

Konstrukce upínacích čelistí pro tahovou zkoušku tkanin

Mol Petr

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr MOL**

Osobní číslo: **T10300**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce upínacích čelistí pro tahovou zkoušku tkanin**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerži v dané oblasti
2. Provedte konstrukční návrh
3. Vyhotoďte výkresovou dokumentaci zařízení



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. února 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: MOL PETR

Obor: TECHNOLOGICKÁ
ZAŘÍZENÍ

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 14. 5. 2013

Mol Petr

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 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 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, užíje-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 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

Tématem této bakalářské práce je konstrukce upínacích čelistí pro tahovou zkoušku tkanin. Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí, na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce je zaměřena na rozdělení mechanických zkoušek, teorii a podstatu daných zkoušek. Dále se práce zaměřuje na charakteristiku kompozitu a konstrukci čelistí. Praktická část se zabývá návrhem čelistí pro tahovou zkoušku tkanin. Čelisti jsou navrženy tak, aby byly možné upnout na stroj Zwick 145 665.

V příloze bakalářské práce jsou přidány výrobní výkresy upínacích čelistí.

Klíčová slova:

mechanické zkoušky, zkouška tahem, upínací čelisti, kompozit

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is the construction of the clamping jaws for tensile test fabrics. The thesis is divided into two main parts; theoretical and practical.

The theoretical part is focused on the distribution of mechanical tests, theory and nature of the individual tests. Moreover, it is focused on the characteristics of the composite structure and jaw. The practical part deals with plan of the jaws of the tensile test fabrics. The jaws are designed; so that they could be clamped on the machine Zwick 145 665

In Annex thesis are added manufacturing drawings jaws.

Keywords: mechanical tests, tensile test, jaws, composite

Děkuji svému vedoucímu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 ROZDĚLENÍ MECHANICKÝCH ZKOUŠEK.....	12
1.1 STATICKÉ MECHANICKÉ ZKOUŠKY	12
1.1.1 Zkouška tahem	13
1.1.2 Zkouška tlakem	18
1.1.3 Zkouška ohybem	21
1.1.4 Zkouška krutem.....	22
1.1.5 Zkouška stříhem	23
1.2 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY	23
1.2.1 Rázová zkouška.....	24
1.2.2 Únavová zkouška	25
2 MATERIÁL KOMPOZITY.....	26
2.1 PODSTATA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ.....	26
2.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	27
2.2.1 Podle disperzní fáze	27
2.2.2 Podle typu matrice.....	27
2.2.3 Podle tvaru disperze	27
2.3 MATRICE – POJIVO	28
2.3.1 Reaktivní pryskyřice (reaktoplasty)	29
2.3.2 Termoplasty.....	30
2.4 GEOMETRIE VÝZTUŽE.....	31
2.4.1 Částicové kompozity	31
2.4.1.1 S polymerní matricí	31
2.4.1.2 S kovovou nebo keramickou matricí	32
2.4.2 Vláknové kompozity	33
2.5 NEDESTRUKTIVNÍ METODY KONTROLY KOMPOZITŮ	34
3 KONSTRUKCE ČELISTÍ	36
3.1 UPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ	36
3.2 ŠROUBOVACÍ ČELISTI	36
3.3 RŮZNÉ DRUHY UPÍNACÍCH ČELISTÍ	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
4 UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJ.....	40
4.1 TECHNICKÉ ÚDAJE STROJE ZWICK 145 665	41
4.2 UPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ STROJE	41
5 NÁVRH UPÍNACÍCH ČELISTÍ.....	42
5.1 NÁVRH ČELISTÍ	43
6 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÝCH ČELISTÍ.....	49

6.1	UPÍNACÍ PŘÍRUBA	49
6.2	ROZPĚRNÁ DESKA	49
6.3	HLAVNÍ HŘÍDEL	50
6.4	VEDLEJŠÍ HŘÍDEL	50
6.5	PRAVÁ DESKA	51
6.6	LEVÁ DESKA.....	51
6.7	UPÍNACÍ ČELIST PEVNÁ.....	52
6.8	UPÍNACÍ ČELIST POSUVNÁ	52
6.9	UPNUTÍ TKANINY	53
ZÁVĚR		54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		57
SEZNAM OBRÁZKŮ		59
SEZNAM PŘÍLOH.....		61

ÚVOD

Prakticky každý den běžně používáme materiály v různém odvětví k určitým úkonům. Jsou tak vystavovány namáhání, jako jsou např. tah, tlak, krut, stříh atd. Tato namáhání mohou působit samostatně, anebo v určité kombinaci. Abychom mohli správně a hospodárně využívat technické materiály, musíme znát jejich vlastnosti a umět je správně určovat a zjišťovat. Nejrozsáhlejší zkouškou, která se provádí téměř u všech materiálů, je zkouška tahem. Její pomocí získáváme potřebné údaje o materiálu a tyto získané výsledky nám pomohou např. při konstrukčních návrzích.

Dříve byly ve výrobě používány výhradně klasické kovové materiály, avšak dnes se velké úspěšnosti těší i nekovové materiály. Kovové materiály mají většinou větší hustotu, jsou špatnými izolátory tepla i elektřiny, mají malou odolnost vůči korozi, špatně tlumí chvění. Zdokonalením těchto vlastností kovů je zpravidla provázeno zvýšením ceny nebo zhoršením technologických vlastností. Proto se v některých případech lépe hodí nekovové materiály.

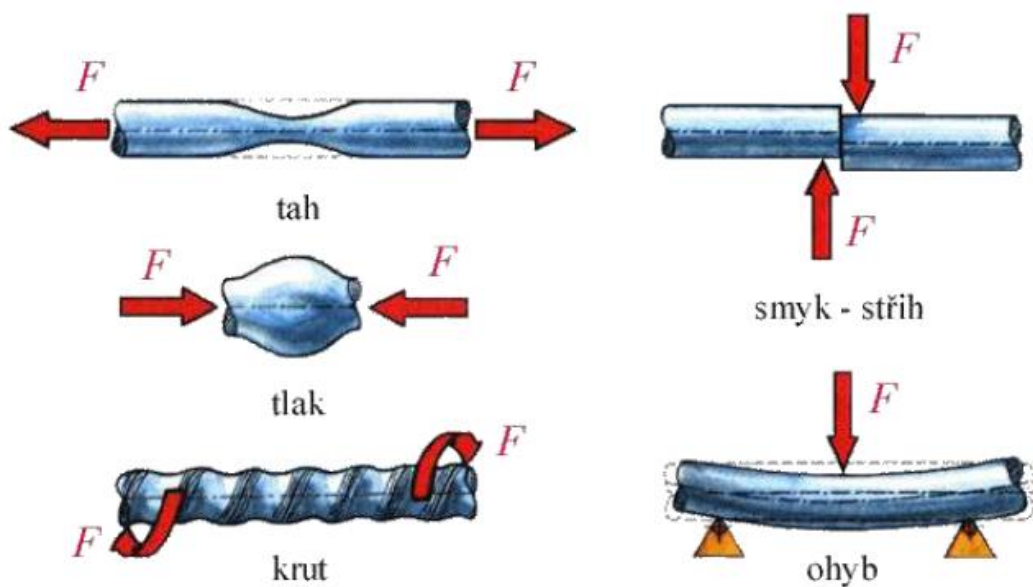
Z nekovových materiálů jsou hojně zastoupenou skupinou kompozity. Kompozity se svými vlastnostmi se vyrovnávají tradičním materiálům, jsou použitelné i při výrobě nosných prvků konstrukcí a jsou tedy nejnadějnějšími kandidáty pro náhradu kovů a jiných tradičních materiálů v konstrukčních aplikacích. Největšího rozšíření dosáhly kompozity, ve kterých jsou pojivem organické pryskyřice a výztužemi jsou různé typy keramických vláken. Nejvýznamnější předností kompozitů je snadná tvarovatelnost nepevné pryskyřice s pevností a tuhostí vyztužujících vláken. I ty nejjednodušší kompozity nabízejí nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost při statickém i dynamickém namáhání a vynikající odolnost vůči korozi, nízkou tepelnou vodivost, elektrickou nevodivost a zanedbatelný útlum elektromagnetického záření.

Hlavním úkolem bakalářské práce je navržení upínacích čelistí, které budou používány na univerzálním testovacím stroji Zwick 145 665 v laboratořích UVI. Zprovozněné zařízení rozšíří možnosti UVI v oblasti popisu mechanického chování tkanin, tkaných pásů či výztuží pro lamináty a bude využíváno ve vědeckovýzkumné činnosti ústavu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROZDĚLENÍ MECHANICKÝCH ZKOUŠEK

Materiály jsou při zpracování i v používání ve výrobě vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, stříh a ohyb. Tato jednotlivá namáhání mohou působit samostatně (jednotlivě), ale většinou tomu tak není, a tak působí v různých kombinacích. Materiál je tedy vystaven složenému namáhání. Například je materiál namáhán tahem, současně i krutem a ohybem. Aby materiál dokázal odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti jako tvrdost, pevnost, pružnost, tvárnost aj. [1]



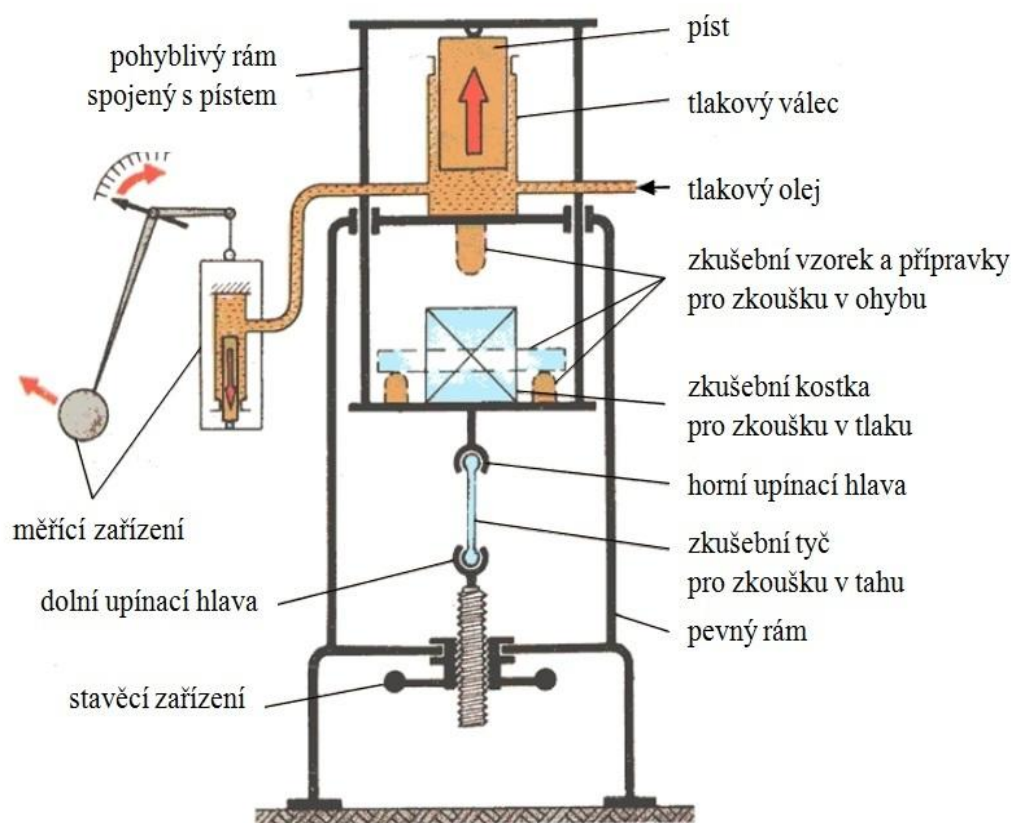
Obr. 1: Základní druhy namáhání [1]

Na mechanické vlastnosti materiálu má také velký vliv teplota. Při určitých teplotách se mění krystalická struktura materiálu a tím se mění i jejich mechanické vlastnosti. Tvářením kovů za studena se deformují krystalické mřížky a vzniká v nich vnitřní pnutí. Tím se zvyšuje jejich pevnost, ale zmenšuje tažnost. [1]

1.1 Statické mechanické zkoušky

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázů a to buď pouze jednou, nebo zatěžování vícekrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti. Podle způsobu působení zatěžovací síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu. Zkušební stroje mohou být buď jednoúčelové (pouze pro jeden druh zkoušky, např. tah), nebo univerzální (pomocí různých vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek). [1]

Na obr. 2 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního (v obrázku není zakresleno) zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu se upínají do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tahu se provádí na zkušební kostce nebo válečku umístěném na desce pohyblivého rámu. Měřicí zařízení je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím. Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zařízení v jednotkách síly, tj. v newtonech. [1]



Obr. 2: Univerzální zkušební stroj [1]

1.1.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem je jednou ze základních a nejdůležitějších zkoušek všeobecně. Je předepsána normou ČSN 42 0310. Je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože díky ní získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. [1]

Při tahovém namáhání dochází k deformaci zkušební tyče, která se prodlužuje až do přetržení. Zjišťují se přitom napěťové a deformační charakteristiky, kterými jsou pevnost v tahu, mez kluzu, tažnost, kontrakce. Kromě těchto základních mechanických vlastností lze speciálním zkušebním postupem stanovit taky modul pružnosti, mez úměrnosti a mez pružnosti. [2]

Zkouška se provádí na zkušebních tyčích, které se upínají do čelistí zkušebního stroje tak, aby osa zkušební tyče ležela přesně v ose čelistí stroje. Během zatěžování plynule rostoucí silou se tyč deformuje, až při určitém tahovém zatížení dojde k poškození. Při zkoušce se registruje zatěžující síla F a odpovídající deformace. Zkušební tyč zatěžována silou F se prodlužuje z počáteční měřené délky L_0 na konečnou délku L_u . Počáteční plocha příčného průřezu zkoušené části zkušební tyče S_0 se přitom mění na konečnou plochu S_u . Působící síla F se vztahuje na jednotku plochy a nazývá se napětí. Vzhledem k tomu, že osové tahové zatížení působí kolmo k ploše příčného průřezu, jedná se o napětí normálové. Označuje se R . V průběhu zkoušky je tedy možno stanovit napětí jako podíl zatížení F a plochy původního průřezu S_0 . Nazývá se smluvní jmenovité napětí:

$$R = \frac{F}{S_0} [MPa] \quad (1)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče L_0 a délka po přetížení L_u je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky):

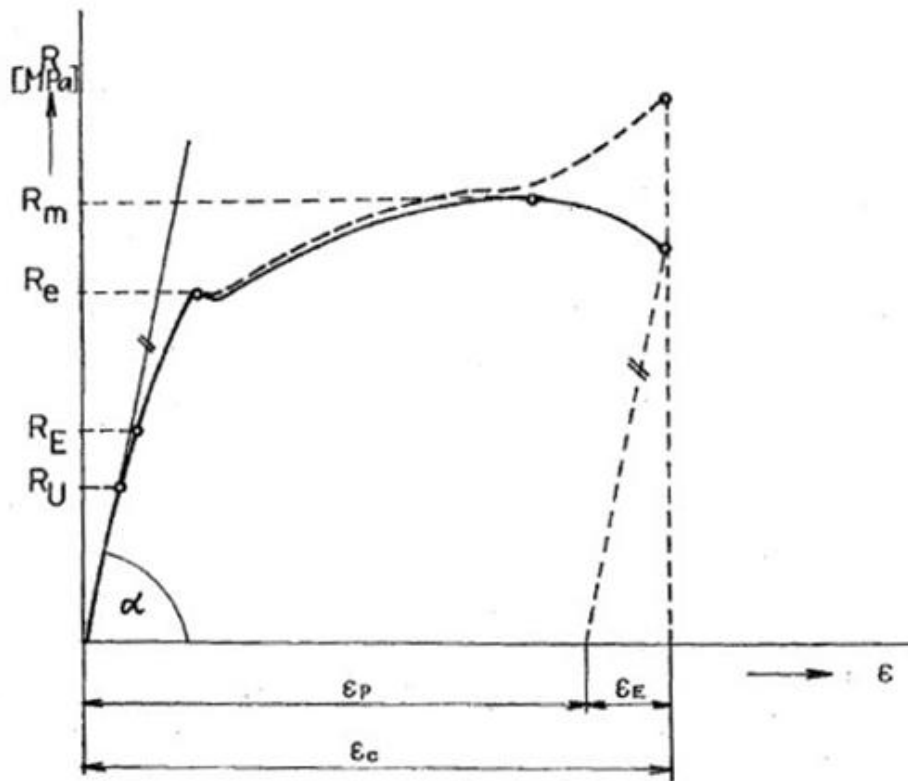
$$\Delta L = L_u - L_0 [mm] \quad (2)$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky ΔL k původní délce tyče L_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} [1] \quad (3)$$

tato veličina není normována.

Z uvedených vztahů vyplývá, že zaznamenávaná závislost (F - ΔL) odpovídá zároveň závislosti (R - ε). Nazývá se smluvním nebo pracovním diagramem zkoušky tahem. Tvar tohoto diagramu uvádí obr. 3. [2]



Obr. 3: Pracovní diagram pro tah [2]

Počáteční přímkový úsek diagramu přísluší pružné deformaci a vyjadřuje úměrnost napětí a deformace podle Hookeova zákona:

$$R = E \cdot \varepsilon \text{ [MPa]} \quad (4)$$

kde E je modul pružnosti v tahu. Geometricky odpovídá směrnici přímkové části diagramu. Mezní hodnota platnosti Hookeova zákona se označuje jako mez úměrnosti (R_U). Nad mezí úměrnosti roste pak deformace rychleji a křivka se odchyluje od přímkového průběhu. Přitom však po zrušení vnější tahové síly se zkušební tyč znovu zkrátí na původní délku. To znamená, že se deformovala pružně. Předpokládá se, že ve stavu pružných deformací je zkušební tyč až do mezní hodnoty napětí označována jako mez pružnosti (R_E). Tato fyzikální hodnota, tj. mezní napětí, která po odlehčení nezanechává trvalé deformace, se u polykrystalických materiálů prakticky nevyskytuje, neuvádí ji proto ani ČSN. Pro reprodukované zachycení napětí způsobující první plastické deformace se určuje tzv. smluvní mez pružnosti. [3]

Z fyzikálně metalurgického hlediska vyjadřuje mez pružnosti odpor proti vzniku plastické deformace v namáhaných materiálech. Její velikost závisí na strukturních a substrukturních faktorech, které ovlivňují kritické kluzové napětí, a na teplotě a rychlosti deformace.

U některých materiálů (zejména u měkkých uhlíkových ocelí) se objevuje na počátku oblasti plastické deformace úsek rychlejšího prodlužování, který je možno v průběhu zkoušky zřetelně zaregistrovat. Tato část diagramu je charakterizována mezí kluzu R_e . Mez kluzu je tedy nejmenší napětí, při němž dochází k podstatné deformaci, která někdy dočasně pokračuje, aniž se současně zvyšuje napětí. Tento charakteristický úsek na diagramu zkoušky se u některých materiálů nemusí vůbec objevit, neboť je vázán na určitý strukturní stav. U měkkých uhlíkových ocelí je však velmi dobře zřetelný a mívá často maximum a minimum, což se označuje jako horní mez kluzu R_{eH} a dolní mez kluzu R_{eL} . Praktický význam má vždy nejvyšší hodnota napětí před náhlým poklesem, tj. horní mez. Nedá-li se u některých materiálů mez kluzu zjistit přímo z diagramu jako fyzikální hodnota, určuje se pak z určité přesné hodnoty deformace jako tzv. smluvní mez kluzu. Mez kluzu je pro materiál velmi důležitou charakteristikou, která se používá jako základní kritérium pro výpočet dovoleného namáhání. [2]

Hodnota meze kluzu závisí na chemickém složení, struktuře a substruktuře kovu. U polykrystalických materiálů závisí výrazně na velikosti zrna. Zmenšováním střední velikosti zrna se její hodnota zvyšuje. Výrazná mez kluzu zaniká se zvyšující se teplotou. V těchto případech je nutno měřit smluvní hodnotu. Při dalším vzrůstu napětí nad mez kluzu se zkušební tyč plasticky deformuje po celé délce. Na diagramu napětí se to projevuje stoupající větví křivky, která končí v okamžiku, kdy tahová síla dosahuje nejvyšší hodnoty před přetržením zkušební tyče. Z tohoto maximálního zatížení se určuje pevnost v tahu R_m :

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (5)$$

Po překročení této maximální hodnoty u tvárného materiálu, křivka tahového diagramu klesá až do okamžiku destrukce. Deformace, která byla až do meze pevnosti rovnoměrná po celé délce zatěžované zkušební tyče, se nakonec soustřeďuje do jednoho místa. Průřez tyče se v tomto místě začne rychle zmenšovat, na zkušební tyči se objeví krček. Zátěžná síla začíná klesat, i když se skutečné napětí v tyči vztahované na plochu skutečného průřezu zvyšuje. Tyč se roztrhne (přetrhne) v místě s nejmenším průřezem. [2]

Kovy a slitiny, které vykazují při tahové zkoušce v poslední fázi charakteristické zúžení tyče (krček), mají pevnost v tahu R_m , která neodpovídá skutečnému maximálnímu napětí, neboť síla se vztahuje na počáteční průřez S_0 . Proto diagram získaný z trhacího stroje je diagramem smluvním. Průběh skutečných napětí, odpovídajících měnícímu se průřezu, je na obr. 3 vyznačen čárkovanou čarou. Mez pevnosti je základní charakteristikou, podle níž

se klasifikují a porovnávají materiály. Závisí na chemickém složení a struktuře materiálu. Její hodnota je ovlivněna vnitřními procesy, které probíhají ve struktuře při plastické deformaci. Jedná se zejména o deformační zpevnění, strukturní zpevnění a opevňovací procesy, které mohou v kovu probíhat v závislosti na teplotě, rychlosti a stupni deformace. Kromě uvedených mezních hodnot napětí lze z diagramu určit jak celkovou deformaci ε_c , tak i podíl pružné (elastické) a plastické deformace ε_E a ε_P (obr. 3). Plocha, omezená pracovním diagramem zkoušky, je pak úměrná práci spotřebované na změnu tvaru zkušební tyče při tahové zkoušce. Její velikost vzrůstá s houževnatostí zkoušeného tělesa. [2]

Po přetržení zkušebního tělesa lze z poměrného prodloužení vypočítat tažnost A , která je měřítkem tvárnosti:

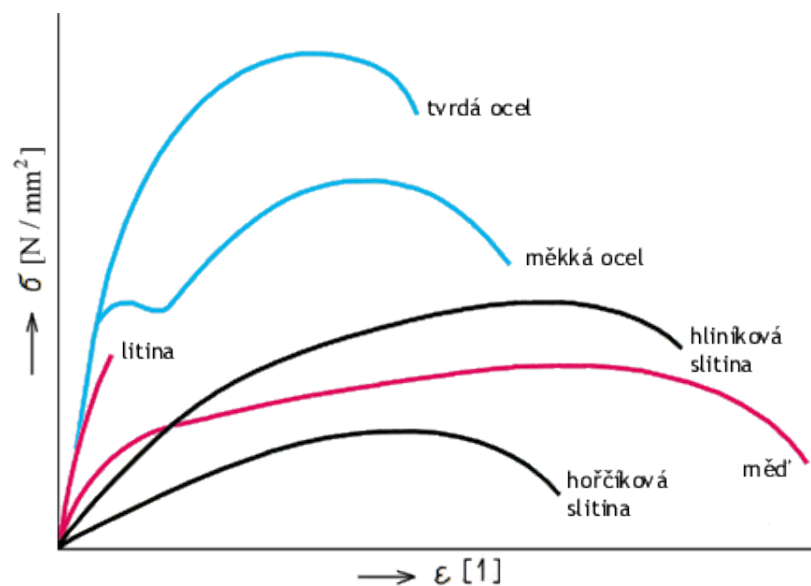
$$A = \varepsilon \cdot 100[\%] \quad (6)$$

Uvádí se s indexem (A_5 , A_{10}), zda byla získána na krátké nebo dlouhé tyči. [3]

Další charakteristickou tvárností je kontrakce Z , která je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ($S_0 - S_u$) k původnímu průřezu tyče S_0 , vyjádřený v procentech:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100[\%] \quad (7)$$

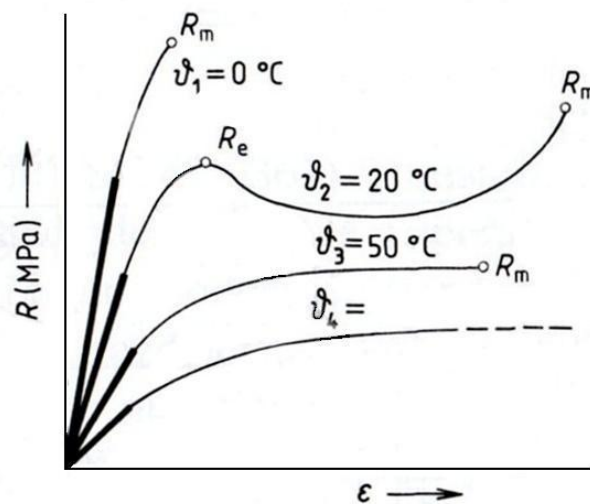
Tvar pracovního diagramu se mění podle druhu materiálu. Na obrázku 4 jsou pracovní diagramy pro některé konstrukční materiály. [1]



Obr. 4: Příklady smluvních diagramů různých kovů a slitin [1]

Plasty dávají při zkoušce tahem odlišné závislosti mezi napětím a deformací než kovy, neboť jejich mechanické vlastnosti značně závisejí na teplotě ϑ a čase t zkoušky. Na obr. 5

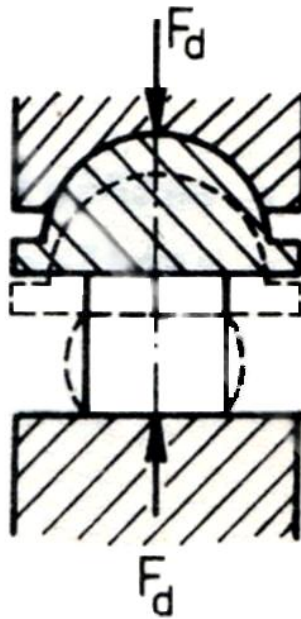
je schéma typického pracovního diagramu zkoušky tahem u termoplastů, které se jako konstrukční materiály používají z plastů nejvíce a to hlavně pro svoji rychlou zpracovatelnost. Diagram je pro konstantní čas t (doba zatěžování při této krátkodobé zkoušce zhruba 0,5 až 3 minuty) a pro různé teploty ϑ . Zkouška se provádí podle ISO 527 s plochou zkušební tyčkou zhotovenou podle ISO 3167. Označení veličin je shodné s předcházejícími diagramy kovů. Je vidět, že průběh zatěžovací teploty závisí značně na teplotě. Při rostoucí teplotě má plast již větší deformaci ϵ i při mírném napětí R a přímková část křivek vycházející z počátku se zkracuje, tj. snižuje se pružnost materiálu, zato však roste tažnost a houževnatost. [1]



Obr. 5: Pracovní diagram plastu „polyamid“ [1]

1.1.2 Zkouška tlakem

Je obdobou zkoušky tahem a dá se provádět na universálním trhacím stroji, jako zkouška tahem. Zkušební tyč je však při zkoušce stlačována, nikoliv napínána. Tlakové zkoušky jsou přizpůsobeny tvary zkušebních těles. Jsou to zpravidla válečky průměru 20 až 30 mm a stejné výšky. Osová poloha válečků mezi čelistmi trhacího stroje s kulovými úložnými plochami zaručuje působení jen tlakové síly F_d (obr. 4). Válečky houževnatých ocelí se při zkoušce tlakem zkracují a ve střední části soudečkovitě rozšiřují. Měkké oceli se dají poměrně značně stlačit, tvrdší oceli méně, křehké oceli (např. kalené) se nedají vůbec stlačit a křehce se lámou. [4]



Obr. 6: Zkouška tlakem [4]

Statická zkouška tlakem má význam hlavně pro hodnocení křehkých materiálů, které jsou v praktických podmínkách provozu namáhány na tlak (ložiskové materiály, kompozice, šedá litina). Používá se taky ve stavebním průmyslu pro zkoušení stavebních materiálů. U tvárných kovů dochází při zatěžování k postupnému zvětšování deformace a k porušení nedojde. V takových případech má zkouška význam jako zkouška technologická. Vzhledem k tomu, že zkouška tlakem není předepsána normou, neexistují ani jednotné předpisy pro zkušební tělesa. Zkušební vzorky se postupně zatěžují tlakovou silou mezi rovnoběžnými deskami buď až do rozdrčení (u křehkých materiálů), nebo až do dosažení určité deformace (u materiálů plastických). Zkouška se provádí na univerzálních trhacích strojích, kde se zkušební vzorek položí mezi podložky, z nichž jedna je uložena v kulovitěm sedle pro dosažení centrického zatížení. [2]

Pevnost v tlaku se určuje pouze u materiálů křehkých, a to podle vztahu:

$$R_{mt} = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (8)$$

kde S_0 je průřez tělesa před zkouškou a F_{max} je maximální zátěžná síla.

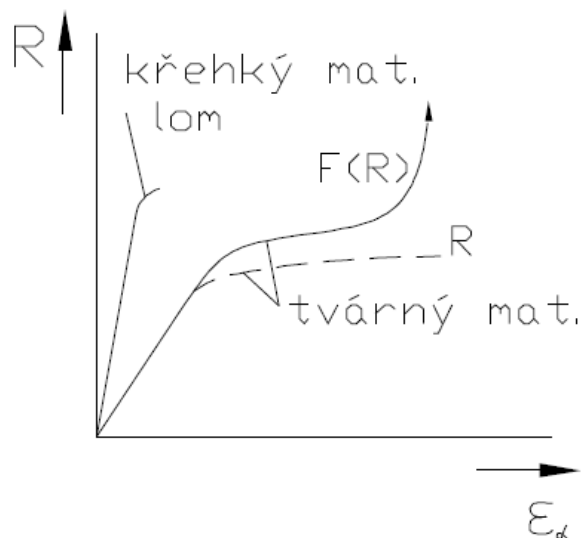
U těchto materiálů dochází k destrukci prakticky bez trvalé deformace. U polokřehkých materiálů dochází k porušení smykem v rovinách maximálního smykového napětí (po úhlopříčce obrysu válečku). Velmi křehké materiály se porušují příčným normálovým tahovým napětím. Lomové plochy jsou pak rovnoběžné s osou válečku. U tvárných materiálů

nedochází při namáhání tlakem k porušení. Při deformaci zkušební tělesa nastává zvětšování průřezu kolmého na směr zatěžování a současně probíhá v materiálu deformační zpevnění. Při stlačování se na čelech válečku vytvářejí tlakové kužele, po nichž materiál klouže do stran. Pokračuje-li deformace dále, tlakové kužele se k sobě přiblíží a odpor proti stlačení se zvětšuje. Průběh zátěžné síly má po dosažení určité deformace inflexní bod, nad nímž síla stoupá až k nekonečným hodnotám. Z diagramu je možno, podobně jako u zkoušky tahem, určit mez kluzu v tlaku R_{et} . Pro určitou deformaci neporušených těles se také stanovuje zkrácení ε_t a poměrné rozšíření ψ_t :

$$\varepsilon_t = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100[\%] \quad (9)$$

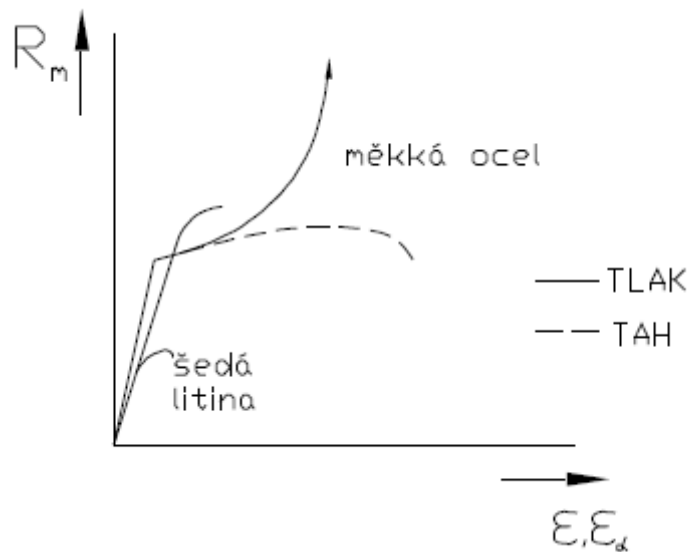
$$\psi_t = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100[\%] \quad (10)$$

kde h_0 , je měřená výška počáteční a h po zatížení a S_0, S je průřez zkušební tělesa počáteční a po zatížení. [2]



Obr. 7: Tlakový diagram křehkého a tvárného materiálu [2]

Některé materiály vykazují rozdíl pevnosti v tlaku a tahu. Tato skutečnost souvisí se strukturou. Pokud kov obsahuje takové strukturální složky, případně nečistoty, které při namáhání tahovým napětím působí jako iniciátory porušení (např. grafit v šedé litině, trhliny aj.), vzniká rozdíl v hodnotách pevnosti v tlaku a v tahu. [2]



Obr. 8: Rozdíl v hodnotách pevnosti v tahu a tlaku pro měkkou a šedou litinu [2]

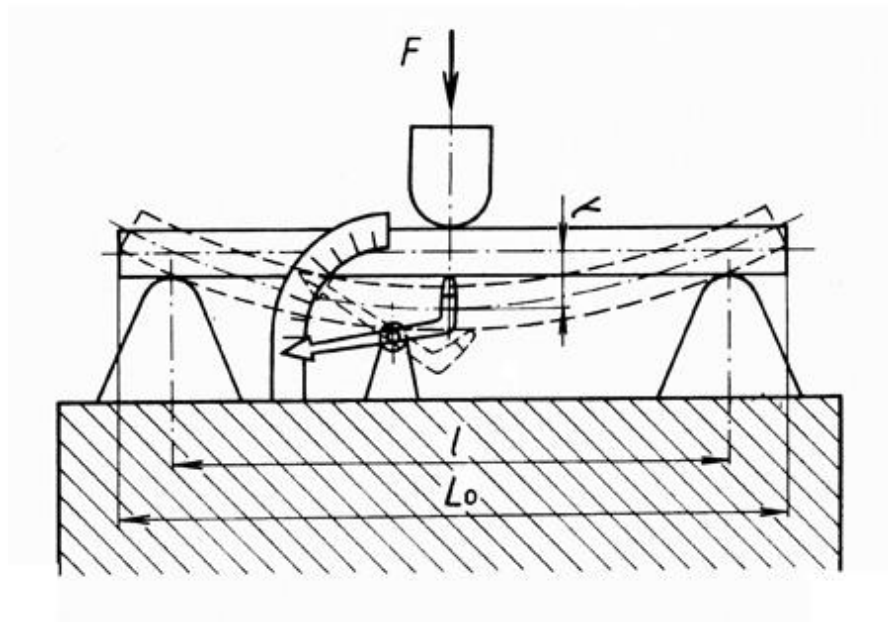
1.1.3 Zkouška ohybem

Statická zkouška ohybem je důležitá zejména u křehkých materiálů (např. u šedé litiny). Pro tvárné materiály má malý význam, neboť tyto tyče se ohýbají ve velkém rozsahu a často se vůbec nezlomí. Při zkoušce ohybem je zkušební tyč (nejčastěji kruhového průřezu) uložena na dvou podporách a zatěžována osamělou silou působící uprostřed mezi podporami, nebo vetknutý nosník. V technické praxi často dochází k zatěžování nosníku ohybovým momentem. Při vyšetřování ohybového namáhání je důležitá znalost geometrických charakteristik průřezu tzv. kvadratických momentů ploch. [3]

Určuje se pevnost v ohybu:

$$\sigma_0 = \frac{M_{0max}}{W_0} [MPa] \quad (11)$$

kde W_0 je modul průřezu v ohybu a M_{0max} je největší ohybový moment v průřezu.



Obr. 9: Zkouška ohybem [1]

1.1.4 Zkouška krutem

Zkouška krutem se používá jen v menším rozsahu než předešlé zkoušky. Při kroucení je tyč na jednom konci pevně upnuta a na druhém konci zkrucována dvojicí sil, které vyvolává kroučící moment $M_k = F \cdot d [N/m]$, kde d je průměr zkušební tyče a F síla působící na tyč. V průběhu tyče vzniká při tomto namáhání smykové napětí, které má v ose tyče nulovou a na obvodu maximální hodnotu. Maximální napětí, kterého se v průběhu zkoušky dosáhne v povrchových vláknech, slouží k výpočtu meze pevnosti v krutu:

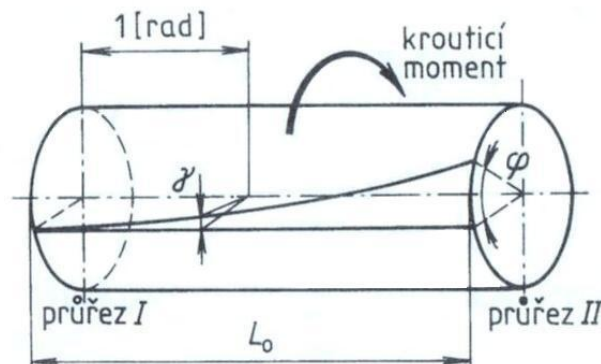
$$\tau_k = \frac{M_{kmax}}{W_k} [MPa] \quad (12)$$

kde W_k je modul průřezu v krutu. [3]

Dále se měří příslušný kroučící moment a zkroutení tyče na určité měřené délce. Touto zkouškou zjišťujeme poměrné zkroutení (zkrut):

$$\varepsilon_k = \frac{\varphi}{L_0} \quad (13)$$

Úhel zkroutení φ je úhel vzájemného pootočení dvou rovnoběžných průřezů kolmých k ose o délku L_0 . [1]

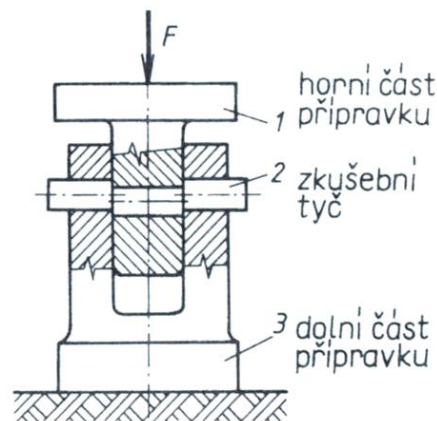


Obr. 10: Zkouška krutem [1]

1.1.5 Zkouška stříhem

Tyto zkoušky se provádí relativně málo. Provádí se u křehkých materiálů, též u křehkých plastů. Při smykovém namáhání působí zatěžující síla v rovině namáhaného průřezu a vyvolává tangenciální napětí τ_s . [1]

$$\tau_s = \frac{F}{S} [\text{MPa}] \quad (14)$$

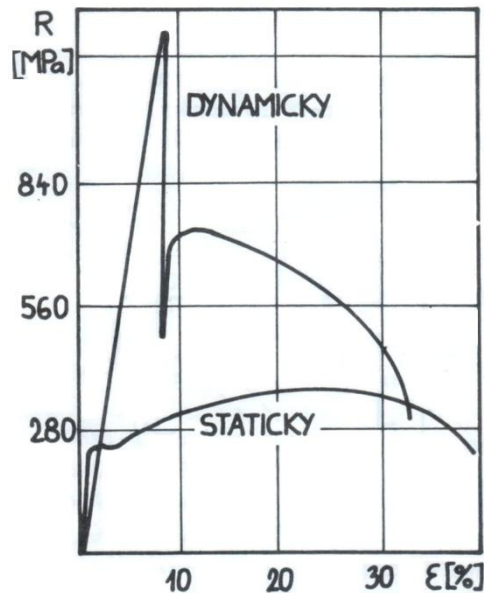


Obr. 11: Zkouška stříhem [1]

1.2 Dynamické zkoušky

V technologické praxi jen málo zátěžných cyklů má stálou nebo postupně se zvětšující zatěžující sílu. Výrobky jsou zatěžovány spíše dynamicky. Zátěžné síly mohou růst skokem, pak mluvíme o rázovém zatěžování, nebo se opakovaně mění a součást je vystavena působení velikého počtu těchto změn, toto zatěžování je označováno jako cyklické. Při dynamickém namáhání dochází často k poruchám soudržnosti, i když zátěžné síly zdaleka nedosahují statické pevnosti materiálu. Účelem dynamických zkoušek při rázovém zatížení

(rázové zkoušky) a při cyklickém namáhání (únavové zkoušky) je určení chování a vlastností materiálu za působení dynamických sil. S rychlostí zatěžování vzrůstá odpor proti přetvoření obr. 12, zvyšuje se mez kluzu a pevnost. [3]



Obr. 12: Porovnání pracovního diagramu při statické a dynamické zkoušce [3]

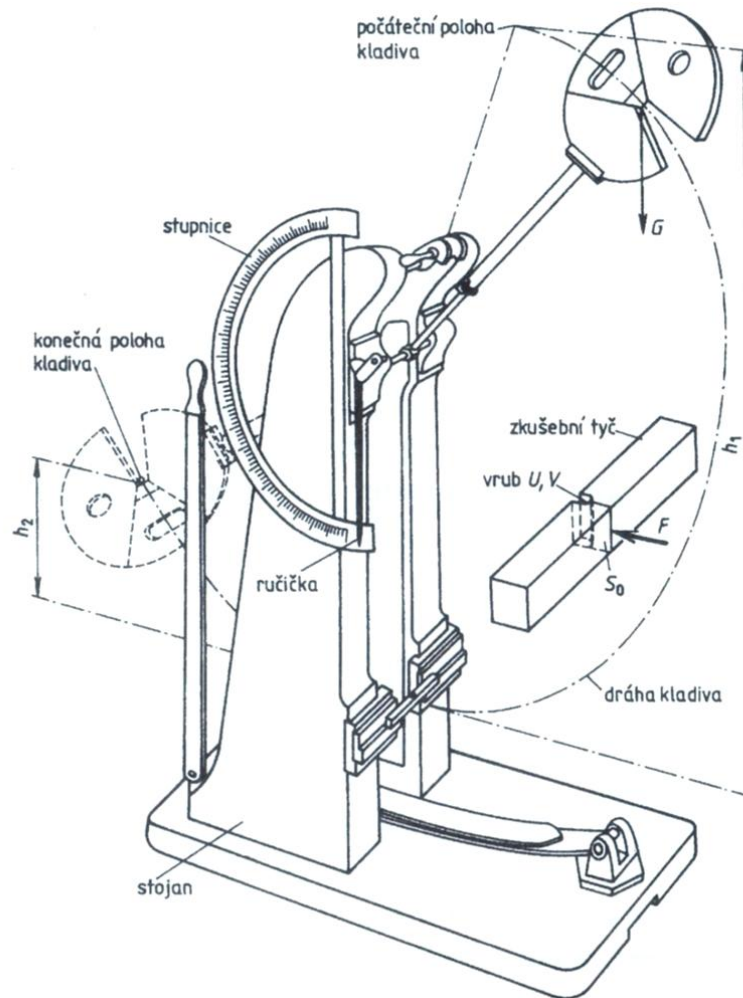
1.2.1 Rázová zkouška

Rázová zkouška nedává konstruktérovi obdobné výsledky jako zkoušky statické. Rychlost deformace je asi tisíckrát vyšší. I když můžeme za pomoci složitých zařízení zjišťovat dynamickými zkouškami stejné charakteristiky jako u statických zkoušek, v běžné praxi výsledkem rázové zkoušky je stanovení deformační práce (energie) potřebné na rozbití zkušební tělesa. Tato hodnota je mírou houževnatosti zkoušeného materiálu. Zkouška se provádí podle ČSN 420381-5 – Zkoušky vrubové houževnatosti (Charpyho kladivo obr. 13). [3]

Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu zkušební tyč ze zkoušeného materiálu. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přerazení zkušební tyče bylo zapotřebí určité práce. Tato práce je nazývána jako spotřebovaná nárazová práce $K[J]$ a vypočítáme ji:

$$K = G(h_1 - h_2) [J] \quad (15)$$

Vrubovou houževnatost zjišťujeme zvláště u tepelně zpracovaných ocelí, u svarů a u plastů, méně často u neželezných kovů. [1]



Obr. 13: Zkouška rázem v ohybu – Charpyho kyvadlové kladivo [1]

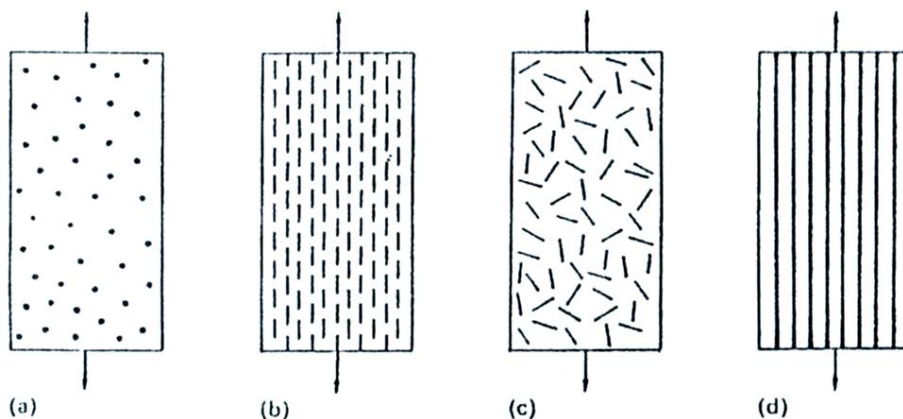
1.2.2 Únavová zkouška

Únavová zkouška, umožňuje stanovit napětí při dlouhodobém a proměnlivém zatížení, aby nedošlo během provozu k porušení součásti při značně menších napětí, než je statická pevnost materiálu. Vzhled lomové plochy je podstatně odlišný od lomové plochy průřezu při namáhání statickým tahem. Tento jev nazýváme únavou materiálu. Vysvětluje se pohybem dislokací a koagulací vakancí, které existují v tzv. napěťových polích materiálu. V průběhu namáhání vznikají pak v materiálu póry, později mikrotrhliny, které se zvětšují, až způsobí nakonec lom. [4]

2 MATERIÁL KOMPOZITY

2.1 Podstata kompozitních materiálů

Kompozitní materiály (neboli zkráceně kompozity) jsou typické moderní technické materiály. K rychlému rozvoji kompozitních materiálů došlo na počátku 60. let, kdy v USA byla vyvinuta uhlíková a borová vlákna typu SiC a Al₂O₃ (pro vyšší teploty). Kompozity jsou směsí dvou nebo více odlišných složek nebo fází, přičemž složky musí být přítomny v množství nejméně 5 % a významně se liší vlastnostmi od jednotlivých složek. Kompozit je většinou vyráběn mícháním a kombinací složek různými prostředky, tudíž slitina, která má dvoufázovou strukturu vznikající tuhnutím z homogenní taveniny, nebo následným tepelným zpracováním solidu, není klasifikována jako kompozitní materiál. Kompozity se skládají z matrice (kontinuální součástka) a zpevňující fáze (vlákna či sferoidické částice). Matrice bývá keramická, kovová či polymerická. Na obrázku 14 jsou příklady kompozitů, které jsou klasifikovány podle tvaru a rozmístění zpevňující fáze. [5]



Obr. 14: Příklady kompozitů: a) částicový nahodilý; b) diskontinuální vlákna, jednosměrné; c) diskontinuální, nahodilé; d) kontinuální, jednosměrné [5]

Kompozity se plně ukázaly jako vhodné strojírenské materiály a jsou nyní poměrně široce používány zvláště pro konstrukční účely. Vojenské aplikace kompozitů s polymerní maticí během 2. světové války vedly k široké škále komerčního využití v námořním průmyslu ke konci 40. let a na začátku 50. let. Dnes je letecký, automobilový, elektronický a lékařský průmysl zcela závislý na polymerech zpevněných vláknem a tyto kompozity jsou běžně navrhovány, vyráběny a používány. [5]

2.2 Rozdělení kompozitních materiálů

Vzhledem k velikému sortimentu různých kompozitních materiálů je nutné k jejich bližšímu popisu a uspořádání použít určitá kritéria rozdělení kompozitů. Uvedeme tři nejběžnější způsoby dělení kompozitů, které se v praxi vzájemně kombinují (např. PMC kompozit s usměrněnými spojitými vlákny). Podstatou kompozitů je, že musí mít jednu složku, která je v celém rozsahu spojitá a určuje tvar a rozměry kompozitu (drží ho pohromadě) – tato složka je nazývána jako matrice. Všechny ostatní složky kompozitu označujeme jako disperze, protože jsou v matici rozptýleny. [6]

2.2.1 Podle disperzní fáze

I když je nejběžnější případ, že disperzi tvoří pevná fáze, obecná definice kompozitu to nevyžaduje. Proto je možné kompozity rozdělit na tři základní typy:

- *Kompozit prvního typu* má disperze (jednu nebo více) z pevné fáze. Tyto kompozity se používají nejčastěji.
- *Kompozit druhého typu* má kapalnou disperzi. Tento druh je méně používaný, patří sem některé pórovité struktury s póry vyplněnými např. mazacím olejem. Kapalina může být v uzavřených nebo v otevřených pórech. Z přírodních kompozitů zde patří dřevo.
- *Kompozit třetího typu* má plynnou disperzi. Patří sem všechny tzv. pěnové materiály, z nich jsou dnes velmi moderní především různé kovové pěny. Dále sem patří i různé vláknové struktury s vlákny buď slinutými, nebo spojenými malým množstvím pojiva (vlastně matrice, která však v tomto případě není spojitá). [6]

2.2.2 Podle typu matrice

- Kompozitní materiály s plastovou maticí (Plastic Matrix Composites – PMC)
- Kompozitní materiály s kovovou maticí (Metal Matrix Composites – MMC)
- Kompozitní materiály s keramickou maticí (Ceramic Matrix Composites – CMC)

V závorkách jsou uvedeny zkratky těchto kompozitů. Některé kompozitní materiály do tohoto rozdělení zcela nezapadají – především jsou to kompozity se skleněnou maticí. Pro podobné vlastnosti se zpravidla přiřazují ke kompozitům s keramickou maticí. [6]

2.2.3 Podle tvaru disperze

Tvar jednotlivých částí disperze se podstatně podílí na anizotropii vlastností i na způsobu interakce mezi maticí a disperzí. Podle tvaru disperze lze rozdělit kompozity na:

- *Částicové*, disperze je ve tvaru částic buď izometrických (kompozit je izotropní), nebo neizometrických (především destičky, nebo jehličky).

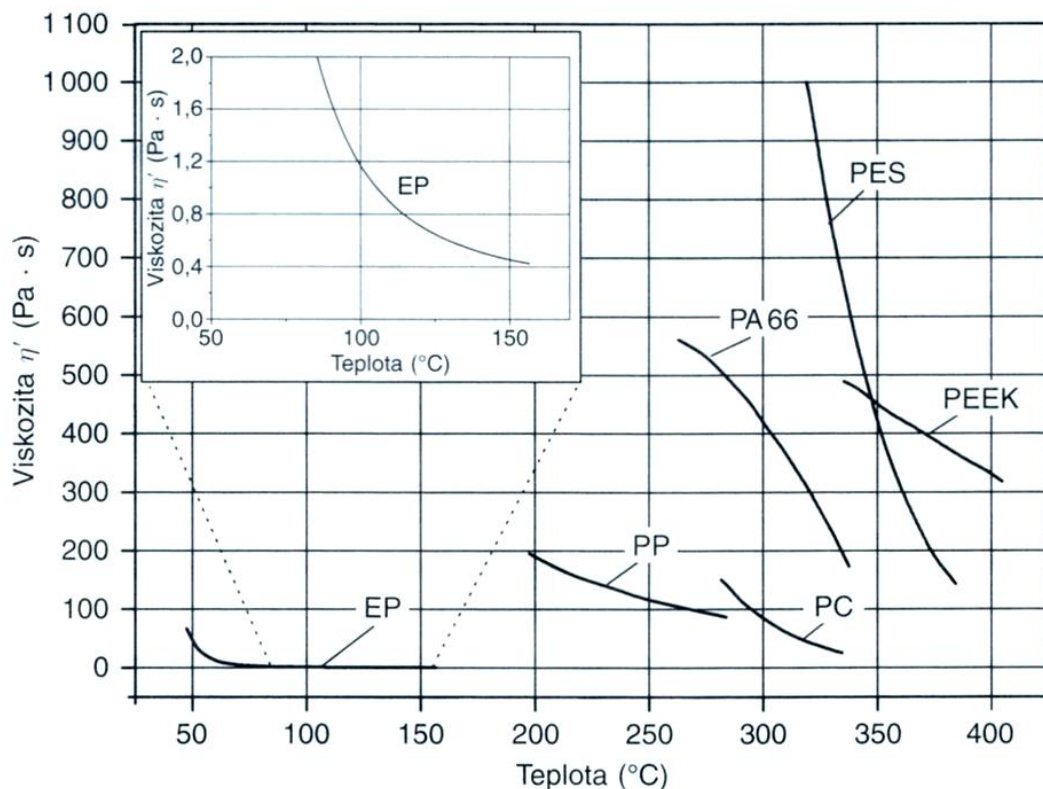
- *Vláknové*, disperze je ve tvaru vláken, která jsou buď spojitá vlákna (jednoosé, dvojosé uspořádání), nebo dlouhá vlákna (jsou delší než kritická délka, při lomu se přetrhnou), nebo krátká vlákna (jsou kratší než kritická délka, při lomu se vytáhnou).
- *Deskové*, matrice i disperze jsou složena ze vzájemně se střídajících desek, není možné dobře rozlišit, co je matrice a co disperze. [6]

2.3 Matrice – pojivo

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Vzniklá surovina se označuje jako kompozit. Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, přenos namáhání na vlákna, převedení namáhání z vlákna na vlákno, zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku, ochrana vláken před vlivy okolí. [7]

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice – vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a případné i chemické vazby mezi vláknem a matricí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila bez bublin. U polymerních kompozitů se matrice dělí na termosety (reaktoplasty) a termoplasty. [7]

Původně se pro kompozity používaly pouze vyztužené nenasycené polyesterové (UP-R), nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice. Tyto reaktivní pryskyřice tvoří i dnes většinu kompozitních aplikací. Mají tu přednost, že jsou ve výchozím stavu nízkomolekulární a většinou při normální teplotě v tekutém stavu. I v případě, že jsou zpracovány ve formě taveniny, je jejich viskozita nižší než viskozita taveniny termoplastů. Viskozita reaktivních licích pryskyřic se pohybuje při teplotě zpracování řádově ve stovkách $mPa \cdot s$, zatímco u termoplastů dosahuje hodnot 10^3 až $10^5 mPa$. Proto se termosety snadněji zpracovávají, snadněji smáčejí a lépe prosycují vlákna. Energetické nároky na prosycování vláken jsou ve srovnání s termoplasty nižší, protože zpracování probíhá při podstatně nižších teplotách. Zpracovatelské teploty termoplastů jsou mnohem vyšší a jsou omezeny teplotou rozkladu, jejich viskozita při zpracování je ve srovnání s termosety sto- až tisícinásobná. [7]



Obr. 15: Viskozity termosetů a termoplastů při prosycování vyztužujících vláken [7]

Výhodou termoplastů oproti termosetům je právě jejich houževnatost. Jen minimum termoplastových kompozitů dosahuje obdobných hodnot E-modulu, tepelné odolnosti a odolnosti proti chemickým vlivům jako termosety. Výhodou termoplastů je, že v průběhu jejich zpracování probíhá pouze roztavení a ztuhnutí matrice a nikoli chemický proces, který by ovlivnil jakost výrobku, nebo narušoval životní prostředí. Termoplast prosycuje vlákna v roztavené fázi, což je vzhledem k řádově vyšší viskozitě problematictější proces než u termosetických pryskyřic. Proto jsou zapotřebí zařízení, která urychlují prosycování působením vnějších sil. Toto prosycování neprobíhá, na rozdíl od reaktivních pryskyřic zpracovávaných v kapalném stavu, přímo u výrobce, nýbrž v samostatném výrobním postupu – obdobně jako u prepregů. [7]

2.3.1 Reaktivní pryskyřice (reaktoplasty)

Reaktivní pryskyřice tvoří skupinu termosetů nejčastěji používanou při výrobě kompozitů. Jsou to kapalné nebo tavitelné pryskyřice, které se buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek – tvrdidel tj. iniciátorů, katalyzátorů, urychlovačů, aldehydů (fenolů) apod. – vytvrzují polyadicií nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek (ČSN 64 2001). Reaktivní

pryskyřice nazýváme také licí, laminační, impregnační, prosycovací nebo zalévací (elektro) pryskyřice. Mezi nejdůležitější typy reaktivních pryskyřic patří:

- a) Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R) – jednou jejich složkou je nenasycená karbonová kyselina (většinou vícesytná) a nejméně jednou další složkou je alkohol. Pryskyřice je rozpuštěná v monomerním rozpouštědle (často ve styrenu), se kterým je kopolymerizovatelná.
- b) Vinylesterové (VE-R), nebo fenakrylátové (PFA-R) pryskyřice z fenylových, nebo fenylenových derivátů – jako koncovou skupinu řetězce mají esterifikovanou kyselinu akrylovou. Pryskyřice je rozpuštěna v monomerním rozpouštědle (často ve styrenu), se kterým je kopolymerizovatelná.
- c) Epoxidové pryskyřice (EP-R) – obsahují dostatečné množství epoxidových skupin potřebných pro vytvrzení.
- d) Fenolické pryskyřice – vyrábějí se kondenzací fenolů a vodných roztoků aldehydů.

Reaktivní pryskyřice se vytvrzují smícháním s tvrdidly. Mezi nejdůležitější tvrdidla patří iniciátory a urychlovače, ale také aldehydy (fenol). Tvrdidla jsou sloučeniny, které iniciují katalysy polymerizaci pryskyřic, případně ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice epoxidových nebo izokyanátových pryskyřic. Urychlovače jsou látky, které přidány v malém množství urychlují síťovací reakci. [7]

2.3.2 Termoplasty

Termoplasty, kterými jsou například polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylen (PE), polykarbonát (PC), polyetylen tereftalát (PET) a další, jsou tuhé látky, které měknou a tečou při zvýšení teploty. Po ochlazení opět přejdou do pevného skupenství. [9]

Pro vyztužení termoplastů jsou používána:

- Krátká vlákna ($\approx 0,2\text{mm}$) – především pro vyztužení a zesílení matrice při vstřikování.
- Dlouhá vlákna (až do 25mm) – většinou se dávkuje z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy.
- Nekonečně dlouhá vlákna – např. u termoplastů vyztužených skleněnou rohoží, tkaninou, nebo jednosměrnými pásy se používají na polotovary pro další zpracování.

Termoplasty se liší od termosetů zpracovatelskými i uživatelskými vlastnostmi, avšak vzhledem k velkému počtu různých materiálů jako matrice je jejich všeobecné porovnání velmi obtížné.

Reaktivní pryskyřice (termosety) jsou v počátečním stavu nízkomolekulární, a proto za normální teploty nízkoviskozní, takže dobře smáčejí a prosycují vlákna výztuže. Musí se nejprve chemicky vytvrdit, aby dosáhly své konečné konzistence.

Termoplasty jsou za normální teploty pevné látky a teprve po zahřátí na teplotu většinou nad 200°C jsou dostatečně tekuté. Použití rozpouštědel pro snížení viskozity termoplastů je problematické, protože i pro odstranění rozpouštědla zůstává u termoplastů snižená odolnost proti korozi při napětí. Zatímco vyztužené termoplasty se mohou zpracovávat a tvarovat pouze po zahřátí nad teplotu roztavení, převládá u reaktivních pryskyřic proces chemického vytvrzování, spojený s vývojem reakčního tepla. Vlastnosti matrice musí vyhovovat kritériím tvarovatelnosti a chemického vytvrzování. Protože se zpracování reaktivních pryskyřic i termoplastů lisostřikem provádí obvykle při zvýšené teplotě, je nutné ukončit oba procesy chlazením. [7]

2.4 Geometrie výztuže

Podle geometrie výztuže dělíme kompozity na dvě základní skupiny:

- částicové kompozity,
- vláknové kompozity.

2.4.1 Částicové kompozity

2.4.1.1 *S polymerní matricí*

Částicový kompozit má větší modul pružnosti v tahu, tvarovou stálost za tepla a tepelnou vodivost, oproti polymeru má menší smrštění při chladnutí z teplot zpracování a menší tepelnou roztažnost. U navlhavých polymerů (polyamidy) částice zmenšují rozměrové změny způsobené absorpcí vody. Částice zlepšují vlastnosti polymeru. Částice jsou většinou vyrobeny mikromletím anorganických materiálů. Složením jsou to především hlinítokřemičitany (masek, kaolín), vrstevnaté hlinitokřemičitany (slídy) a uhličitany (vápenec a těživec). U reaktoplastů lze použít práškový kov nebo cement. Pro zlepšení kluzných vlastností a zvýšení odolnosti proti otěru je možno kombinovat částice bronzu (vyztužující materiál) s částicemi grafitu, sulfidu molybdenu, nebo polytetrafluorethylenu (zlepšující kluzné vlastnosti). Hořlavé polymery s velkým podílem anorganických částic mají sníženou hořlavost.

Částice sférického tvaru by neměly být příliš velké, aby příliš nezmenšovaly pevnost polymeru. Pro zvýšení tuhosti se obvykle používají sférické částice s rozměry 1 až 10mm,

kteře jsou považovány za „velké“ částice (vápenec, skleněné kuličky, duté skleněné kuličky). Částice jehlicovitého tvaru, nebo destičkovitého tvaru, tzv. acikulární částice mohou polymerní matici nejenom vyztužovat, ale také významně zpevňovat, jsou to tzv. aktivní částice (mastek, kaolín, slída). Poměr největšího rozměru částice k minimálnímu rozměru (u částic ve tvaru destičky je to tloušťka) udává aspektivní (štíhlostní) poměr. Největšímu aspektivnímu poměru mají krátká vlákna (afektivní poměr je dán poměrem délky ku průměru) a vláknové monokrystaly – whiskery. [8]

Nanokompozity na polymerní bázi jsou termoplasty vyztužené částicemi jílu, které mají destičkovitý tvar a plošné rozměry (délku a šířku) v nm. Destičkovité „nanočástice“ jílu jsou používány například do fólií pro potraviny, protože vzhledem ke své velikosti nezhoršují průhlednost, ale působí jako bariéra proti pronikání kyslíku. Ve fólii jsou orientovány svými plochami rovnoběžně s povrchem. Nanokompozity začínají být používány i pro plastové součásti automobilů, které byly dosud vyztužovány minerálními acikulárními částicemi mikrometrických rozměrů. [8]

2.4.1.2 S kovovou nebo keramickou maticí

Přítomnost velmi malých tvrdých částic (s rozměry menšími než 0,1mm) v kovové matici vede k významnému zvýšení tvrdosti, meze kluzu a pevnosti. Technologii práškové metalurgie je tak vyráběn disperzně zpevněný hliník, který je označen SAP, ve kterém velmi malé částice Al_2O_3 (hmotnostní podíl do 14%) účinně brzdí pohyb dislokací. Vyrábí se smícháním prášků Al a Al_2O_3 , lisováním směsi a jejím slinováním (spékáním). Hliník je možno zpevňovat také částicemi oxidu zirkonia (Zr_2O), nebo karbidu křemíku (SiC). Významnou skupinu disperzně zpevněných kovů jsou žárovečné slitiny niklu a wolframu s částicemi ThO_2 nebo Y_2O_3 . Disperze oxidů se využívá také v materiálech pro topné odpory, kontakty v elektronice a pro povlaky palivových článků v jaderných reaktorech. Zpevňující účinek částic se zachovává i při vyšších teplotách a disperzně zpevněné kovy tak mají zvýšenou odolnost proti tečení. [8]

Jestliže se velikost částic v kovové matici pohybuje v rozmezí 0,5 až 100 nm, jde o částicový kompozit s kovovou maticí. Pro vyztužení a zpevnění jsou vhodné pouze synteticky připravované keramické částice (oxidy, karbidy, nitridy). Nejčastěji jsou používány částice SiC, jejichž objemový podíl může být větší než při použití whiskerů SiC, které více zhoršují tekutost směsi. Pro kompozity s keramickými maticemi jsou vhodné pouze aciku-

lární částice, které tvrdou, křehkou a málo pevnou keramickou matici zpevňují. Nejvhodnější je ovšem výztuž v podobě vláken (kovová, nebo keramická vlákna a whiskery). [8]

2.4.2 Vláknové kompozity

Při dělení vycházíme jednak z materiálu vláken, jednak z materiálu matrice. Vlákna mohou být:

- skleněná,
- uhlíková,
- polymerní,
- keramická,
- kovová.

Matrice může být:

- polymerní,
- kovová,
- keramická,
- uhlíková,
- skleněná,
- sklokeramická.

Pevnost vláken roste se zmenšujícím se průřezem, protože přirozené defekty se také zmenšují. Většina vyráběných vláken má kruhový průřez o průměru od 5 do 20 μm . U vláken s krystalickou strukturou lze experimentálně zjistit, že nejpevnější atomové vazby jsou přednostně orientovány v podélném směru vlákna.

Tahová pevnost vlákna závisí také na jeho délce. Části vzniklé porušením vlákna mají větší pevnost než původní vlákno, protože k lomu vlákna došlo v místě největšího defektu. Elementární vlákna jsou sdružena do pramenů a ty do pramenců. U českých výrobců se tento termín nazývá roving („rovingové tkaniny“). Počet „konců“ znamená z kolika pramenů je roving vyroben. Zákruty (zkroucení pramenů) zlepšují soudržnost rovingů pro textilní zpracování, tj. při výrobě tkanin a pro jiné účely (filtrační tkaniny, nosné vložky asfaltových pásů, tepelně izolační tkaniny), ale pro kompozity jsou vhodné pouze rovingy s nulovým, nebo malým počtem zákrutů, aby bylo co nejlépe využito pevnosti a tuhosti vláken. [8]

Všechna vlákna lze obdržet též jako krátká vlákna, vyrobená sekáním pramenů a rovingů, u sklovin zvláknováním proudem vzduchu a všechna křehká vlákna lze také zkrátit mletím.

Vláknové monokrystaly, tzv. whiskery, mají příčný rozměr (nemají kruhový průřez) okolo 0,1 mm, délku až 10^2 mm a jsou velmi pevné (pevnost v tahu až 14 GPa). Vzhledem k malým příčným rozměrům a vysoké pevnosti jsou ohebné, takže při přípravě kompozitu mechanickým míšením s práškovou kovovou, nebo keramickou maticí nejsou lámány. Polymerní matrice se nevyztužují kovovými, nebo keramickými vlákny nejen z cenových důvodů, ale také, protože tato vlákna mají větší hustotu a zmenšovala by měrnou pevnost a měrný modul kompozitu. Pro kovové a keramické matrice zase nelze použít vlákna s malou tepelnou odolností. Rozlišujeme proto:

- vlákna pro polymerní matrice (skleněná, uhlíková a polymerní),
- vlákna pro kovové a keramické matrice (uhlíková, kovová a keramická).

Vláknová výztuž může být v matici orientována jednoose (jednosměrně), dvouose, víceose v rovině, prostorově (třidimenzionální výztuž) a nahodile v rovině. Také krátká (diskontinuální) vlákna a whiskery mohou být orientována přednostně nebo nahodile. [8]

2.5 Nedestruktivní metody kontroly kompozitů

V kompozitních materiálech se vyskytuje více defektů než v konvekčních materiálech. Při kontrole kvality kompozitního dílu je vedle destruktivních zkoušek (tahová, tlaková zkouška, zkouška smyku, zkouška mezilaminární smykové pevnosti, rázové a únavové zkoušky, stanovení porozity a podílu výztuže) využíváno i různých nedestruktivních metod. Na kompozity polymerními a keramickými maticemi ovšem nelze použít magnetické a elektromagnetické metody. Problémem je použití radiografických metod u kompozitů s polymerní maticí a uhlíkovými vlákny, protože absorpční vlastnosti matrice a vláken jsou podobné. [8]

O složitosti nedestruktivní kontroly svědčí výčet možných defektů (např. nesprávná orientace vláken ve vrstvě, delaminace volných okrajů, nespojené vrstvy, nevytvrzená pryskyřice, trhliny matrice, porušená vlákna, místa s přebytkem pryskyřice, místa aglomerace vláken, dutiny a mikropóry v matici, puchýře, propadliny, uvolnění vláken od matrice, oblasti poškozené nárazem předmětu).

K nedestruktivním zkouškám patří (v závorce jsou uvedeny rozeznatelné typy defektů):

- vizuální pozorování (vnější delaminace, povrchové trhliny a dutiny, puchýře),
- hranolové repliky pro světelný mikroskop (trhliny matrice),
- kapilární metody (dutiny a trhliny vycházející na povrch, problémem je odstranění detekční kapaliny při opravách),

- ultrazvuk (vnitřní delaminace, velké vnitřní dutiny),
- ultrazvuková tomografie (vnitřní delaminace, velké vnitřní dutiny),
- radiografie (místa s přebytkem pryskyřice, aglomerace vláken, velké vnitřní dutiny),
- RTG počítačová tomografie (špatná orientace vrstev, vnitřní delaminace),
- vibrační měření (uvolnění vláken od matrice),
- holografická interferometrie (nesprávná orientace vrstev, vnitřní delaminace, velké vnitřní dutiny),
- termografie (místa s přebytkem matrice, nebo vláken, vměstky),
- vibrační termografie (snímá vznik trhlin v matrici, uvolnění vláken od matrice a poruchy vláken při zatížení),
- akustická emise (snímá vznik trhlin v matrici, porucha vláken při zatížení),
- akusticko-ultrazvuková metoda (porozita, nedostatečně vytvrzená matrice, uvolnění vláken od matrice, místa s přebytkem matrice).

Nedestruktivní metody lze rozdělit na metody aplikovatelné pouze na menší díly, které se zkouší v laboratorním prostředí, a na metody přenosné. Například ultrazvuková metoda používající sondu s laminárním výtokem vody (médiu zaručující přenos vlnění ze sondy do kompozitu) a vibrační metoda využívající skutečnost, že rezonanční kmitočty dílu s vadou a dílu bezvadného se liší, jsou metody aplikovatelné i na velké objekty. Stupeň vytvrzení matice velkých dílů lze měřit přenosným tvrdoměrem dle Barcolla. Velkým problémem je kontrola kvality lepených spojů. Například špatná kvalita spojení kompozitních potahů a voštin u sendvičových konstrukcí je nedestruktivními zkouškami neodhalitelná.

[8]

3 KONSTRUKCE ČELISTÍ

3.1 Upínací zařízení

Z hlediska odlišnosti tvaru zkušebních vzorků se vyrábí různé druhy upínacích zařízení ke zkoušce tahem. Pro upnutí zkušebního vzorku můžeme použít hydraulického, pneumatického, šroubového, klínového nebo klešťového upnutí. Jestliže použijeme pneumatického, nebo hydraulického upnutí, upínací síla je během celého testu konstantní, protože stlačená kapalina či vzduch vytváří stále stejný tlak. Při použití šroubového spojení se upínací síla vlivem zvětšení tahové síly zmenšuje. Zmenšení upínací síly závisí na pružnosti a tuhosti zkušebního vzorku. V případě klešťových a klínových upínacích zařízení je upnutí provedeno samočinně. Upínací síla se postupně zvětšuje se zvětšujícím působením tahové síly. [10]

3.2 Šroubovací čelisti

Šroubovací čelisti se zavírají manuálně. Jsou obzvláště vhodné pro zkoušení za menších sil (od 20 N do 50 kN) a pro testování tenčích vzorků, jako je např. tkanina, dráty, vlákna, fólie. [10]

Vlastnosti šroubovacích čelistí:

- svěrací síla je závislá na utažení,
- šroubovací čelisti se velmi snadno obsluhují,
- lze je doširoka otevřít, a tím nabízí flexibilní možnosti použití,
- jsou velmi dobře přístupné,
- jsou vhodné pro použití v teplotních komorách. [10]

3.3 Různé druhy upínacích čelistí

Na následujících obrázcích jsou příklady konstrukcí čelistí pro tahovou zkoušku textilních, flexibilních materiálů od různých firem.

Čelisti Roller grips od firmy Zwick

Použití: textilie (pásky), fólie, plasty, elastomery.

Uchopovací síla je zajišťována samoupínáním pomocí vícenásobných smyček, kdy je vlákno obtočeno kolem dokola a zajištěno. Přesná deformace se provádí měřením za použití optického extenzometru. [10]

- Maximální rozsah měřené síly 2,5 kN do 250 kN.
- Vzorky se dají snadno vložit do upínacího prostoru, který se vyznačuje dobrou přední přístupností (max. upínací šířka 220 mm) 220 mm).
- Vhodné pro zkoušky v teplotní komoře (teplotní rozsah -70 až 250 ° C). [10]



Obr. 16: Čelisti Roller grips [10]

Čelisti Webbing Grips od firmy Instron

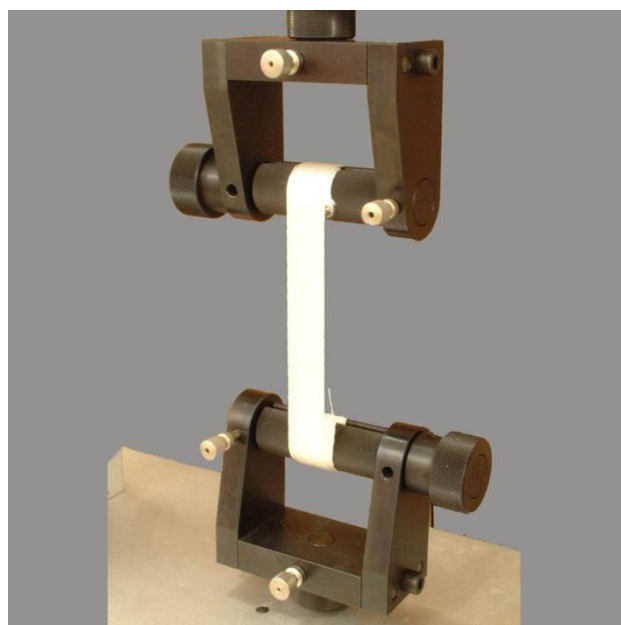
Tyto čelisti jsou vhodné pro testování bezpečnostních pásů a dalších textilních pásů a pásků. [11]



Obr. 17: Čelisti Webbing grips [11]

Čelisti Tensile testing of textile materials od firmy TestRecources

Čelisti jsou vhodné pro testování tkanin, bavln, vláken. [12]



Obr. 18: Čelisti Tensile testing[12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJ

V laboratořích UTB máme k dispozici univerzální zkušební stroj Zwick 145 665 pro který v praktické části navrhuji čelisti pro tahovou zkoušku tkanin. Tento stroj se používá pro testování tahem, tlakem a ohybem různých materiálů (kompozitů, textilií, plastů aj.).

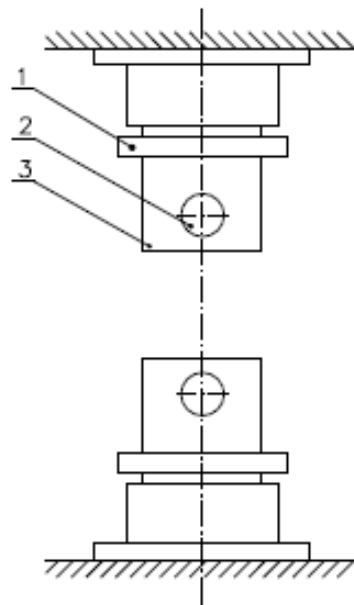


Obr. 19: Univerzální zkušební stroj Zwick [13]

4.1 Technické údaje stroje Zwick 145 665

- maximální zkušební síla 20kN
- celková výška 2012mm
- celková šířka 630mm
- strojová výška 1284mm
- šířka pracovního prostoru 420mm
- hmotnost 150kg

4.2 Upínací zařízení stroje



Obr. 20: Upínací zařízení stroje [13]

- 1 Utahovací matice
- 2 Otvor pro pojistný kolík
- 3 Spojovací čep

5 NÁVRH UPÍNACÍCH ČELISTÍ

Princip funkce:

Při tahové zkoušce se zkušební vzorek tkaniny upne mezi pohyblivou a pevnou upínací čelist zkušebního stroje. S plynule vzrůstající zatěžující silou se čelisti od sebe oddalují a dochází tak k natahování vzorku. Vlastnosti zkoušené tkaniny jsou pak vyhodnocovány jako závislost síly na prodloužení.

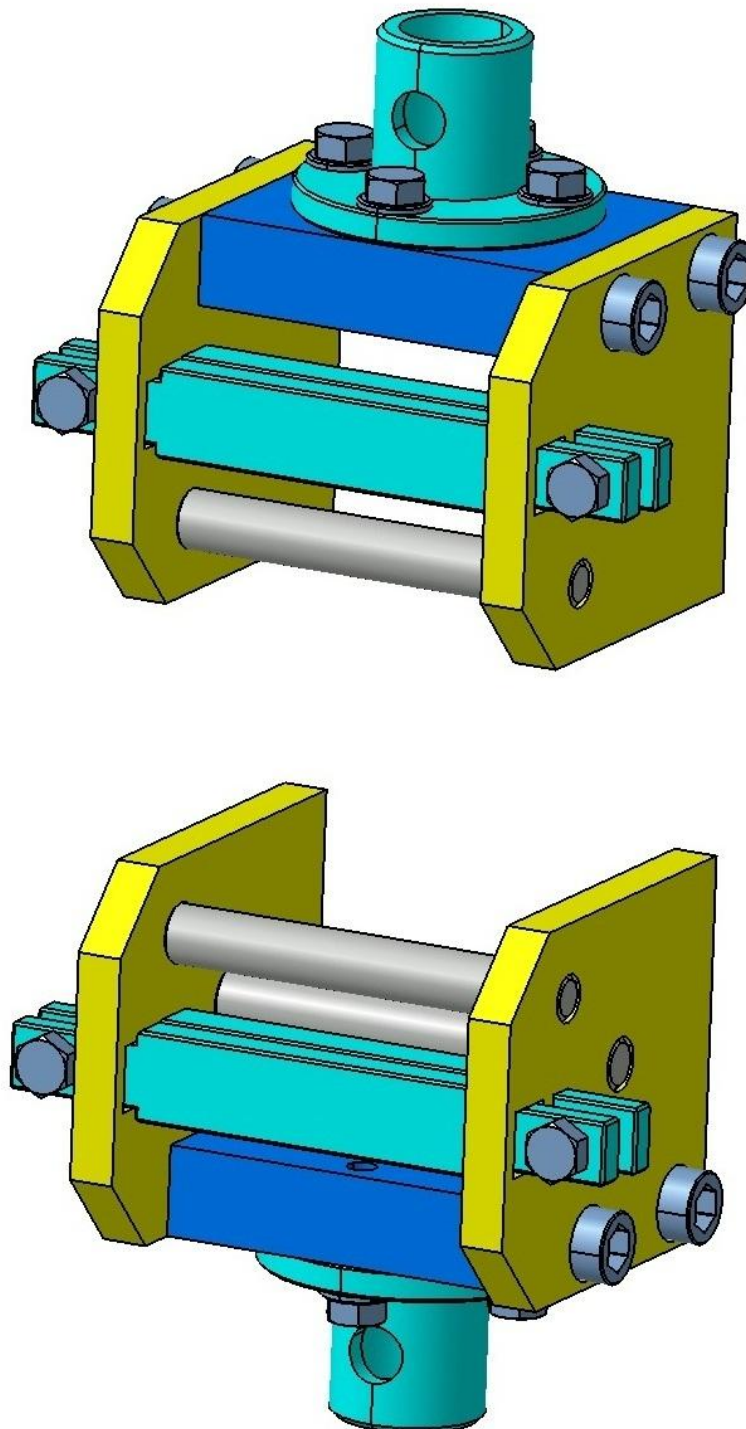
Konstrukční řešení:

Upínací čelisti byly navrženy tak, aby byly možné vyrobit s co nejmenšími náklady, zároveň aby měly snadnou konstrukci a zkušební vzorky se jednoduše ale pevně upínaly.

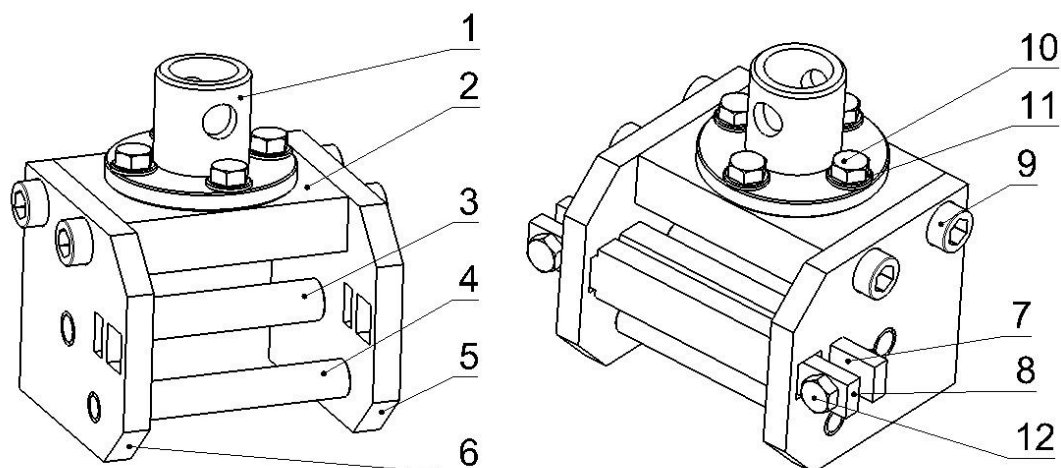
Při návrhu upínacích čelistí jsem se inspiroval u firmy Zwick.

5.1 Návrh čelistí

Veškerá mnou zpracovaná schémata jsou vytvořena v programu Catia V5R18.



Obr. 21: 3D schéma čelistí [13]



Obr. 22: Popis konstrukce čelistí [13]

Soupis jednotlivých dílů:

- 1 upínací příruba
- 2 rozpěrná deska
- 3 hlavní hřídel
- 4 vedlejší hřídel
- 5 pravá deska
- 6 levá deska
- 7 upínací čelist pevná
- 8 upínací čelist posuvná
- 9 šroub M16 s válcovou hlavou
- 10 šroub M12 upínací příruby
- 11 podložka 12
- 12 šroub M12 upínací čelisti

Upínací příruba (pozice 1) je pomocí šroubů (pozice 10) přišroubována k rozpěrné desce (pozice 2). K rozpěrné desce jsou dále přišroubovány pomocí šroubů s válcovou hlavou (pozice 9) levá a pravá deska (pozice 5 a 6). Dále jsou v levé a pravé desce vyvrtány dva otvory, do kterých se vloží hlavní a vedlejší hřídel (pozice 3 a 4) a zároveň jsou v nich vyfrézovány 2 drážky, do kterých přijdou upínací čelisti, tj. posuvná a pevná (pozice 7 a 8).

Upínací síla se vyvodí pomocí dvou šroubů (pozice 12), které jsou umístěny v upínací čelisti posuvné a při zašroubování posouvají posuvnou čelist k pevné čelisti až do doby, kdy dojde k úplnému utažení. Tato konstrukce poskytuje velmi jednoduchou a účinnou metodu pro držení zkušebních vzorků v širokém rozsahu šířek až 120 mm.

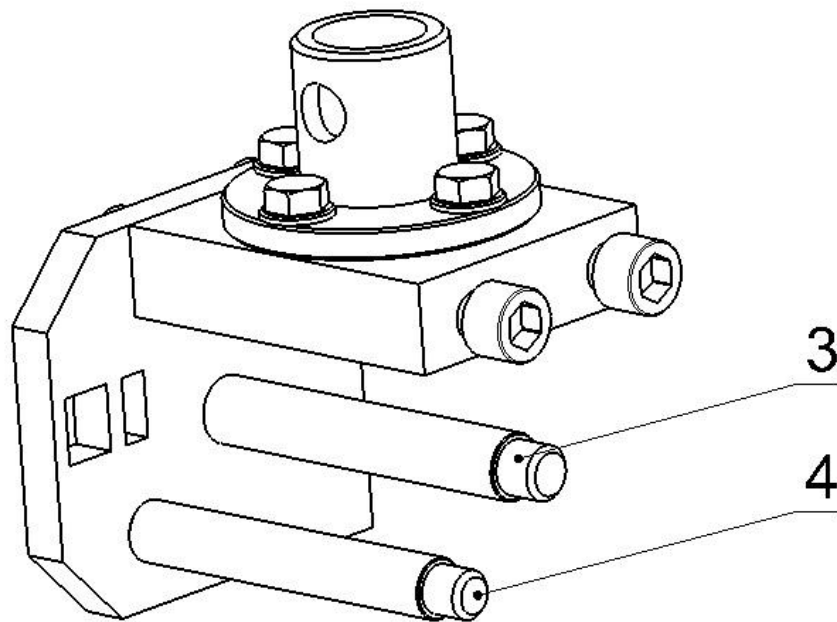
Upevnění čelistí ke stroji je zabezpečeno spojovacím čepem, který je zajištěn pomocí pojistného kolíku k upínací přírubě.

Jednotlivé části čelistí budou vyrobeny z oceli typu 11 500, která se nejvíce používá pro strojní součásti namáhané staticky a dynamicky.

Důležité na konstrukci je, aby natahování zkušebního materiálu bylo v ose upínacího ústrojí stroje.

Výrobní výkresy jednotlivých částí upínacích čelistí a sestava čelistí jsou uvedeny v příloze bakalářské práce.

Výpočet kontroly hřídele na střih



Obr. 23: Kontrola na střih [13]

1. Kontrola na střih pro hlavní hřídel (pozice 3).

Velikost síly $F = 20000 \text{ N}$

Materiál hřídele 11500 $\rightarrow \tau_{DS} = 85\text{-}125 \text{ MPa}$

Průměr hřídele $d = 18 \text{ mm}$

$$\tau_S = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (16)$$

$$\tau_S = \frac{20000}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 18^2}{4}} = 39,3 \text{ MPa} \quad (17)$$

$$\tau_S \leq \tau_{DS} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (18)$$

2. Kontrola na střiž pro vedlejší hřídel (pozice 4).

Velikost síly $F = 20000 \text{ N}$

Materiál hřídele 11500 $\rightarrow \tau_{DS} = 85\text{-}125 \text{ MPa}$

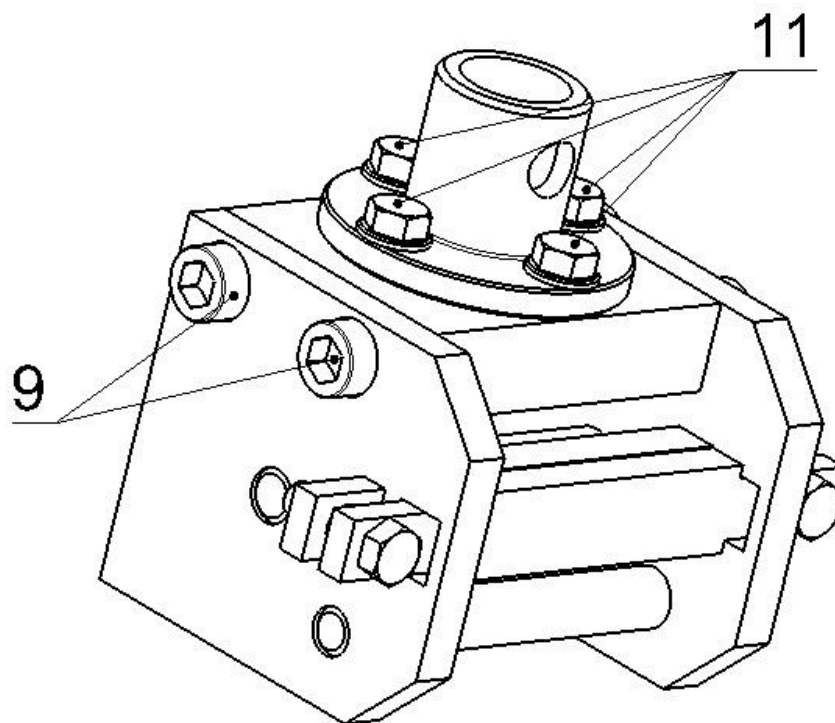
Průměr hřídele $d = 16 \text{ mm}$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (19)$$

$$\tau_s = \frac{20000}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4}} = 49,7 \text{ MPa} \quad (20)$$

$$\tau_s \leq \tau_{DS} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (21)$$

Výpočet kontroly šroubů na tah a střiž



Obr. 24: Kontrola na tah a střiž [13]

1. Kontrola na tah (pozice 11).

Velikost síly $F = 20000 \text{ N}$

Materiál šroubů 11500 $\rightarrow \sigma_{Dt} = 140\text{-}210 \text{ MPa}$

Počet šroubů 4

Velikost šroubů M12 $\rightarrow d_2 = 10,863 \text{ mm}, d_3 = 9,853 \text{ mm}$

$$\sigma_t = \frac{F}{4 \cdot S} = \frac{F}{4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2} \quad (22)$$

$$\sigma_t = \frac{20000}{4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{10,863 + 9,853}{2}\right)^2} = 59,3 \text{ MPa} \quad (23)$$

$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (24)$$

2. Kontrola na střih (pozice 9).

Velikost síly $F = 20000 \text{ N}$

Materiál šroubů 11500 $\rightarrow \tau_{Ds} = 85\text{-}125 \text{ MPa}$

Počet šroubů 4

Velikost šroubů M16 $\rightarrow d_3 = 13,546 \text{ mm}$

$$\tau_s = \frac{F}{4 \cdot S} = \frac{F}{4 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \quad (25)$$

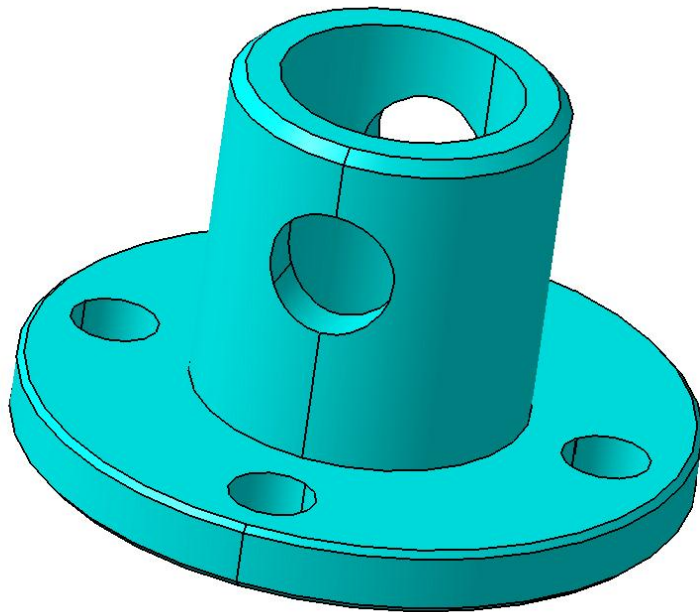
$$\tau_s = \frac{20000}{4 \cdot \frac{\pi \cdot 13,546^2}{4}} = 34,7 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$\tau_s \leq \tau_{Ds} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (27)$$

6 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÝCH ČELISTÍ

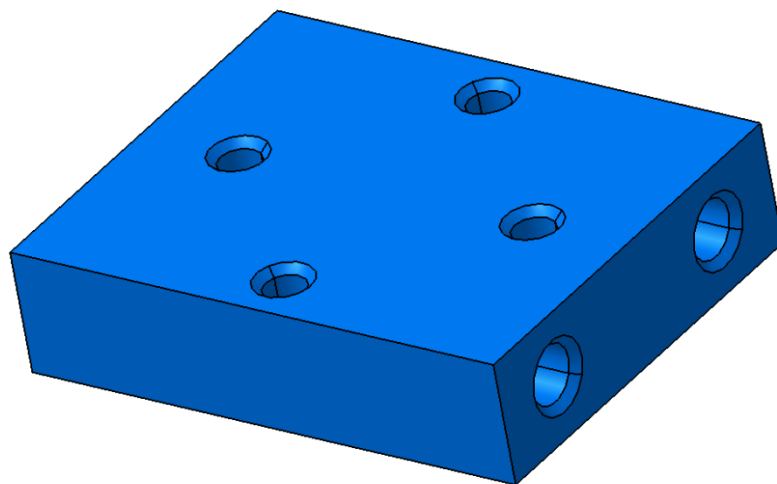
V následujících podkapitolách jsou uvedeny jednotlivé části upínacích čelistí. Jejich výkresy jsou přiloženy v přílohách bakalářské práce. Výkresy jsou zpracovány v programu Catia V5R18.

6.1 Upínací příruba



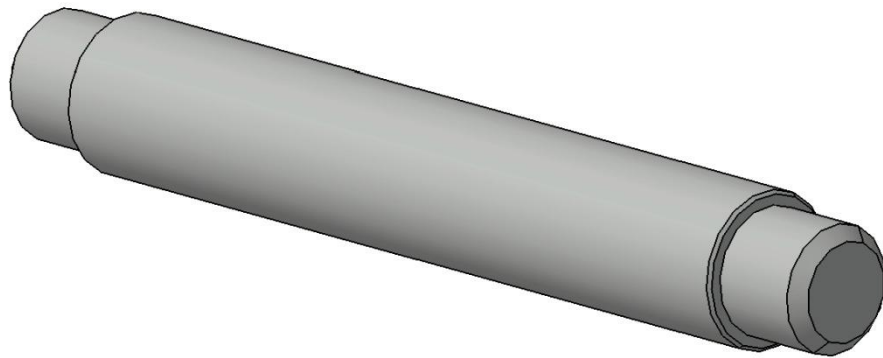
Obr. 25: 3D upínací příruba [13]

6.2 Rozpěrná deska



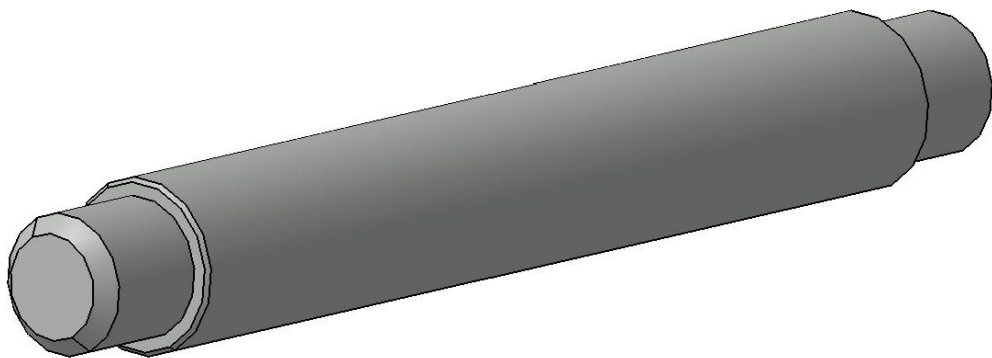
Obr. 26: 3D rozpěrná deska [13]

6.3 Hlavní hřídel



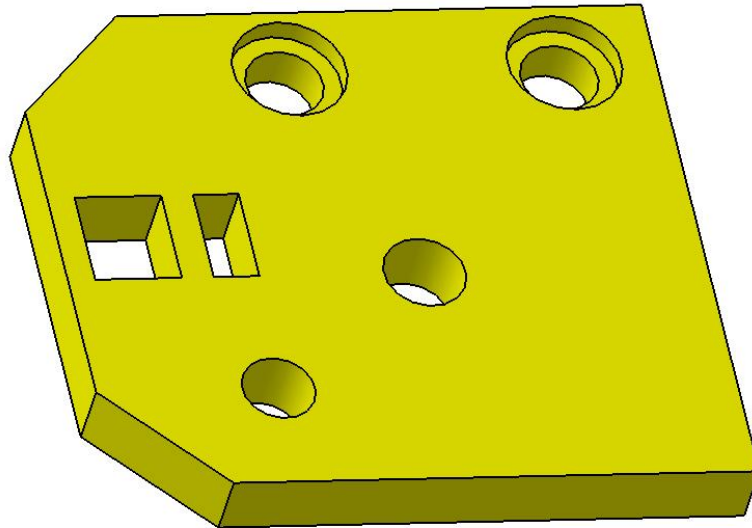
Obr. 27: 3D hlavní hřídel [13]

6.4 Vedlejší hřídel



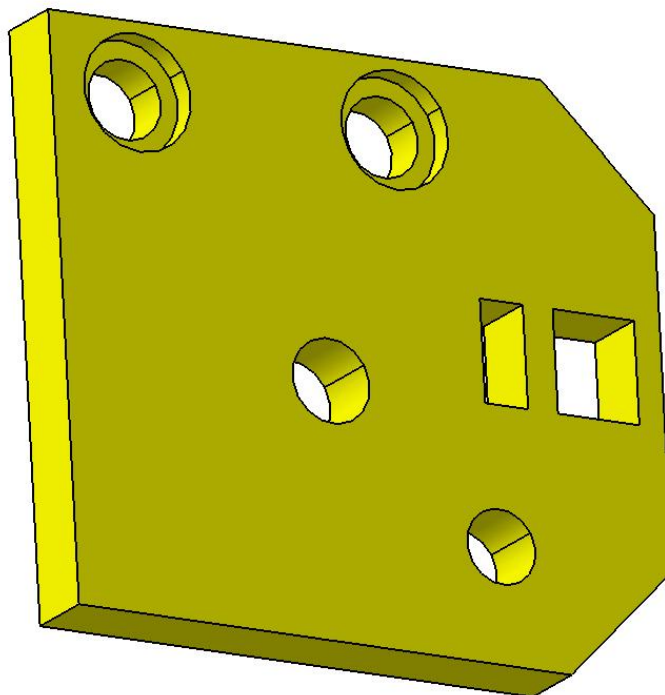
Obr. 28: 3D vedlejší hřídel [13]

6.5 Pravá deska



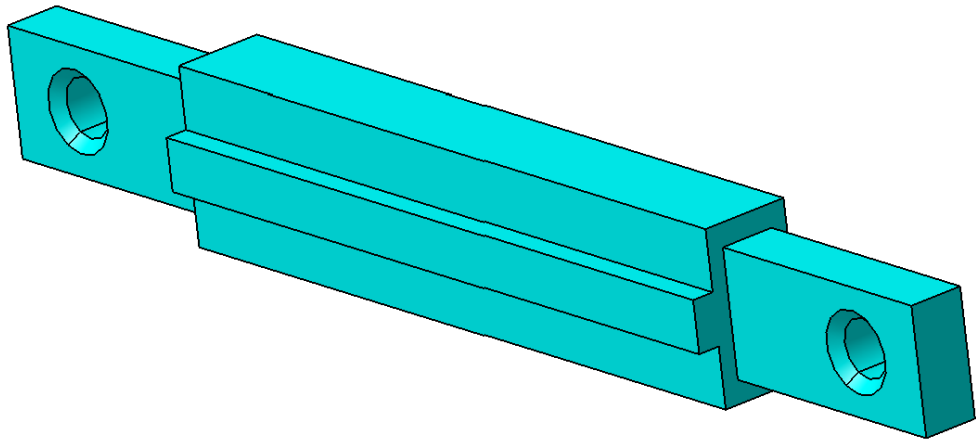
Obr. 29: 3D pravá deska [13]

6.6 Levá deska



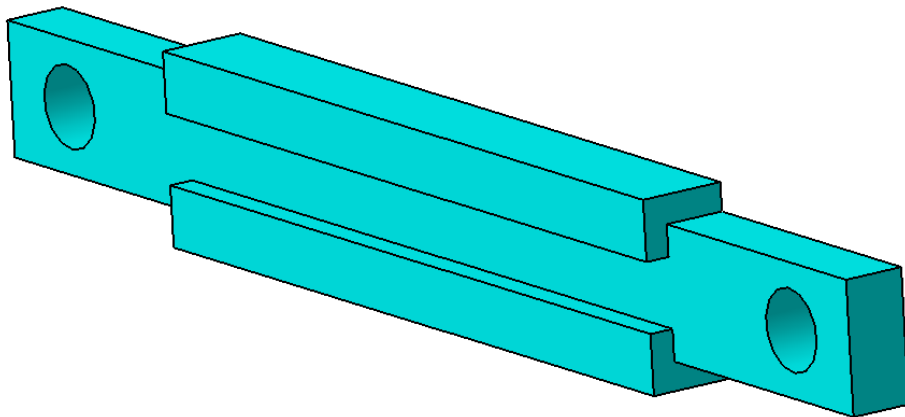
Obr. 30: 3D levá deska [13]

6.7 Upínací čelist pevná



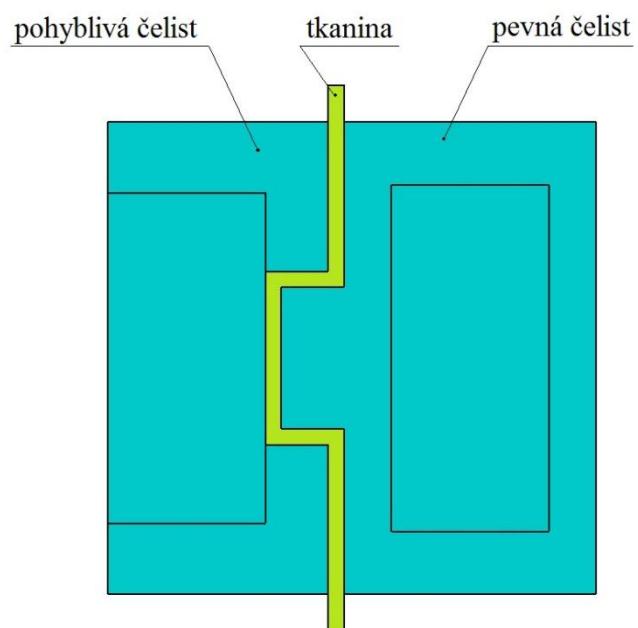
Obr. 31: 3D upínací čelist pevná [13]

6.8 Upínací čelist posuvná



Obr. 32: 3D upínací čelist posuvná [13]

6.9 Upnutí tkaniny



Obr. 33: Upnutí tkaniny [13]

ZÁVĚR

V teoretické části popisuji rozbor mechanických zkoušek jak statických, tak dynamických. Nejvíce jsem se zaměřil na statickou zkoušku tahem, protože v pozdější fázi bakalářské práce navrhuji upínací čelisti právě pro tahovou zkoušku. Součástí teoretické části bylo také zaměření na materiál kompozit, podstata, rozdělení, výztuže, nedestruktivní kontroly. Na závěr teoretické části jsem se zabýval konstrukcí čelistí od firmy Zwick, Instron a TestResources. Produkt Roller grip od firmy Zwick mi byl inspirací během vlastní konstrukce návrhu čelistí v praktické části bakalářské práce.

V praktické části nejdříve uvádím parametry stroje Zwick 145 665, pro který dle zadání bakalářské práce mám navrhnout upínací čelisti pro tahovou zkoušku tkanin. Návrh upínacích čelistí jsem provedl tak, aby byl jednoduchý a snadno vyrobitelný a konstrukce poskytovala jednoduché a zároveň účinné upnutí zkušebních vzorků. Tyto čelisti by se po svém zhotovení mohly stát přínosem pro výzkum zkoušek materiálů a pomoci při zpracovávání dalších bakalářských či diplomových prací.

Návrh a výkresovou dokumentaci upínacích čelistí jsem vypracoval v programu Catia V5R18, výkresová dokumentace je přiložena v příloze bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1. 3.*, přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002, 266 s. ISBN 80-7183-262-6.
- [2] SKÁLOVÁ, Jana, Rudolf KOVAŘÍK a Vladimír BENEDIKT. *Základní zkoušky kovových materiálů*. 4. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 175 s. ISBN 80-7043-417-1.
- [3] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 273 s. ISBN 8021403993.
- [4] KAŠTÁNEK, Otakar. *Strojírenské materiály a technologie*. 1. vyd. Brno: VUT, 1979, 308 s.
- [5] SKÁLOVÁ, Jana, Jaroslav KOUTSKÝ a Vladislav MOTYČKA. *Nauka o materiálech*. 4. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010, 232 s. ISBN 978-80-7043-244-0.
- [6] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [7] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [8] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 8072042483.
- [9] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003, 193 s. ISBN 8021424435.
- [10] *Special Grips for Tensile Tests* [online]. 2009 [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: <http://www.zwickusa.com/en/products/specimen-grips-and-test-fixtures/special-grips-for-tensile-tests.html>
- [11] *Instron : Materials Testing Machines for Tensile, Fatigue, Impact & Hardness Testing* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.instron.com/wa/acc_catalog/prod_list.aspx?cid=411&cname=Webbing%20Grips
- [12] *Tensile Testing of Textile Materials / TestResources* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.testresources.net/by-test-application/tensile-testing-equipment/tensile-testing-textile-materials/>

[13] *Vlastní zpracování*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

R	[MPa]	Normálové napětí
F	[N]	Zátěžná síla
S ₀	[mm ²]	Počáteční plocha původního průřezu
L	[mm]	Absolutní prodloužení
L _u	[mm]	Konečná délka
L ₀	[mm]	Počáteční měřená délka
ε	[-]	Poměrné prodloužení
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
R _u	[MPa]	Mez úměrnosti
R _E	[MPa]	Mez pružnosti
R _e	[MPa]	Mez kluzu
R _{eH}	[MPa]	Horní mez kluzu
R _{eL}	[MPa]	Dolní mez kluzu
R _m	[MPa]	Pevnost v tahu
A	[%]	Tažnost materiálu
Z	[%]	Kontrakce
F _{max}	[N]	Maximální zatěžující síla
ψ _t	[%]	Poměrné rozšíření
ε _t	[%]	Poměrné zkrácení
h ₀	[mm]	Počáteční výška
h	[mm]	Výška po zatížení
σ _{Dt}	[MPa]	Dovolené napětí v tahu
τ _S	[MPa]	Napětí ve stříhu
τ _{DS}	[MPa]	Dovolené napětí ve stříhu
K	[J]	Nárazová práce

M_k	[N/m]	Kroutící moment
M_o	[N/m]	Ohybový moment
τ_k	[MPa]	Napětí v krutu
ε_k	[%]	Poměrné zkroucení
φ	[°]	Úhel zkroucení
W_k	[m ³]	Modul průřezu v krutu
W_o	[m ³]	Modul průřezu v ohybu
σ_o	[MPa]	Pevnost v ohybu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Základní druhy namáhání [1]	12
Obr. 2: Univerzální zkušební stroj [1]	13
Obr. 3: Pracovní diagram pro tah [2]	15
Obr. 4: Příklady smluvních diagramů různých kovů a slitin [1]	17
Obr. 5: Pracovní diagram plastu „polyamid“ [1]	18
Obr. 6: Zkouška tlakem [4]	19
Obr. 7: Tlakový diagram křehkého a tvárného materiálu [2]	20
Obr. 8: Rozdíl v hodnotách pevnosti v tahu a tlaku pro měkkou a šedou litinu [2]	21
Obr. 9: Zkouška ohybem [1]	22
Obr. 10: Zkouška krutem [1]	23
Obr. 11: Zkouška stříhem [1]	23
Obr. 12: Porovnání pracovního diagramu při statické a dynamické zkoušce [3]	24
Obr. 13: Zkouška rázem v ohybu – Charpyho kyvadlové kladivo [1]	25
Obr. 14: Příklady kompozitů: a) částicový nahodilý; b) diskontinuální vlákna, jednosměrné; c) diskontinuální, nahodilé; d) kontinuální, jednosměrné [5]	26
Obr. 15: Viskozity termosetů a termoplastů při prosycování vyztužujících vláken [7]	29
Obr. 16: Čelisti Roller grips [10]	37
Obr. 17: Čelisti Webbing grips [11]	38
Obr. 18: Čelisti Tensile testing [12]	38
Obr. 19: Univerzální zkušební stroj Zwick [13]	40
Obr. 20: Upínací zařízení stroje [13]	41
Obr. 21: 3D schéma čelistí [13]	43
Obr. 22: Popis konstrukce čelistí [13]	44
Obr. 23: Kontrola na stříh [13]	46
Obr. 24: Kontrola na tah a stříh [13]	47
Obr. 25: 3D upínací příruba [13]	49
Obr. 26: 3D rozpěrná deska [13]	49
Obr. 27: 3D hlavní hřídel [13]	50
Obr. 28: 3D vedlejší hřídel [13]	50
Obr. 29: 3D pravá deska [13]	51
Obr. 30: 3D levá deska [13]	51
Obr. 31: 3D upínací čelist pevná [13]	52

Obr. 32: 3D upínací čelist posuvná [13]	52
Obr. 33: Upnutí tkaniny [13]	53

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy jsou uloženy na CD.

- | | |
|--------|---|
| P I | Sestava čelistí, číslo výkresu BP-01-000 |
| P II | Upínací příruba, číslo výkresu BP-01-001 |
| P III | Rozpěrná deska, číslo výkresu BP-01-002 |
| P IV | Hlavní hřídel, číslo výkresu BP-01-003 |
| P V | Vedlejší hřídel, číslo výkresu BP-01-004 |
| P VI | Pravá deska, číslo výkresu BP-01-005 |
| P VII | Levá deska, číslo výkresu BP-01-006 |
| P VIII | Upínací čelist pevná, číslo výkresu BP-01-007 |
| P IX | Upínací čelist posuvná, číslo výkresu BP-01-008 |