využívá podtlaku, kde se do formy vloží suché výztuže, poté se pomocí vakuové fólie materiál sli-
suje a pryskyřice je do dutiny formy transportována pomocí systému hadiček. Používá se pryskyřice epoxidová nebo polyesterová. A jako výztuž se používá sklo, uhlík, kevlar.



Obrázek č.11 Vakuová infuze [5,11]

Výhody:

- Lepší mechanické vlastnosti
- Pro malé série
- Pro velké výrobky
- Rovnoměrné rozložení pryskyřice

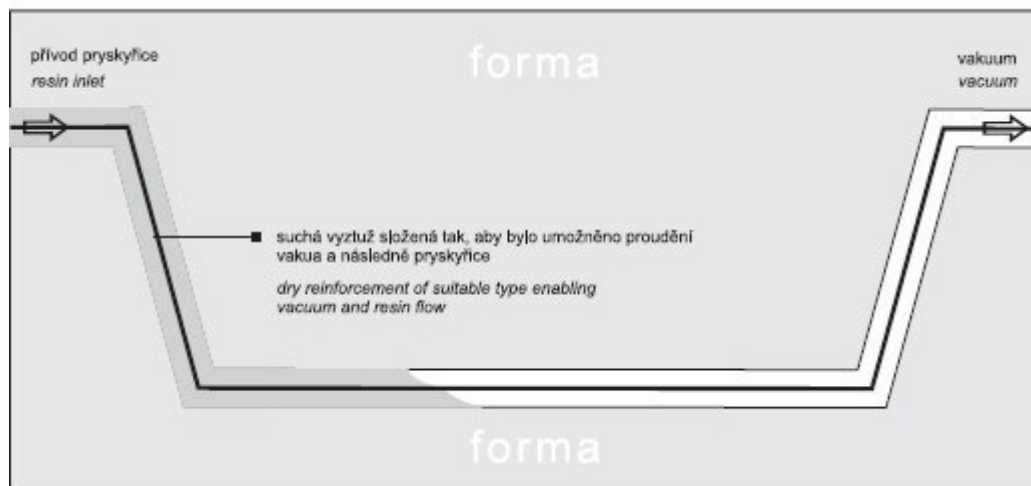
Nevýhody:

- Složitý proces
- Vyšší náklady na pomocný materiál

2.5 VFI (Vacuum Foil Infusion)

Neboli infuze vakuové fólie. Využívá podtlak pro přenos pryskyřice v položených vrstvách výztuže. Výztuže jsou na sucho položené do dutiny formy a na výztuže se obvykle pokládají další pomocné materiály. Pro dosažení vakua je potřeba:

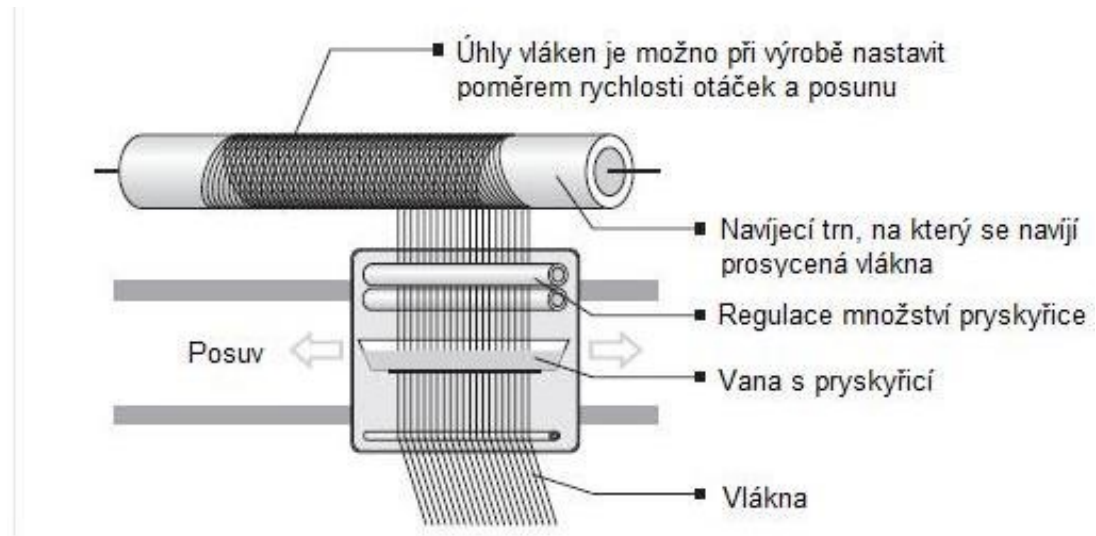
- Vakuovou fólii
- Odsávací rohože
- Separáčnící fólie
- Distribuční média
- Těsnící pásy
- Vakuové ventily, hadice a spojky



Obrázek č.12 infuze vakuové fólie [5,11]

2.6 Navíjení

Výztuž, kterou tvoří většinou skleněné, ale i uhlíkové vlákno ve formě nekonečného vlákna je tažené přes pryskyřicovou koupel a je následně navíjené na rotující skříň. Pryskyřice vytvrzuje při zvýšené teplotě, protože trn je vyhříváný externím vyhřívacím zařízením. Používá se při výrobě trubek a výrobě speciálních nádob, v automobilovém průmyslu, stavebnictví, chemickém průmyslu, letectví, lékařství, energetickém průmyslu. Pryskyřice se zde používá: polyesterová, vinylesterová, epoxidová a jako výztuž je nejčastěji používáno sklo.



Obrázek č.13 Navíjení vláken [5,11]

Výhody:

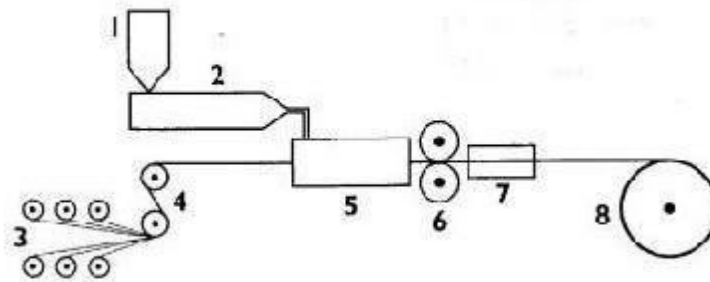
- Produktivní proces výroby kompozitů
- Možnost výroby velmi tuhých konstrukcí

Nevýhody:

- Omezení technických možností z hlediska změny tvaru
- Nerovnoměrný návin po celé délce trnu
- Náklady na výrobu trnu mohou být vysoké

2.7 Výroba prepregu

Prepreg je polotovar, který se používá pro výrobu vláknových kompozitů. Listy s prepregu se vrství do požadovaných tlouštěk a poté se dotvrdí za pomoci tlaku a tepla. Technologie pro výrobu se volí podle použitých materiálů. Prepregy se používají v letectví, automobilovém a vojenském průmyslu, či jako sportovního náčiní, jako jsou snowboardy, lyže.



Obrázek č.14 Výroba prepregu [5,11]

1-zásobník granulí termoplastu, 2-vytlačovací stroj se štěrbinovou hubicí, 3-cívky rovingů, 4-napínací kladky, 5-prosycování rovingů taveninou termoplastu, 6- valcování prepregu, 7-chlazení prepregu, 8-navíjení prepregu

Výhody:

- Vysoký podíl vláknové výztuže
- Snadná výroba
- Dobré mechanické vlastnosti

Nevýhody:

- Vyšší cena
- Značný odpad
- Skladování za nízkých teplot

3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITŮ

3.1 Úvod

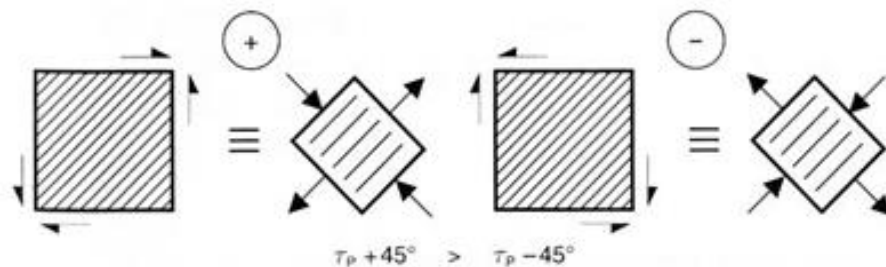
Zkoušky kompozitních materiálů byly standardizovány řadou organizací, ale mezi hlavní mezinárodní zkušební kompozitní standarty jsou řazeny normy podle ASTM, ISO, CEN. Vedle nich existují i jiné normy, které jsou v dnešní době už zastaralé, ale stále se hojně používají. V mnoha případech zkušební metody popisují různé standarty, které jsou v podstatě stejné, ale jsou zde významné rozdíly ve vzorcích a upínacích rozměrech. U mechanických zkoušek má vliv na chování vzorku rozložení vláken, tvrdost matrice, množství vláken.

3.2 Zkoušky statické

Mezi statické zkoušky se řadí zkouška: tahem ASTM D 3039, tlakem ASTM D 3410 či ohybem, která se provádí dle ČSN EN ISO 178 a 14125.

3.2.1 Zkouška smykem

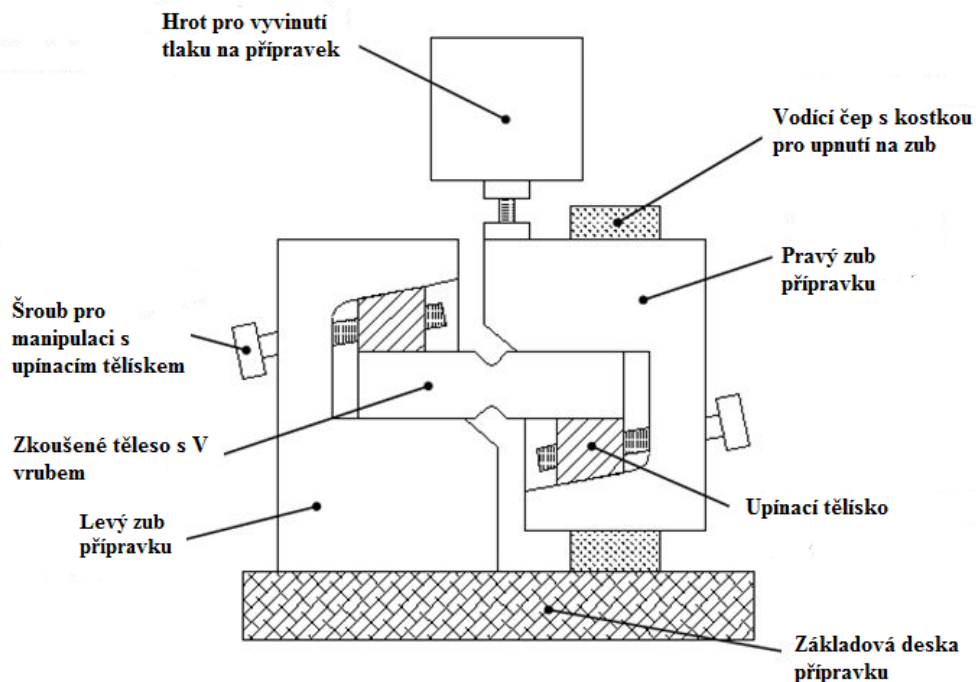
Zkouška se provádí pro zjištění pevnosti kompozitního materiálu ve smyku závislých na směru namáhání. Jednosměrně vyztužený laminát má vyšší pevnost ve směru vláken, než v kolmém směru a z toho vyplývá, že pevnost ve smyku se směrem namáhání jsou na sobě závislé. Když namáhání působí v kladném směru, tak se jedná o příčné tlakové namáhání. Když působí namáhání naopak v záporném směru, pak se jedná o tahové namáhání. Pevnost ve smyku je tlakového namáhání větší než u tahového. [1]



Obrázek č.15 Vliv směru smykových napětí

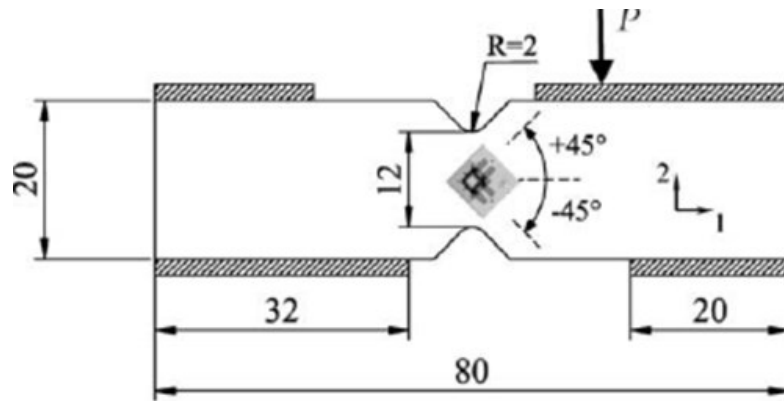
Zkouška smykem nám určuje několik smykových charakteristik kompozitních materiálů. Můžeme ji použít pro kompozitní materiály vyztužené vlákny jak kontinuálně tak i diskontinuálně, jako je: jednosměrné uložení vlákna, tkaniny, krátko vláknové výtzuže s náhodnou orientací. Při smykové zkoušce se může zjistit pevnost ve smyku a modul pružnosti ve smyku.

Zkouška smykem dle normy ASTM D5379



Obrázek č.16 Zkouška ASTM D5379

Vzorek je obdélníkového průřezu s V vruby umístěnými uprostřed délky. Vzorek je uložen ve speciálním přípravku a zatížen pomocí zkušebního stroje kde V vrub je rovnoběžně s osou zatížení. Rychlost zkoušky závisí na šířce a tloušťce zkušební vzorku. Zkouška bude zakončena přetrhnutím nebo překročením povolené deformace zkušební vzorku. Tato metoda je vhodná pro určení modulu pružnosti ve smyku. Při této zkoušce se zkoušejí materiály, které jsou vyztuženy vlákny s vysokým modulem pevnosti. [7]



Obrázek č.17 Místo při měření u zkoušky smykem dle normy ASTM D 5379

$$F'' = \frac{P''}{w.h} \quad \tau_i = \frac{P_i}{w.h} \quad \gamma = |\varepsilon_{45^\circ}| + |\varepsilon_{-45^\circ}| \quad G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma}$$

F'' – konečná síla

P'' – nejnižší síla při 5% napětí smyku

A – průřez

τ_i – smykové napětí

P_i – síla působící na bod

γ –smyková deformace v bodu

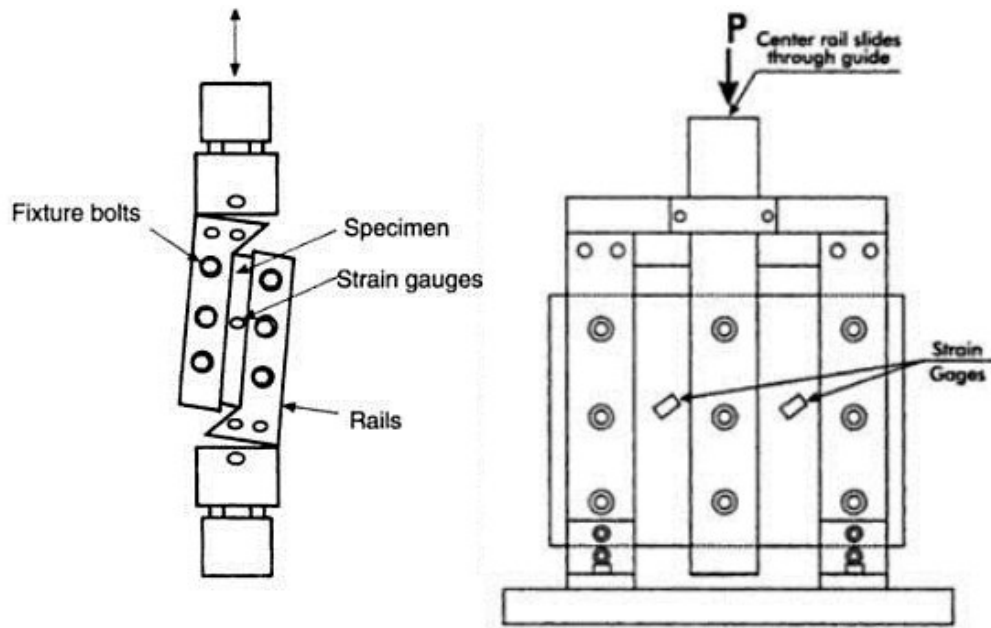
ε_{45° – normálová deformace při datovém bodu μ_ε

ε_{-45° – normálová deformace v datovém bodu μ_ε

G – smykový modul pružnosti ve zkušebním směru

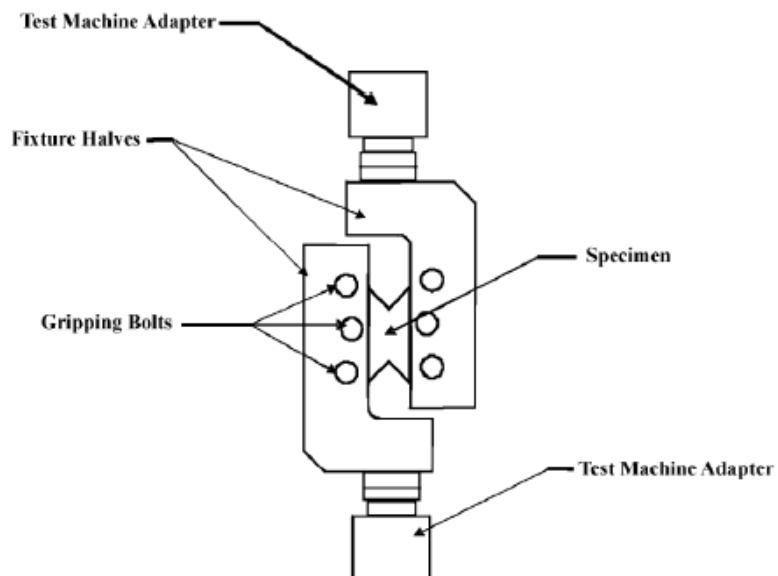
$\Delta\tau$ –vstah v aplikovaném smykovém napětí mezi dvěma body deformace

$\Delta\gamma$ – rozdíl mezi dvěma doby smykové deformace

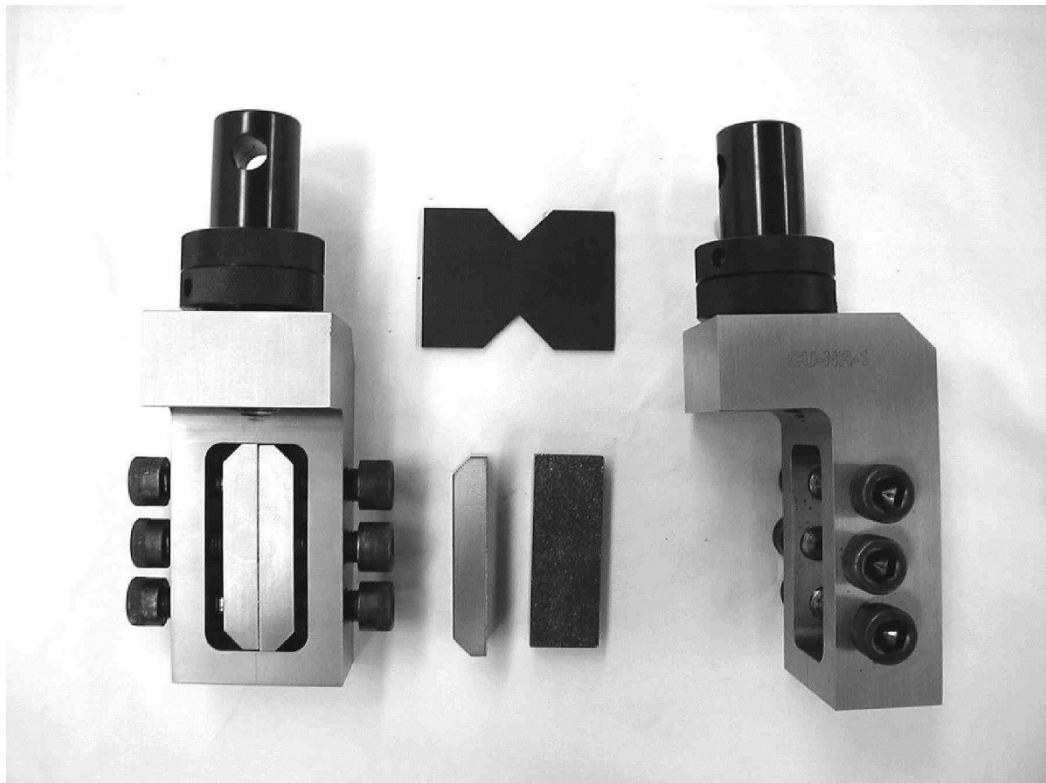
Zkouška smykem dle normy ASTM D4255

Obrázek č.18 Zkouška s dvojm a trojm vedením zkouška ASTM D4255

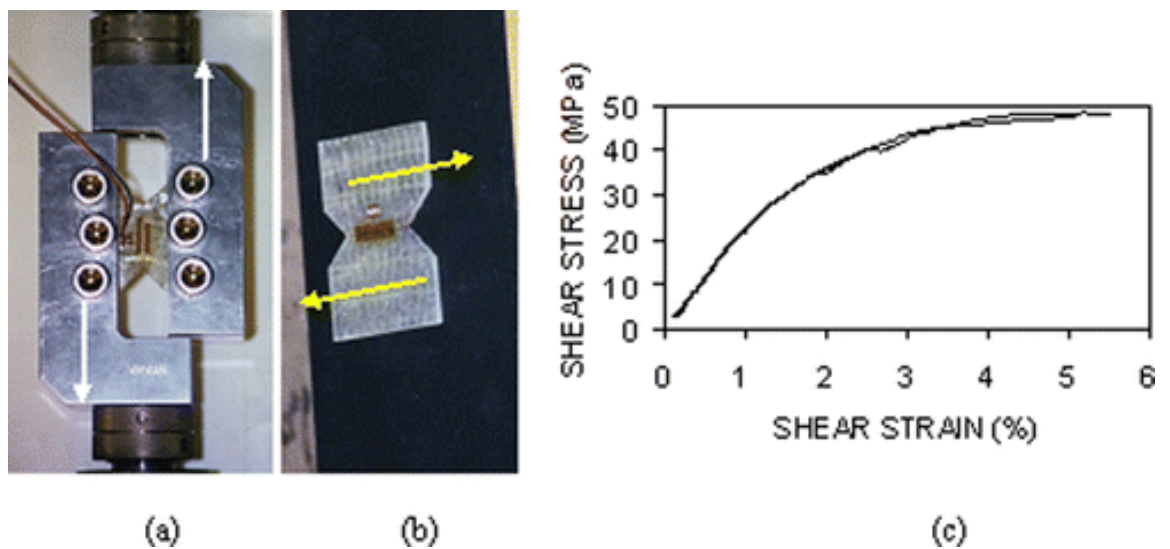
Tato zkušební metoda určuje vlastnosti smykové v rovině k vysokým modulům kompozitních materiálů vyztužených vlákny a je možno provádět testy s dvojm nebo trojm vedením. [7]

Zkouška smykem dle normy ASTM D7078

Obrázek č.19 ASTM D7078



Obrázek č.20 přípravek pro měření dle normy ASTM D7078



Obrázek č.21 Umístění měřidla a diagram smykové napětí/smykové deformaci

Při této metodě slouží jako vzorek plochý obdélníkový se dvěma vruby, kdy je vzorek zatěžován ve speciálním zatěžovacím přípravku. Tuto zkoušku měříme tensometry nebo termometry. Tato metoda je vhodná pro určování návrhových materiálových hodnot a můžeme u ní spočítat:

Konečnou sílu, smykové napětí, smykovou deformaci, smykový modul pružnosti. . [7]

$$F'' = \frac{P''}{A} \quad \tau_i = \frac{P_i}{A} \quad \gamma = |\varepsilon_{45^\circ}| + |\varepsilon_{-45^\circ}| \quad G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma}$$

F'' – nejnižší síla při 5% napětí smyku

A – průřez

P_i – síla působící na bod

ε_{45° – normálová deformace při datovém bodu μ_ε

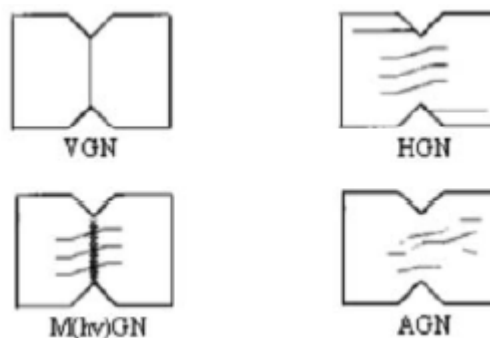
ε_{-45° – normálová deformace v datovém bodu μ_ε

$\Delta\tau$ – vstah v aplikovaném smykovém napětí mezi dvěma body deformace

$\Delta\gamma$ – rozdíl mezi dvěma doby smykové deformace

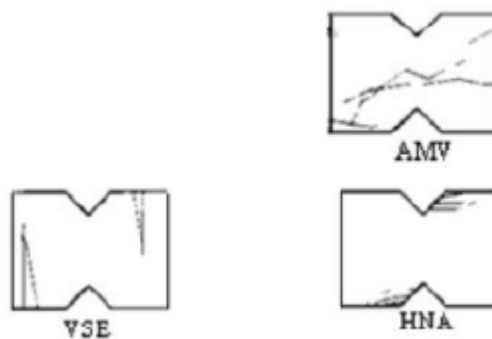
Při této zkoušce může dojít k různým poruchám zkušebního vzorku, ale ne každá porucha je vyhovující.

Vyhovující poruchy:

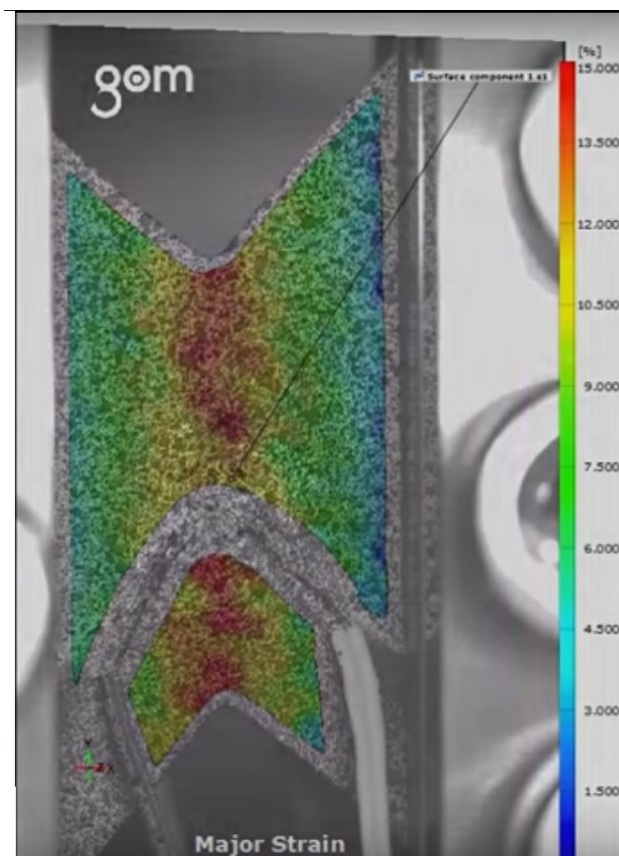


Obrázek č.22 Vyhovující poruchy zkušebního vzorku ASTM D7078

Nevyhovující poruchy:

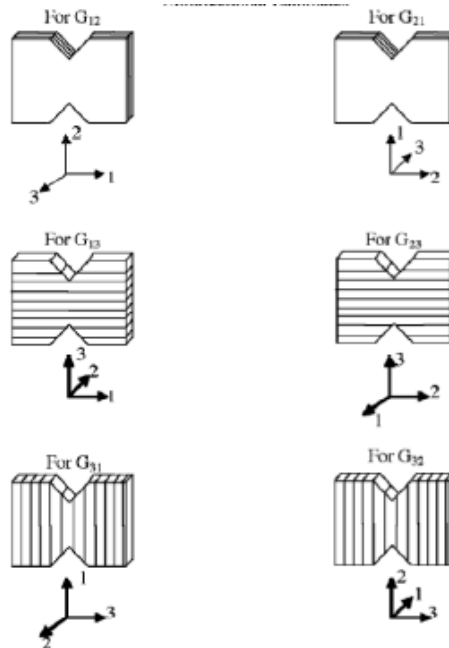


Obrázek č.23 Nevhodující poruchy zkušební vzorku ASTM D7078



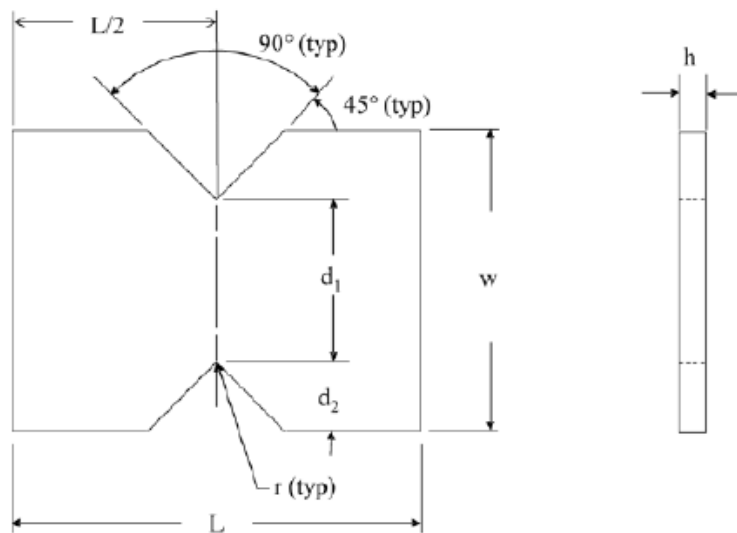
Obrázek č.24 Napětí u zkušební vzorku u zkoušky dle normy ASTM D 7078

Směry napětí:



Obrázek č.25 Směry napětí u zkoušky ASTM D 7078

Zkušební vzorek:



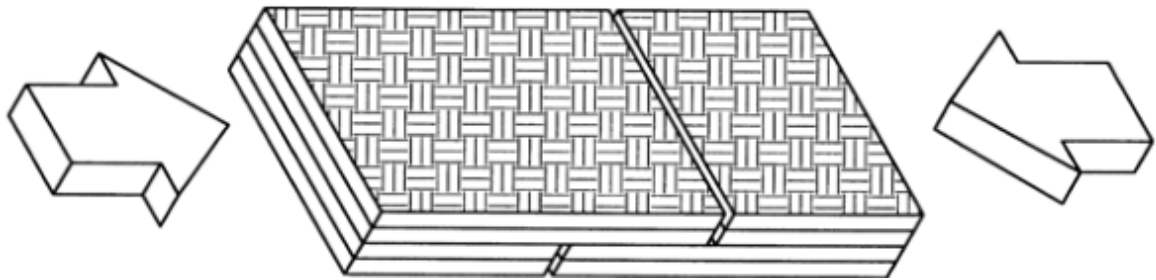
Front
Nominal Specimen Dimensions

- $d_1 = 31.0 \text{ mm [1.20 in.]}$
- $d_2 = 12.7 \text{ mm [0.50 in.]}$
- $h = \text{as required}$
- $L = 76.0 \text{ mm [3.0 in.]}$
- $r = 1.3 \text{ mm [0.05 in.]}$
- $w = 56.0 \text{ mm [2.20 in.]}$

Obrázek č.26 Zkušební vzorek u zkoušky ASTM D7078

3.2.1 Zkouška interlaminárním smykem

Tato zkouška se používá pro zjištění interlaminární pevnosti ve smyku vyztuženými krátkými náhodně orientovanými vlákny, koncentrace napětí v místě vrubů či pro ověřování kvality výrobního procesu. Zkušebním tělesem je hranol o konstantním obdélníkovém průřezu. ASTM D3846 [10]



Obrázek č.27 Vzorek pro stanovení interlaminární pevnosti

Vzorec pro výpočet pevnosti

$$\sigma = 0,75 \cdot \frac{F_{st}}{b \cdot h}$$

F_{st} - zatěžující síla při poruše vzorku

b - šířka vzorku

h - výška vzorku

3.2.2 Interlaminární smyk pomocí krátkého nosníku

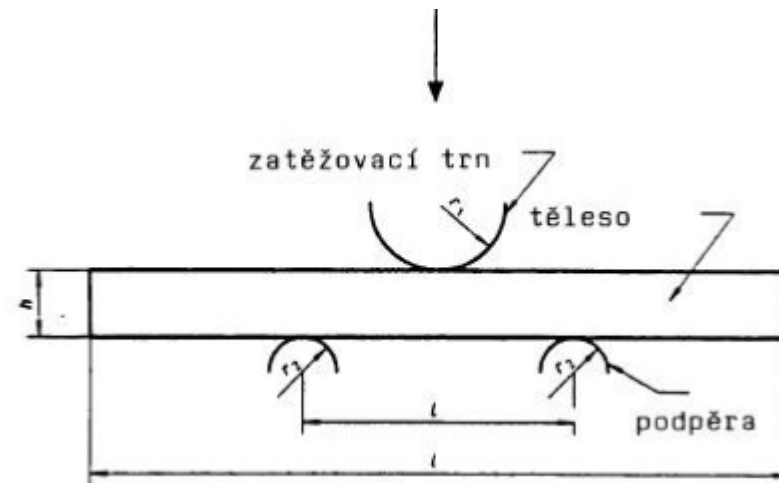
Zkušební vzorek je ohybově zatížen jako jednoduchý nosník tak, že je uložen na dvou podpěrách a je zatěžován trnem umístěným uprostřed mezi podpěrami. Jedná se o nejběžnější zkoušku při měření smykových delaminací kde zkušební vzorek má délku do 30 mm. Tato zkouška se řídí dle normy ASTM D 2344. Zkušební vzorek se frézuje s vylisované desky připravené dle ISO 1268. Nejméně se zkouší 5 zkušebních kusů. Platí zde norma ISO 5893. Při této zkoušce zjišťujeme smykovou pevnost: [8]

$$\tau = \frac{3}{4} \cdot \frac{P}{b \cdot h}$$

P- použité zatížení

b- šířka zkušební vzorku

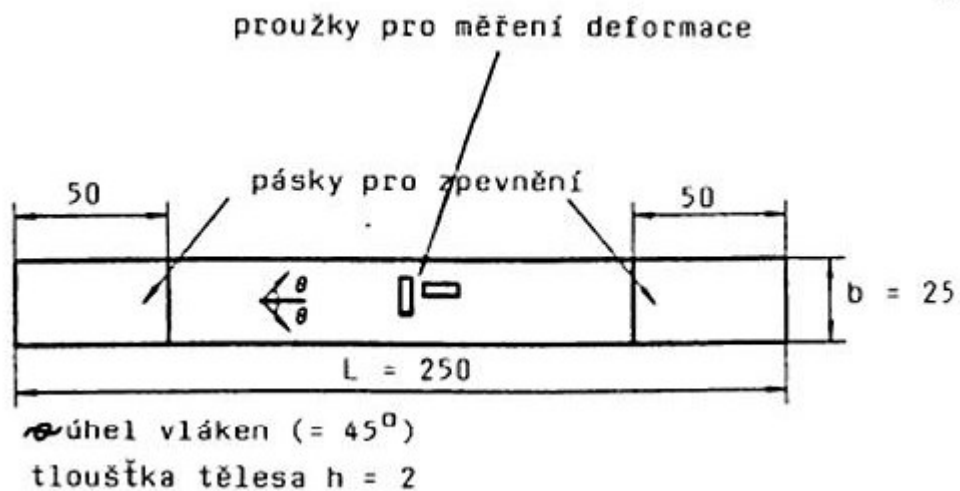
h – tloušťka zkušební vzorku



Obrázek č.28 laminární smyk. deformace krátkého nosníku

3.2.3 Smyk jednoosý tah $\pm 45^\circ$

Tato zkušební metoda je určena k získání údajů o smykových vlastnostech v rovině a řídí se dle normy ASTM D 3518. Faktory, které ovlivňují reakci smyku je mnoho např: materiál, tloušťka materiálu, příprava, prostředí, rychlost testování. Při tahovém zatížení tohoto zkušební vzorku dochází k vysokým normálovým napětím, které jsou kolmé na směru vláken. Zkušební těleso je páskového tvaru s pravoúhlým průřezem s vlákny orientovanými pod úhlem $\pm 45^\circ$ k ose namáhání. Měření deformací se provádí ve směru rovnoběžném i kolmém na osu namáhání. Pásky se vyrábějí z prepregu nebo laminované tkaniny ze skleněného vlákna a pryskyřice a ty jsou poté připevněny se zkušebním tělesem lepidlem s vysokou tažností [8]



Obrázek č.29 Zkušební těleso a měřící proužky

Počítá se zde:

smykové napětí, smyková pevnost, smyková deformace, smykový modul v rovině

$$\tau_{12} = \frac{F}{2bh} \quad \tau_{12M} = \frac{F_m}{2bh} \quad \gamma_{12} = \varepsilon_x - \varepsilon_y \quad G_{12} = \frac{\tau_{12}'' - \tau_{12}'}{\gamma_{12}'' - \gamma_{12}'}$$

F-okamžitá síla

b-šířka zkušebního tělesa

h-tloušťka zkušebního tělesa

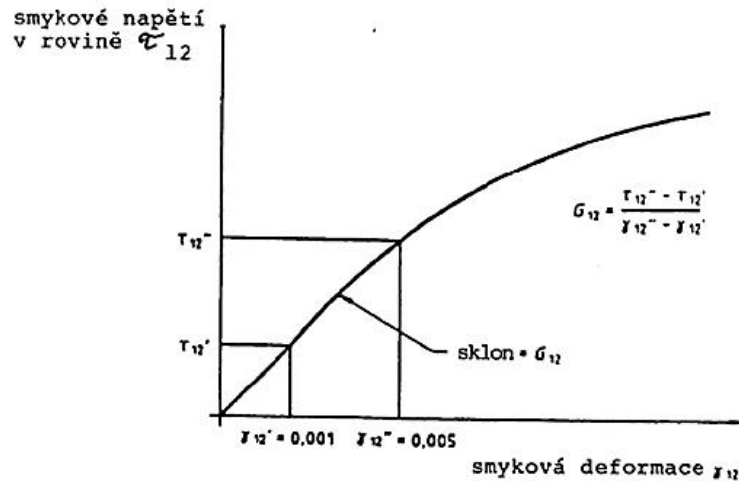
F_m -síla při porušení tělesa

ε_x - deformace ve směru rovnoběžném s osou

ε_y - deformace ve směru kolmém na osu

τ_{12}' - smykové napětí při smykové deformaci $\gamma_{12}'=0,001$

τ_{12}'' - smykové napětí při smykové deformaci $\gamma_{12}''=0,005$



Obrázek č.30 diagram smykového napětí/smykové deformace

V teoretické části jsem se zabýval vypracováním literární rešerše v dané oblasti, popisem, rozdělením a bližším přiblížením kompozitů či jejich výrobou. Dále jsem rozdělil zkoušky podle norem a jejich provedení, které se dají použít při zkoušení kompozitů. Hlavním cílem bylo seznámit se se zkouškou ASTM D 7078 a normami, které souvisí s touto zkouškou.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZKUŠEBNÍ STROJE PŘI ZKOUŠCE ASTM D 7078

Přípravek, který navrhujeme, bude používán na dvou zkušebních strojích a to na stroji Zwick 1465 a dále na stroji Shimadzu AG-CC 50kN.

4.1 Zkušební stroj Zwick 1456

Stroj Zwick 1456 slouží k měření mechanických vlastností materiálů a na tomto stroji se zkouška dle normy ASTM D 7078 a způsobené deformace vyhodnocují pomocí tensometrů.



Obrázek č.31 Zkušební stroj Zwick 1456

4.2 Zkušební stroj Shimadzu AG-CC 50kN

Na tomto stroji se při zkoušce dle normy ASTM D 7078 měří deformace za pomoci video-extentometru. Na zkušební těleso se přidělávají značky, mezi kterými se měří vzdálenost, která vzniká za působením síly.



Obrázek č.32 Zkušební stroj Shimadzu AG-CC 50kN



Obrázek č.33 Videoextensometr zkušebního stroje Shimadzu AG-CC 50kN

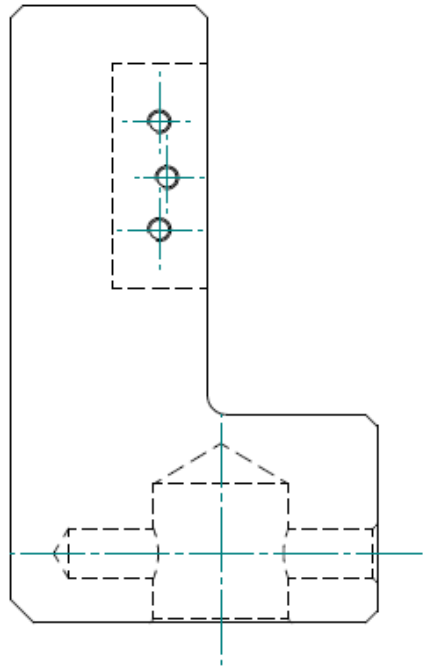
4.3 Technologický postup výroby součástí přípravku ASTM D7078

4.3.1 Technologický postup

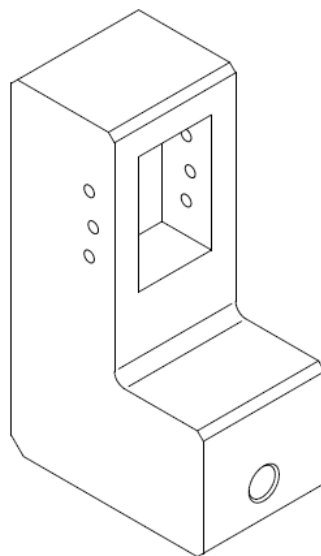
Technologický postup je popis operací, kterými musí obrobek projít, aby se z něj stala hotová součást. Technologický postup dále popisuje nástroje, stroje a nákresy, které jsou zapotřebí pro výrobu. Nejvíce se klade důraz na to, aby výroba byla nejjednodušší a z finanční stránky co nejméně náročný.

4.3.2 Součást 1 – čelist levá

Volím materiál součásti 1: OCEL 11 600. Polotovar součásti: ocelová tyč čtyřhranná 100x170mm. Součást 1 neboli čelist levá se nasadí na redukci a zajistí se kolíkem na stroji Zwick a Shimadzu a slouží k uchycení držáků, které drží zkušební vzorek.

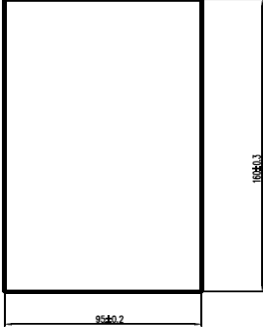
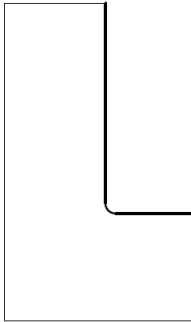
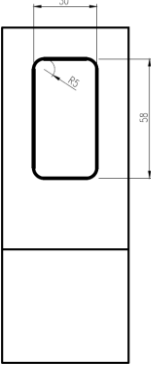
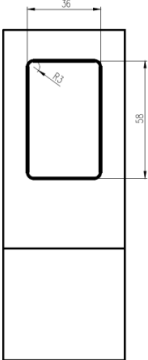


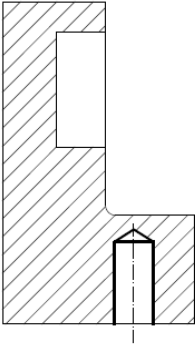
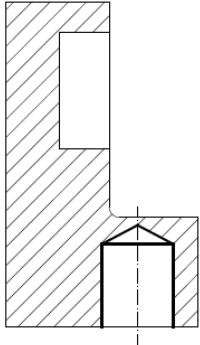
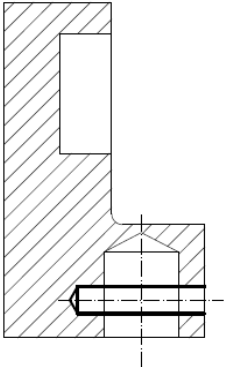
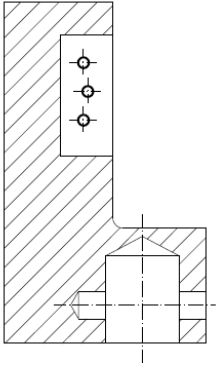
Obrázek č.34 čelist levá

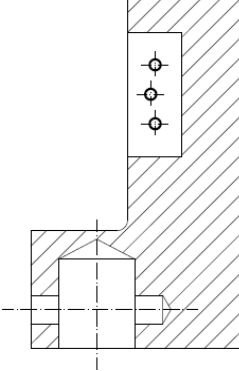
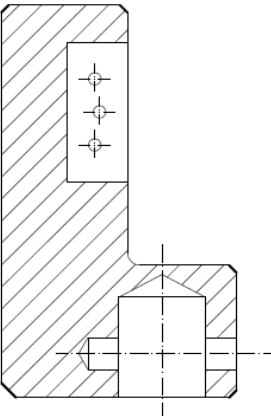
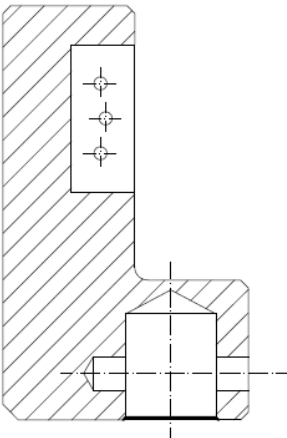


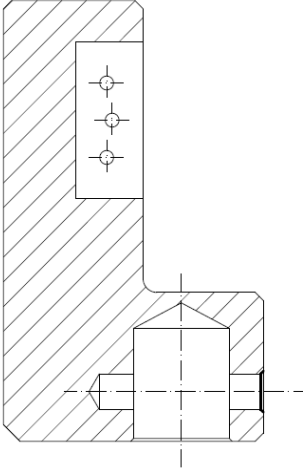
Obrázek č.35 3D pohled čelisti levé

Tabulka č.1 Technologický postup výroby součásti 1

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
1	Řezat polotovár (rozměry dle výkresu)		Pásová pila	Pásový list
2	Frézovat tvar polotovaru (rozměry dle výkresu)		CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 10 mm
3	Frézovat tvar polotovaru (58x30x24,5)		CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 10 mm
4	Frézovat tvar polotovaru (58x36x24,5)		CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 6 mm

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
5	Předvrtat díru vrtákem o \varnothing 18 mm		Stolová vrtačka	Vrták do kovu se zúženou stopkou
6	Vrtat díru vrtákem o \varnothing 36 mm		Stolová vrtačka	Vrták do kovu se zúženou stopkou
7	Vrtat díru vrtákem o \varnothing 13 mm		Stolová vrtačka	Vrták do kovu se zúženou stopkou
8	Vyřezat závit M5		Závitový hydraulický stroj CMA	Strojní krátký závitník s přímou drážkou

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
9	Otočit a vyřezat Závit M5		Závitový hydro- raulický stroj CMA	Strojní krátký závitník s přímou drážkou
10	Srazit hrany (rozměry dle vý- kresu)		CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 15 mm
11	Srazit hrany (rozměry dle vý- kresu)		CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 3 mm

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
12	Srazit hrany (rozměry dle výkresu)		CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 3 mm

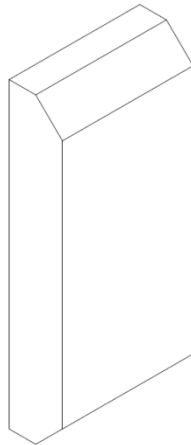
4.3.3 Součást 2 - Držák

Volím materiál součásti 2: OCEL 11 600. Polotovar součásti: ocelová tyč 15x60 mm

Součást 2 neboli držák slouží k upnutí a uchycení zkušebnímu vzorku, aby bylo možné zkoušku provést.



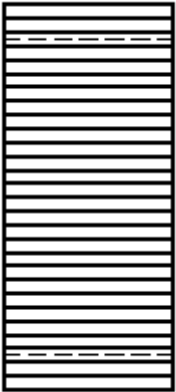
Obrázek č.36 držák



Obrázek č.37 3D pohled držáku

Tabulka č.2 Technologický postup výroby součásti 2

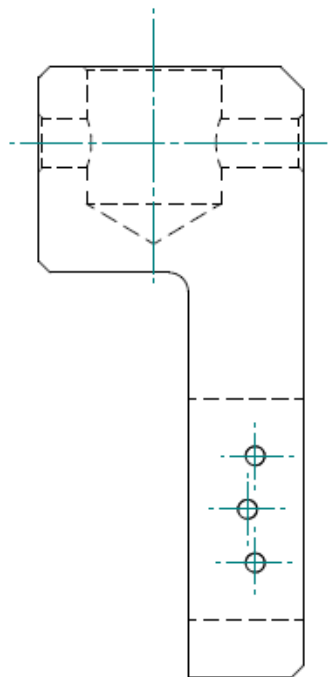
Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
1	Řezat polotovary na rozměr 10x57x24,5	A 2D technical drawing of a rectangular bar. It shows a vertical rectangle with a width dimension of 10 and a height dimension of 57. The drawing is a simple line drawing with dimension lines and arrows.	Pásová pila	Pásový list
2	Srazit hrany (rozměry dle výkresu)	A 2D technical drawing of a rectangular bar with chamfered edges. The drawing shows the top and bottom edges of the bar, which are beveled at 45-degree angles.	CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 15 mm

3	Vyrobit rastr dle výkresu		Frézka	Kotoučová fréza úhlová oboustranná HSS 45°
---	---------------------------	---	--------	---

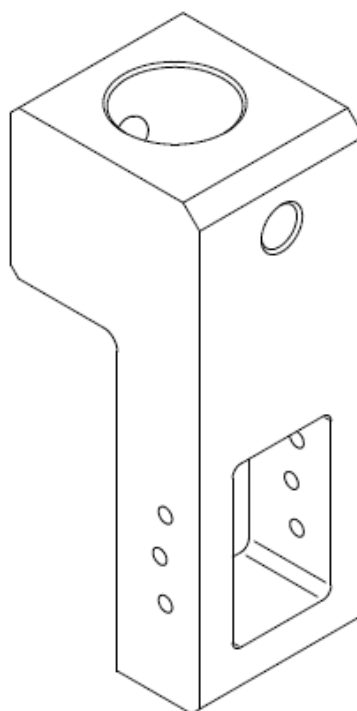
4.3.4 Součást 3 – Čelist pravá

Volím materiál součásti 3: OCEL 11 600. Polotovár součásti: ocelová tyč 80x170mm

Součást 3 neboli čelist pravá se nasadí na redukci a zajistí se kolíkem na stroji Zwick a Shimadzu a slouží k uchycení držáků, které drží zkušební vzorek.

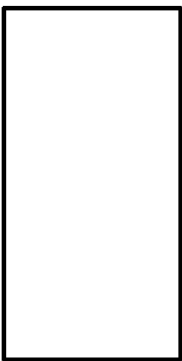


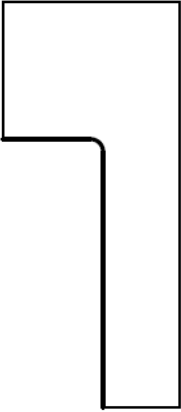
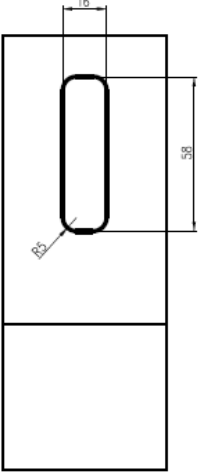
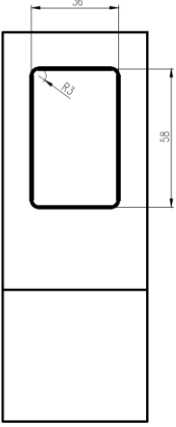
Obrázek č.38 Čelist pravá

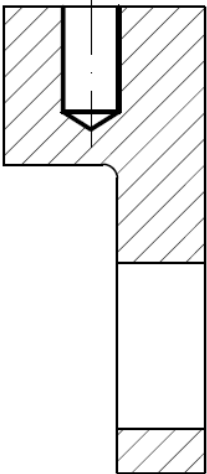
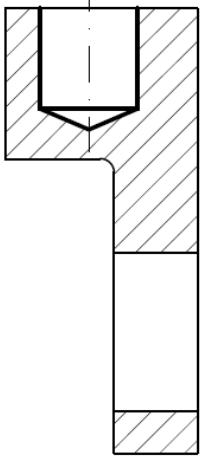
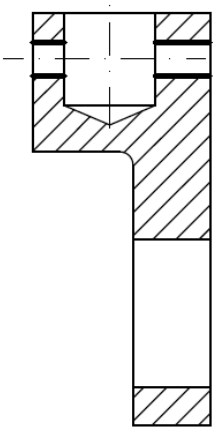


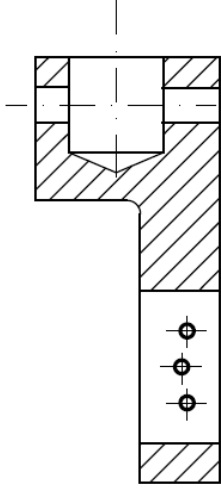
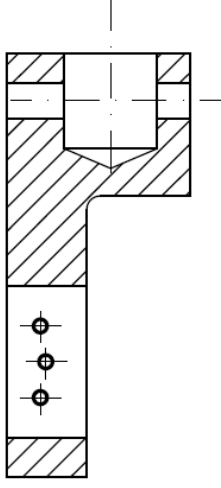
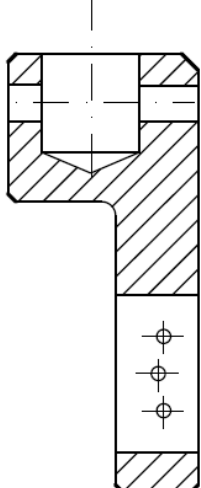
Obrázek č.39 3D pohled čelisti pravé

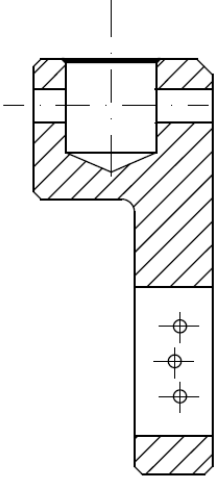
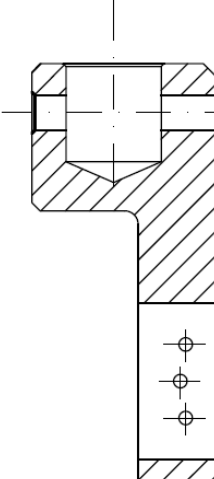
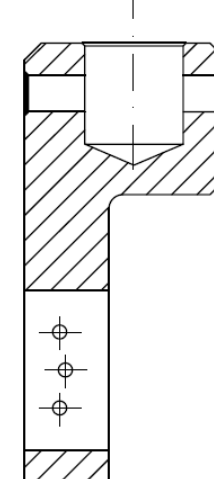
Tabulka č.3 Technologický postup výroby součásti 3

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
1	Řezat polotovar (rozměry dle výkresu)		Pásová pila	Pásový list

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
2	Frézovat tvar polotovaru (rozměry dle výkresu)		CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 10 mm
3	Frézovat tvar polotovaru (58x16x30)		CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 10 mm
4	Frézovat tvar polotovaru (58x36x30)		CNC obráběcí centrum	Fréza válcová čelní Ø 6 mm

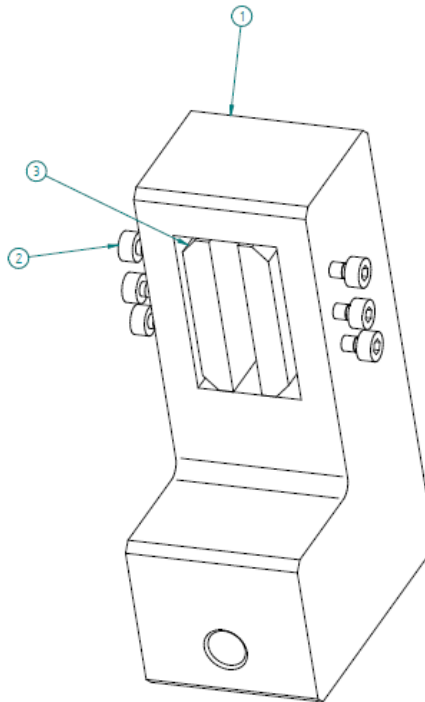
Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
5	Předvrtat díru vrtákem o \varnothing 18 mm		Stolová vrtačka	Vrták do kovu se zúženou stopkou
6	Vrtat díru vrtákem o \varnothing 36 mm		Stolová vrtačka	Vrták do kovu se zúženou stopkou
7	Vrtat díru vrtákem o \varnothing 13 mm		Stolová vrtačka	Vrták do kovu se zúženou stopkou

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
8	Vyřezat závit M5		Závitový hydraulický stroj CMA	Strojní krátký závitník s přímou drážkou
9	Otočit a vyřezat Závit M5		Závitový hydraulický stroj CMA	Strojní krátký závitník s přímou drážkou
10	Srazit hrany (rozměry dle výkresu)		CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 15 mm

Číslo operace	Název operace	Nákres	Stoj	Nástroj
11	Srazit hrany (rozměry dle výkresu)	 <p>The drawing shows a cross-section of a mechanical part. It has a vertical shaft with three holes and a horizontal flange at the top. The edges of the flange are chamfered. The drawing is a half-view with a vertical dash-dot centerline on the right side.</p>	CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 3 mm
12	Srazit hrany (rozměry dle výkresu)	 <p>The drawing shows a cross-section of a mechanical part, identical to the one in row 11. It has a vertical shaft with three holes and a horizontal flange at the top. The edges of the flange are chamfered. The drawing is a half-view with a vertical dash-dot centerline on the right side.</p>	CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 3 mm
13	Srazit hrany (rozměry dle výkresu)	 <p>The drawing shows a cross-section of a mechanical part, identical to the ones in rows 11 and 12. It has a vertical shaft with three holes and a horizontal flange at the top. The edges of the flange are chamfered. The drawing is a half-view with a vertical dash-dot centerline on the right side.</p>	CNC obráběcí centrum	Fréza čelní úhlová Ø 3 mm

5 POSTUP SESTAVENÍ PŘÍPRAVKU ASTM D 7078

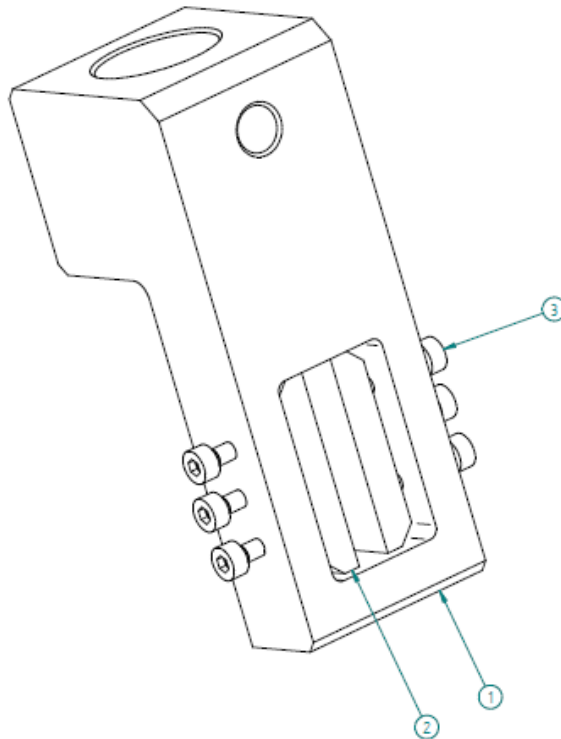
5.1 Podsestava čelist levá + šrouby + držáky



Obrázek č.40 Podsestava čelist levá + šrouby + držáky

1. Našroubovat šrouby (2) do otvorů v čelisti levé (1)
2. Připevnit čelist levou (1) na stroj Shimadzu pomocí redukce
3. Vložit držáky (3) do otvoru v levé čelisti (1)

5.2 Podsestava čelist pravá + šrouby + držáky

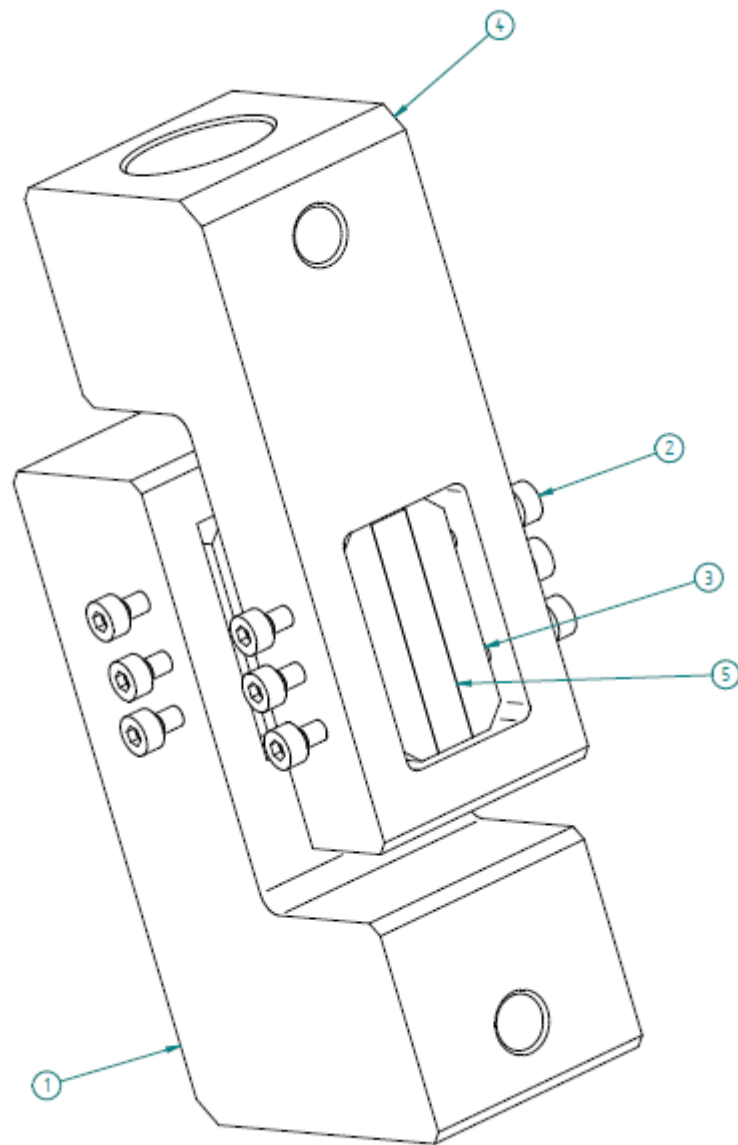


Obrázek č.41 Podsestava čelist pravá + šrouby + držáky

1. Našroubovat šrouby (3) do otvorů v čelisti pravé (1)
2. Připevnit čelist pravou (2) na stroj Shimadzu pomocí redukce
3. Vložit držáky (2) do otvoru v pravé čelisti (1)

5.3 Finální sestava přípravku ASTM D 7078

Jakmile máme předchozí dvě podsestavy sestavené a nasazené na redukcích u stroje Shimadzu, tak můžeme vložit zkušební vzorek (5) a uchytit pomocí držáků (3) díky přitahováním protichůdných šroubů (2).



Obrázek č.42 Finální sestava přípravku dle normy ASTM D 7078

5.4 Pevnostní kontrola v kritickém místě

Byla provedena kompletní pevnostní kontrola pro danou maximální zátěž $F=50\text{kN}$, níže je uveden výpočet pro kritické místo přípravku.

Nejslabší místo čelistí –tah je u pravé čelisti v místě kde jsou uloženy držáky a zkušební vzorek

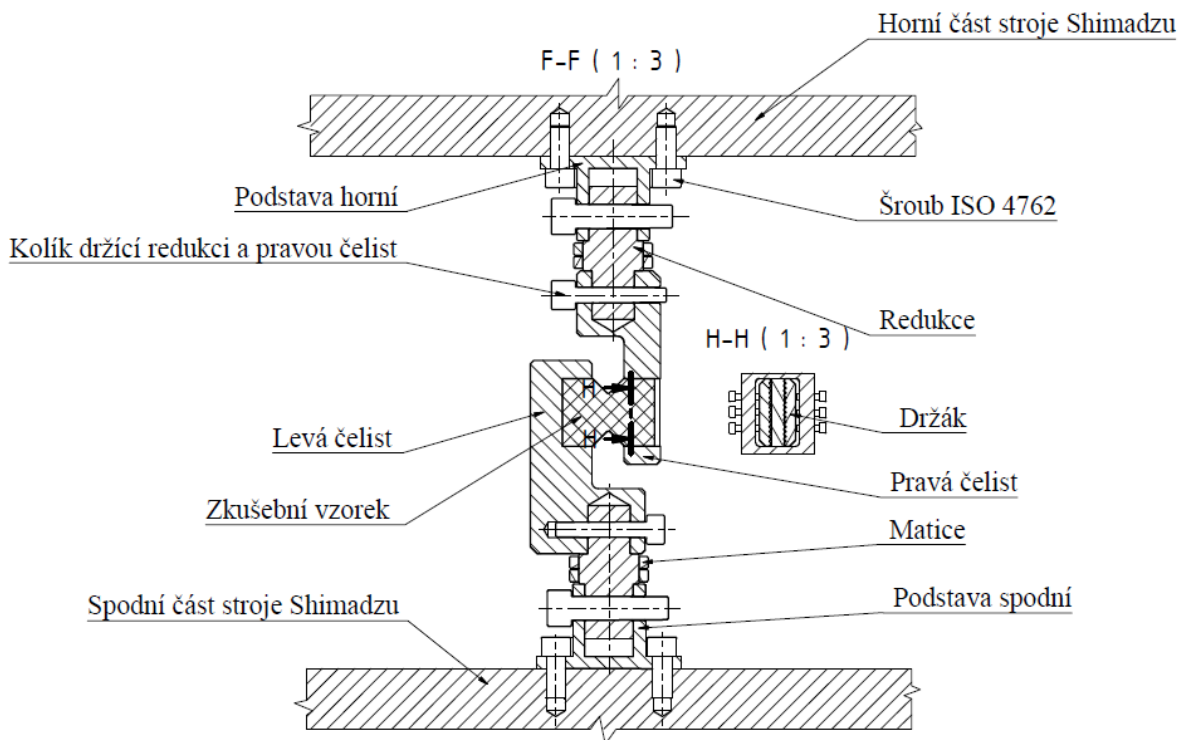
$$\sigma_{Dt} = 600 - 720 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{50\,000}{(12 \times 30) + (12 \times 30)} = 69,4 \text{ Mpa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

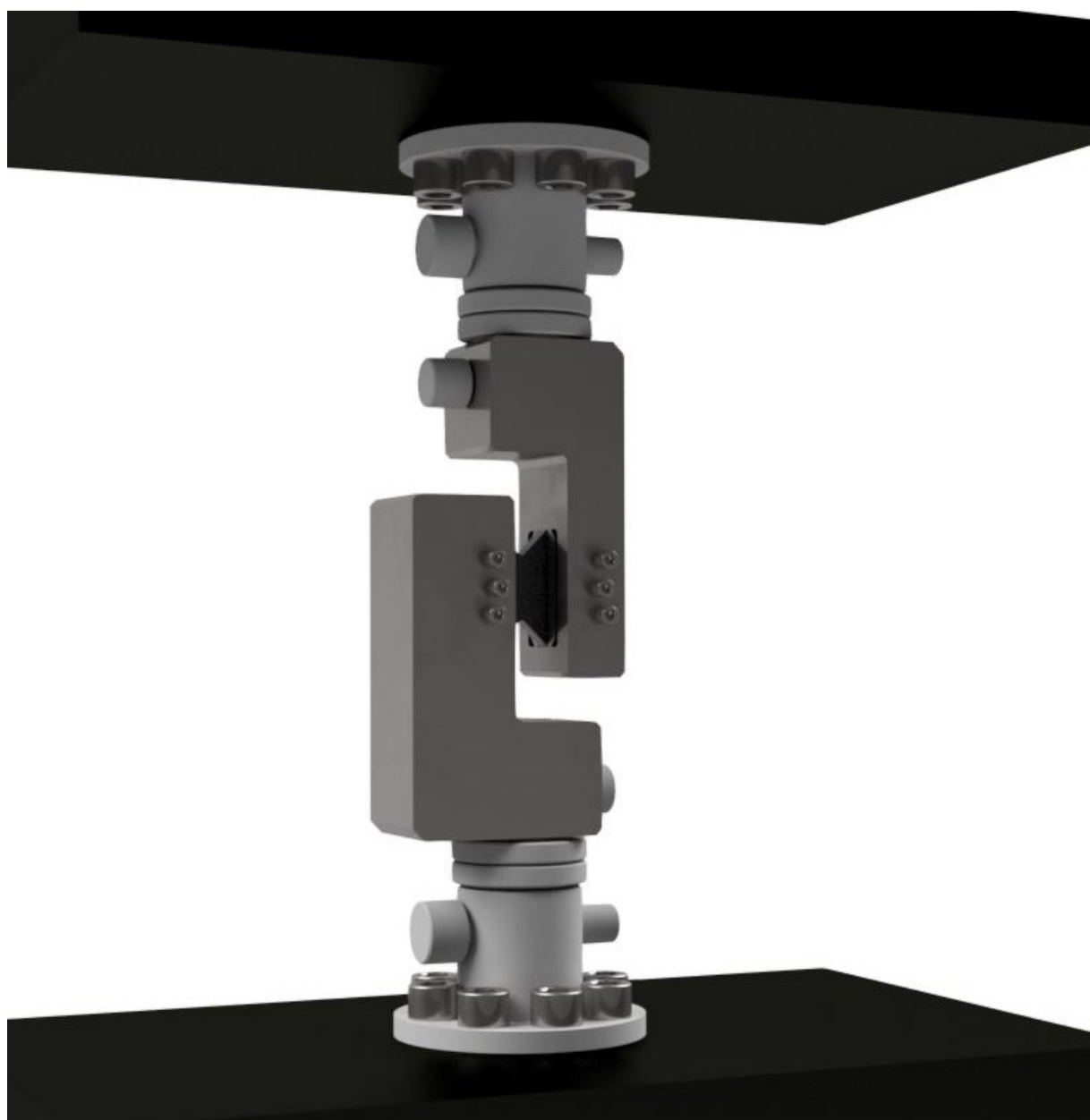
$$\sigma_{Do} = 125 - 180 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{50\,000 \cdot 29}{\frac{30^3 \cdot 60}{29}} = 25,9 \text{ Mpa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

5.5 Sestava uležená ve stroji Shimadzu



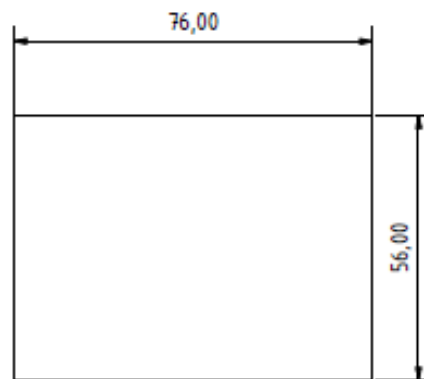
Obrázek č.43 řez finální soustavy uložené ve zkušebním stroji Shimadzu



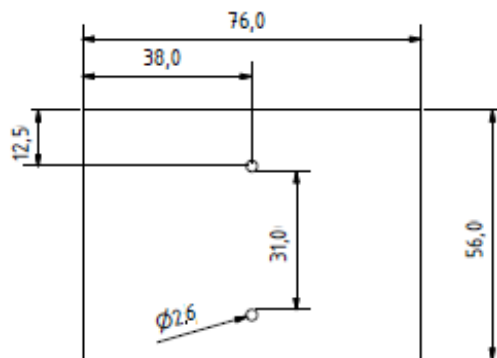
Obrázek č.44 3D pohled finální sestavy uložené ve zkušebním stroji Shimadzu

6 PŘÍPRAVA VZORKU DLE NORMY ASTM D 7078

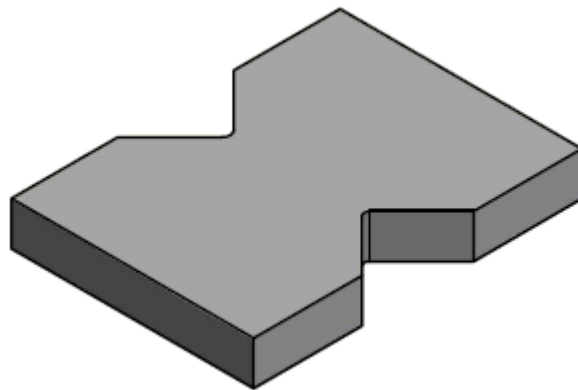
Vzorek je laminátové těleso, které je tvořeno kladením vrstev na sebe, dokud není dosažena požadovaná tloušťka. Nejprve je třeba připravit obdélník o délce 76 mm, šířce 56 mm a výšce 1 – 16 mm tato deska se vytvoří za pomoci např. laminováním za mokra. Po té vyvrtat dva otvory o průměru 2,6 mm poloha děr dle obr. č.46 Výřezy pod přesně definovaným úhlem 90° lze připravit pomocí ruční pily. Přesná definice rozměrů vzorku dle normy je uvedena na obr. č. 24. Tento vzorek je možno vyrobit mechanicky nebo vodním paprskem.



Obrázek č.45 Výroba obrysu zkušebního vzorku



Obrázek č.46 Výroba požadovaného tvaru

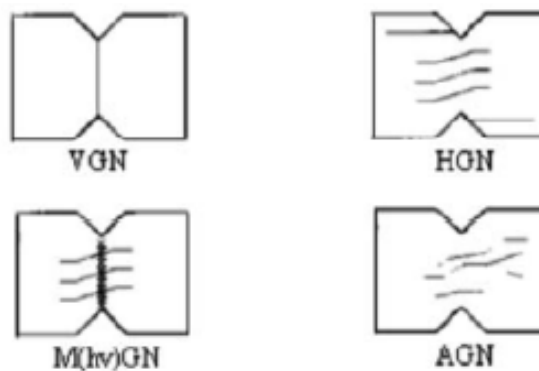


Obrázek č.47 3D model zkušební vzorku

Výše uvedený postup je návrhem pro přípravu vzorku k měření vlastností kompozitního materiálu ve smyku. Při přípravě je možné postupovat i jiným způsobem, ale je třeba dbát na to aby dodrženy všechny rozměry, včetně rádiusů dle obr. č.24.

6.1 Dovolené poruchy zkušební vzorku

Aby byla zkouška úspěšná a dalo se z ní určit požadované veličiny musí se zkušební vzorek porušit těmito způsoby.



Obrázek č.48 Požadované poruchy zkušební vzorku

6.2 Vyhodnocení zkoušky

Tenzometry se připevňují po dvou osách uprostřed V-zářezů, takže měří namáhání v -45° a $+45^\circ$ směrech. Hodnoty napětí získané z těchto dvou tenzometrů se používají pro výpočet modulu ekvivalentní smykové křivky.



Obrázek č.49 Umístění tenzometrů

ZÁVĚR

V teoretické části jsem se zabýval vypracováním literární rešerše v dané oblasti, popisem, rozdělením, bližším přiblížením kompozitů, a také jejich výrobou. Dále jsem rozdělil zkoušky podle norem a jejich provedení, které se dají použít při zkoušení kompozitů. Hlavním cílem bylo seznámit se se zkouškou podle normy ASTM D 7078 a normami, které souvisí s touto zkouškou.

V praktické části jsem se zabýval hlavně úkolem a to vytvořením technologického postupu všech součástí, které jsou zapotřebí k sestavení celého přípravku pro zkoušku dle normy ASTM D 7078 – norma pro měření smykových vlastností kompozitů. Jako materiál pro přípravek jsem zvolil ocel 11 600, neboť tato ocel splňuje mé požadavky na statické namáhání. U všech součástí jsem doporučil stroj a nástroj, které budou zapotřebí při výrobě. Na světovém trhu je možné zakoupit řadu typů přípravků pro měření smykových vlastností kompozitních materiálů. Důvodem proč byl navržen vlastní je optimální využití v podmínkách laboratoří UTB, cenová dostupnost a v neposlední řadě vlastní inovace konstrukce

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [3] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [4] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [5] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Zpracovatelské inženýrství kompozitů*. Přednášky
- [6] VRBKA, Jan. *MECHANIKA KOMPOZITŮ* [online]. Brno, 2008 Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340
- [7] *Střední škola strojírenská Brno* [online]. 2015 . Dostupné z: http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/zkouska__ohybem.pdf
- [8] Composites info [online]. *Mechanical testing of composites*. Dostupné z: http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IISc-BANG/Composite%20Materials/pdf/Lecture_Notes/LNm10.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] CABRNOCH, Bohuslav. *Porovnání zkušebních metod pro měření interlaminární smykové pevnosti laminátů* [online]. Dostupný z: http://www.csm-kompozity.wz.cz/ILSS_Cabrnoch_2010.pdf
- [11] Havel Composites [online]. *Technologie výroby kompozitů*. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F'' – konečná cíla

P'' – nejnižší síla při 5% napětí smyku

A – průřez

τ_i – *smykové napětí*

P_i – síla působící na bod

γ –smyková deformace v bodu

ε_{45° – normálová deformace při datovém bodu μ_ε

ε_{-45° – normálová deformace v datovém bodu μ_ε

G – smykový modul pružnosti ve zkušebním směru

Δ_τ –vstah v aplikovaném smykovém napětí mezi dvěma body deformace

Δ_γ – rozdíl mezi dvěma doby smykové deformace

τ – *smykové napětí*

P - použité zatížení

b - šířka zkušebního vzorku

h – tloušťka zkušebního vzorku

F -okamžitá síla

b -šířka zkušebního tělesa

h -tloušťka zkušebního tělesa

F_m -síla při porušení tělesa

ε_x - deformace ve směru rovnoběžném s osou

ε_y - deformace ve směru kolmém na osu

τ_{12}' - smykové napětí při smykové deformaci $\gamma_{12}'=0,001$

τ_{12}'' - smykové napětí při smykové deformaci $\gamma_{12}''=0,005$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č.1 Mechanické vlastnosti kompozitu-synergický efekt [4].....	12
Obrázek č.2 Tvar výztuže [9]	14
Obrázek č.3 rozdělení kompozitů	15
Obrázek č.4 Orientace dlouhých a krátkých vláken	15
Obrázek č.5 Prostorové uspořádání vláknových kompozitů	16
Obrázek č.6 Skelné, Uhlíkové, Aramidové vlákno	17
Obrázek č.7 Částicový kompozit	17
Obrázek č.8 Ruční laminování za mokra [5,11]	19
Obrázek č.9 Nanášení sprejem [5,11]	20
Obrázek č.10 RTM laminování [5,11].....	21
Obrázek č.11 Vakuová infuze [5,11]	22
Obrázek č.12 Infuze vakuové fólie [5,11]	23
Obrázek č.13 Navíjení vláken [5,11]	24
Obrázek č.14 Výroba prepregu [5,11]	25
Obrázek č.15 Vliv směru smykových napětí	26
Obrázek č.16 Zkouška ASTM D5379	27
Obrázek č.17 Místo při měření u zkoušky smykem dle normy ASTM D 5379	28
Obrázek č.18 Zkouška s dvojným a trojným vedením zkouška ASTM D4255	29
Obrázek č.19 ASTM D7078	29
Obrázek č.20 Přípravek pro měření dle normy ASTM D7078.....	30
Obrázek č.21 Umístění měřidla a diagram smykové napětí/smykové deformaci	30
Obrázek č.22 Vyhovující poruchy zkušební vzorku ASTM D7078.....	31
Obrázek č.23 Nevyhovující poruchy zkušební vzorku ASTM D7078.....	32
Obrázek č.24 Napětí u zkušební vzorku u zkoušky dle normy ASTM D 7078	32
Obrázek č.25 Směry napětí u zkoušky ASTM D 7078.....	33
Obrázek č.26 Zkušební vzorek u zkoušky ASTM D7078	33
Obrázek č.27 Vzorek pro stanovení interlaminární pevnosti	34
Obrázek č.28 Laminární smyk. deformace krátkého nosníku	35
Obrázek č.29 Zkušební těleso a měřicí proužky	36
Obrázek č.30 Diagram smykového napětí/smykové deformace	37
Obrázek č.31 Zkušební stroj Zwick 1456	39
Obrázek č.32 Zkušební stroj Shimadzu AG-CC 50kN.....	40

Obrázek č.33 Videoextensometr zkušebního stroje Shimadzu AG-CC 50kN	41
Obrázek č.34 Čelist levá	42
Obrázek č.35 3D pohled čelisti levé	42
Obrázek č.36 Držák	46
Obrázek č.37 3D pohled držáku	47
Obrázek č.38 Čelist pravá	48
Obrázek č.39 3D pohled čelisti pravé	49
Obrázek č.40 Podsestava čelist levá + šrouby + držáky	54
Obrázek č.41 Podsestava čelist pravá + šrouby + držáky	55
Obrázek č.42 Finální sestava přípravku dle normy ASTM D 7078	56
Obrázek č.43 Řez finální soustavy uložené ve zkušebním stroji Shimadzu	57
Obrázek č.44 3D pohled finální sestavy uložené ve zkušebním stroji Shimadzu	58
Obrázek č.45 Výroba obrysu zkušebního vzorku	59
Obrázek č.46 Výroba požadovaného tvaru	59
Obrázek č.47 3D model zkušebního vzorku	60
Obrázek č.48 Požadované poruchy zkušebního vzorku	60
Obrázek č.49 Umístění tenzometrů	61

SEZNAM TABULEK

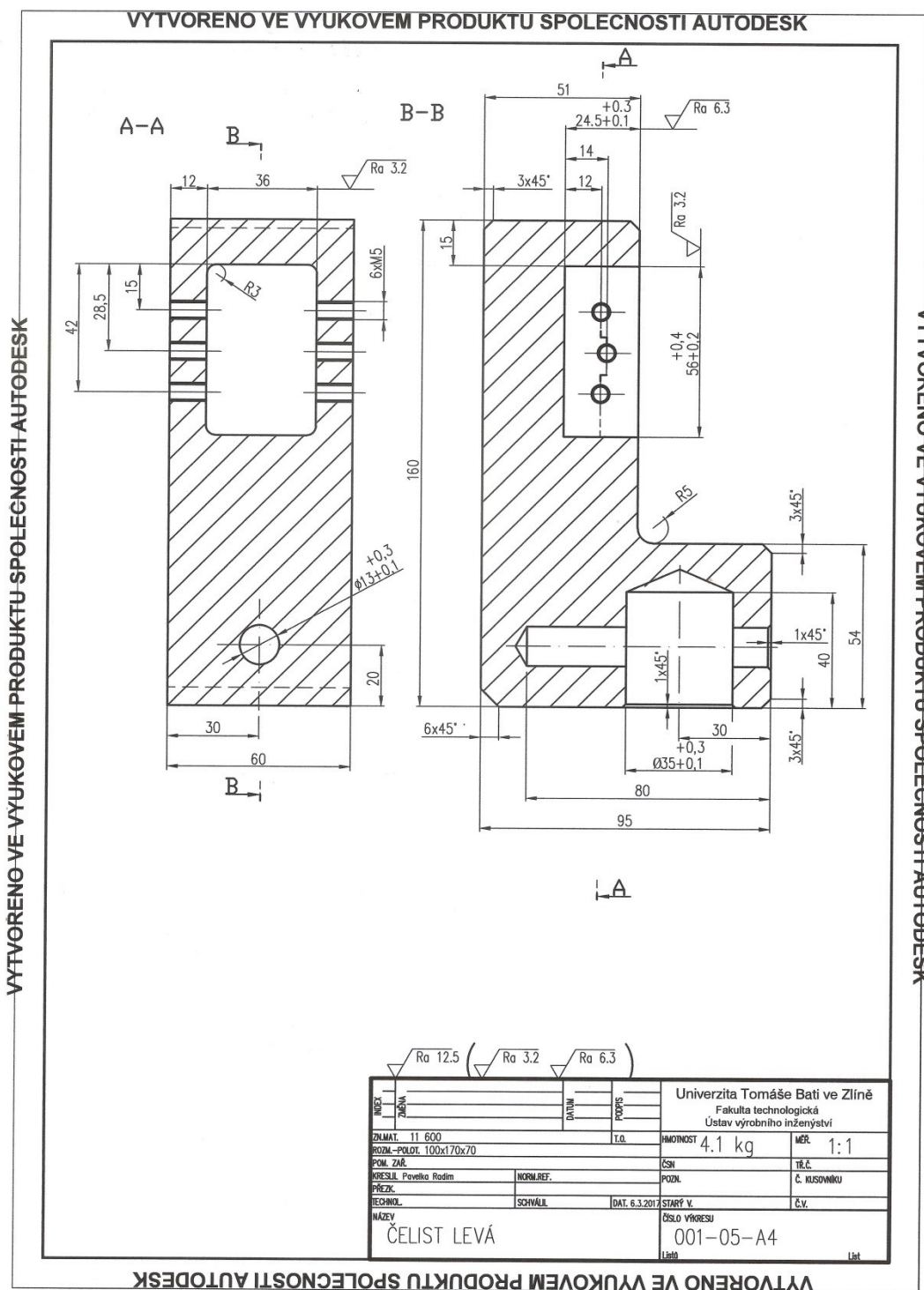
Tabulka č.1 Technologický postup výroby součásti 1	43
Tabulka č.2 Technologický postup výroby součásti 2.....	47
Tabulka č.3 Technologický postup výroby součásti 3.....	49

SEZNAM PŘÍLOH

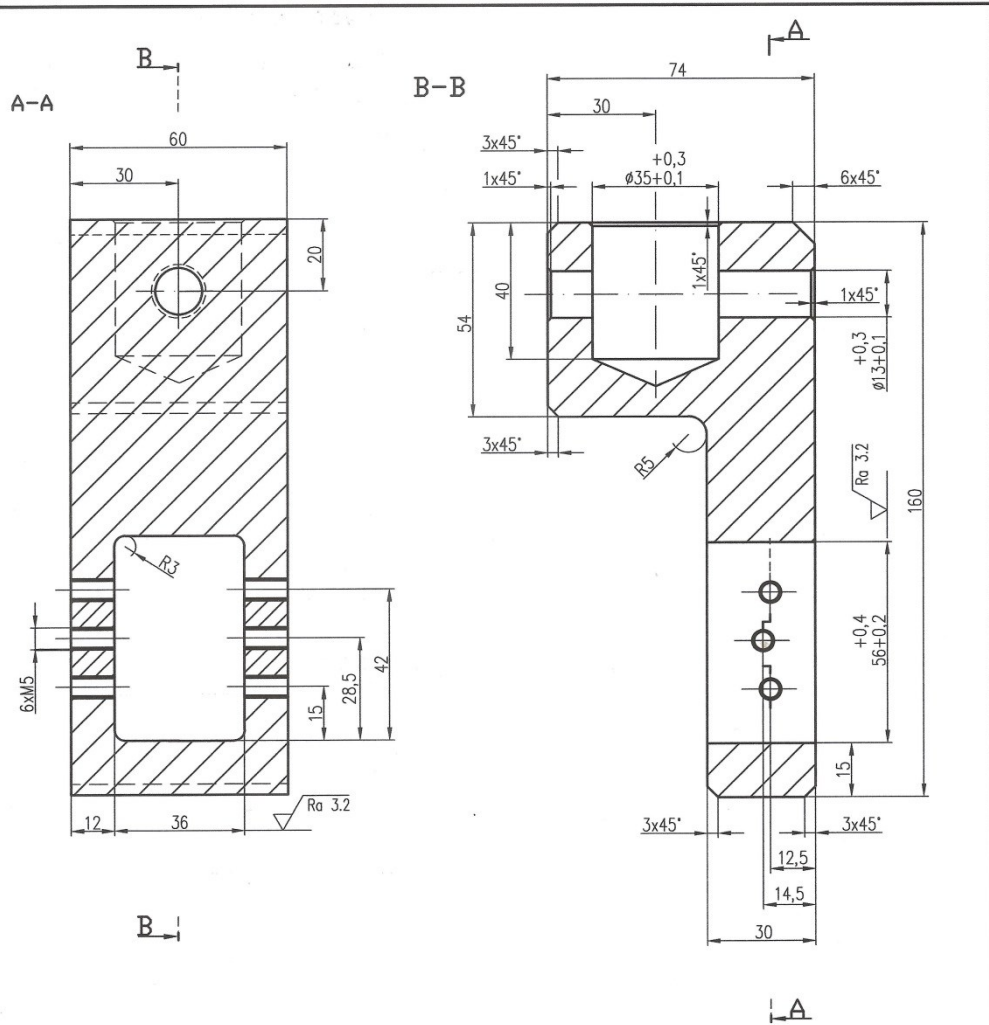
Všechny přílohy jsou uloženy na přiloženém CD-ROM

Příloha PI: Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA P I: VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE



VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

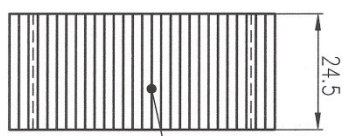
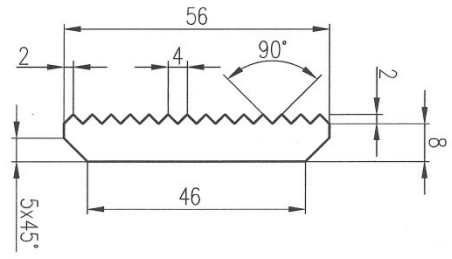


VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

INDEX		ZÁVĚR		DATUM		PODPIS		Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně	
ZJM.MAT. 11 600								Fakulta technologická	
ROZM.-POLOT. 80x170x70								Ústav výrobního inženýrství	
POM. ZÁR.								HMOTNOST 2.3 kg	
KRESLIL Pavelka Radim		NORM.REF.		DAT. 6.3.2012		STARY V.		MĚR. 1:1	
PŘEZK.								Č. KUSOVNIKU	
TECHNOL.		SCHVÁLIL						Č.V.	
NÁZEV		ČELIST PRAVÁ						ČÍSLO VÝKRESU	
								001-01-A4	
								Listo	

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

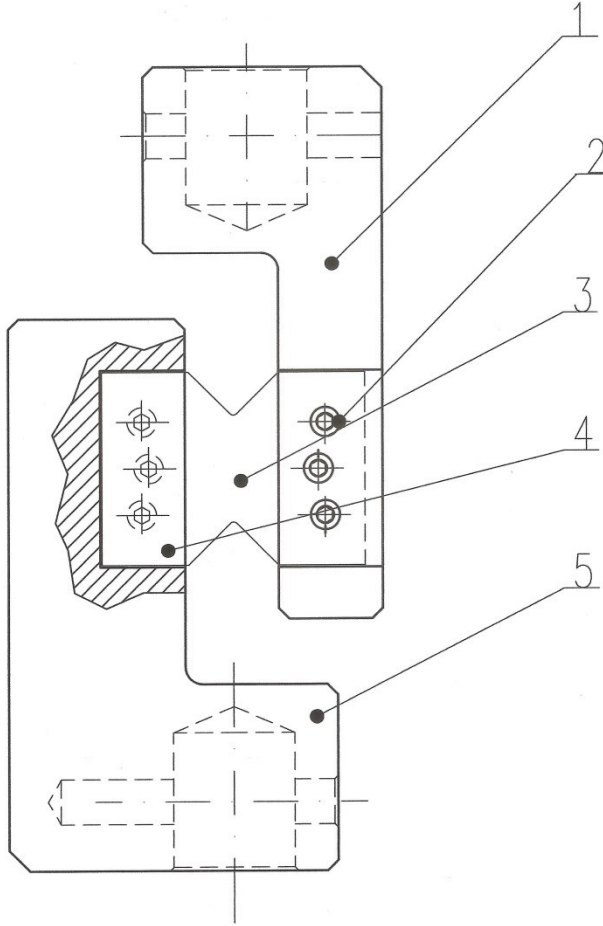


Příčné rádlování

Ra 3.2

INDEX		DATUM		UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
ZMĚNA		PODPIS		Fakulta technologická
				Ústav výrobního inženýrství
ZNAMĚNÍ	11 600	hmotnost	0.013 kg	mĚŘÍ
ROZMĚRY	15x60x30	ČSN		1:1
POUŽITÍ		POZN.		
KRESLIL	Pavčina Rodim	Č. KUSOVNIKU		
PŘEZK.		Č. V.		
TECHNOL.				
NÁZEV	DRŽÁK	ČÍSLO VÝKRESU	001-04-A4	LIST
				1st

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK



VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

05	ČELISTĚVÁ	001-05-A4	11 600	Ks	1	
04	DRŽÁK	001-04-A4	11 600	Ks	4	
03	VZOREK			Ks	1	
02	ŠROUB M5x22 ISO 4762			Ks	12	
01	ČELISTĚPRAVÁ	001-01-A4	11 600	Ks	1	
POZICE	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MNL	kg
INDEX	ZÁŠKVA	DATUM	POPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
ZN.MAT.		I.O.	HMOTNOST	6.7 kg	MĚR	1:1
ROZM. - POLOH.			ČSN		TR.Č.	
POVL. ZÁK.		NORM.REF.	POZL.		Č. KUSOVNIKU	
KRESL. Pavelka Radim						
PŘEZK.		SCHVÁL.	DAT. 6.3.2017	STARÝ V.	Č.V.	
TECHNOL.				DISLO VÝKRESU		
NÁZEV	PŘÍPRAVEK PRO ASTM D 7078		001-00			
				Leto		Leto

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK