

Konstrukce přípravku pro teplotní zatěžování polymerních materiálů

Zdeněk Peška



Vložit oficiální zadání bakalářské práce

Úvodem děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Františku Rulíkovi CSc., za odborné vedení, rady a připomínky věnované mé bakalářské práci.

Také bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Šálkovi za poskytnuté rady při výrobě přípravku.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 06. 06. 2005

.....

podpis

RESUMÉ

Anotace česky

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout, konstrukčně zpracovat a vyrobit přípravek pro teplotní zatěžování polymerních materiálů. Přípravek byl navržen a nakreslen v programu AutoCAD 2002 a vyroben podle výkresové dokumentace jednotlivých dílců.

Po vyrobení byla ověřena funkčnost přípravku. Přípravek byl použit pro měření zatížení vzorku z houževnatého polystyrenu při zvolené změně teploty.

Anotace v anglickém jazyce

The main aim of this bachelor work was to design, construct and produce a device for temperature loading of polymer materials. This device was designed and drawn in the software AutoCAD 2002 and it was made after drawing documentation of separate parts.

The functional verification of this device was checked after producing. The device was used for load measurement of the sample from tenacious polystyrene during selected temperature change.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 Základní mechanické vlastnosti	7
1.1.1 Rozdělení zkoušek technických materiálů	8
1.1.2 Rozdělení deformací	9
1.1.3 Vliv teplotní roztažnosti na měření posunů a přetvoření	11
1.1.4 Mechanické vlastnosti materiálu za vyšších teplot	12
1.1.5 Zkouška ohybem.....	12
1.1.6 Plasty – stanovení ohybových vlastností.....	13
1.1.7 Teplotní pnutí , vliv teploty.....	15
1.2 Rozdělení látek.....	17
1.2.1 Plasty jako konstrukční materiály.....	18
1.2.2 Rozdělení plastů	18
1.2.3 Polystyren, houževnatý polystyren	19
1.3 Měření délek	20
1.3.1 Metody měření.....	20
1.3.2 Metody měření délkových rozměrů podle přesnosti	20
1.3.3 Měřicí přístroje s převodem mechanickým.....	21
2 PRAKTICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	23
2.1 Přípravek pro teplotní zatěžování.....	23
2.1.1 Schéma navrženého přípravku.....	23
2.1.2 Výkresová dokumentace	24
2.2 Použité přístroje a materiál	25
2.2.1 Pec Chirana	25
2.2.2 Číselníkový úchylkoměr	26
2.2.3 Materiál a rozměr vzorků.....	27
2.2.4 Volba podmínek ověřovacího měření	28
2.2.5 Návrh postupu ověřovacího měření	28
2.2.6 Naměřené hodnoty	29
2.3 Diskuse výsledků.....	30
2.3.1 Vyhodnocení naměřených hodnot	30
2.3.2 Vyhodnocení navrženého přípravku.....	31
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	34
SEZNAM OBRÁZKŮ	36
SEZNAM TABULEK.....	37
SEZNAM PŘÍLOH.....	38

ÚVOD

Dynamický rozvoj výroby a společenské změny probíhající v naší společnosti vyžadují stále širší znalosti v oblasti materiálů a jejich použití. Vysoké nároky na životnost technologických zařízení vedou k vývoji nových progresivních materiálů. Současná činnost člověka vyžaduje nové materiály s vysokou pevností a houževnatostí, se stále vyšší odolností vůči různým druhům opotřebení a agresivního prostředí.

Materiály využívané v konstrukci (konstrukční materiály) rozdělujeme do dvou základních skupin, které se výrazně liší svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi na materiály kovové (např. oceli) a nekovové (např. plasty).

Mechanické vlastnosti polymerních a kovových materiálů jsou charakterizovány podobnými veličinami. U polymerních materiálů je ale nutno počítat s daleko větší závislostí dosažených mechanických vlastností na teplotě, rychlosti deformace a na chemické povaze okolního prostředí (přítomnost vody, kyslíku, organických rozpouštědel, atd.).

Výhodné vlastnosti a aplikační výhody předurčují plasty, aby se uplatnily v mnohých oblastech jako náhrada kovových materiálů. Plasty jsou makromolekulární látky, které se dají formovat do požadovaného tvaru teplem nebo tlakem, nebo oběma činiteli současně.

V současné době pracuje velké množství polymerních materiálů za vyšší než pokojové teploty. Proto je nutné určovat jejich mechanické vlastnosti za zvýšených teplot.

1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Základní mechanické vlastnosti

Vlastnosti jsou takové stránky materiálních objektů, které člověk pozoruje a pomocí určitého experimentálního zařízení zkoumá z hlediska svých zájmů a potřeb.

Mechanické vlastnosti materiálů vyjadřují schopnost materiálu odolávat mechanickému namáhání. Základní mechanické vlastnosti vyjadřují obecné požadavky na kvalitu materiálu. Jsou měřeny klasicky definovanými charakteristikami (určitým způsobem definovanými mírami kvantitativní i kvalitativní stránky dané vlastnosti), které se určují na konvenčně definovaných vzorcích jednotných velikostí a tvarů.

Metody zjišťování základních mechanických vlastností jsou založeny na principu působení vnějších mechanických sil na zkušební těleso vyrobené ze zkoušeného materiálu. Cílem je stanovit číselnou hodnotu materiálové charakteristiky.

Reakce zkoušeného materiálu na působení vnějších sil je dána vzájemným působením čtyř základních faktorů (1):

- zatížením
- zkušebním tělesem
- materiálem zkušebního tělesa
- podmínkami zkoušky

Zatížení - je dáno definovanou vnější silou, která vyvolá v tělese stav napjatosti a působí na jednu nebo více ploch zkušebního tělesa.

Zkušební těleso - představuje tuhé těleso definovaného tvaru a rozměrů, které je dohodnutým způsobem vyrobené ze zkoušeného materiálu.

Materiál zkušebního tělesa - je definován chemickým složením a mikrostrukturou.

Podmínky zkoušky - jsou určeny teplotou zkoušky a dohodnutým zkušebním postupem vlastní zkoušky.

1.1.1 Rozdělení zkoušek technických materiálů

Zkoušky technických materiálů rozdělujeme (1):

= podle stavu napjatosti na zkoušky

- v jednoosém stavu napjatosti
- ve víceosém stavu napjatosti

= podle způsobu zatížení na zkoušky

- tahem, tlakem, ohybem, krutem, stříhem

= podle časového průběhu zatěžující síly působící na zkoušené těleso na zkoušky

- statické, dynamické, krátkodobé, dlouhodobé

= podle účinků zatížení na zkušební těleso na zkoušky

- *destruktivní*- při kterých se zkušební těleso deformuje nebo poruší,
- *nedestruktivní*- při kterých nedochází k trvalé změně tvaru, rozměrů, chemického složení, struktury apod.

= podle teploty při které probíhají na zkoušky

-za *normálních teplot*

Při těchto zkouškách je zatěžování za teploty cca 20°C.

-za *vysokých teplot*

Pro materiály, které chceme použít na součásti pracující za vyšších teplot, nemají hodnoty zjištěné za normální teploty prakticky žádnou cenu. Dělají se proto krátkodobé nebo dlouhodobé zkoušky mechanických vlastností materiálů za zvýšené teploty. Nejčastější takovou zkouškou je zkouška pevnosti v tahu, méně často v tlaku, ohybu, krutu a zkouška tvrdosti. Zkušební stroj musí být doplněn pískou udržující teplotu zkoušené tyče na žádané výši.

-za nízkých teplot

Chování materiálů za nízké teploty je opakem chování za teploty vysoké. Obecně pevnost vzrůstá, zmenšuje se však tažnost a houževnatost. Praktickou důležitost mají tyto zkoušky např. pro materiály vozidel, kde teplota okolí může klesat až na -50°C .

1.1.2 Rozdělení deformací

Pokud na těleso působí vnější síly, dochází k jeho deformaci, která se zpravidla projevuje změnou tvaru tělesa. Deformace lze rozdělit na dva druhy. Jednak to je deformace pružná (elastická), k této deformaci dochází tehdy, když těleso po odebrání zatěžující síly obnoví svůj původní tvar. Druhým typem je deformace trvalá (tvárná nebo plastická), ta trvá i po odstranění vnějších sil.

V deformovaném pevném tělese vznikají síly pružnosti F_p . (1). Je-li těleso zatíženo tahem nebo tlakem, je v rovnovážném stavu velikost síly pružnosti F_p rovna velikosti zatěžující síly F .

$$\sigma_n = \frac{F_p}{S} \text{ [N.m}^{-2}\text{]}, \text{ [Pa]} \quad (1)$$

V libovolném příčném řezu deformovaného tělesa vzniká stav napjatosti, který je charakterizován veličinou normálové napětí σ_n .

$$\sigma_n = \varepsilon \cdot E \text{ [N.m}^{-2}\text{]}, \text{ [Pa]} \quad (2)$$

Pro pružnou deformaci tahem (tlakem) platí Hookův zákon. Podle něj je normálové napětí σ_n přímo úměrné relativnímu prodloužení (zkrácení) ε . Konstanta úměrnosti je modul pružnosti v tahu (tlaku) E .

Na základě Hookova zákona lze pro celkové pružné prodloužení Δl napsat vztah

$$\Delta l = \frac{F_p l_1}{ES} [m] \quad (3)$$

kde l_1 je původní délka, S je původní průřez.

Pokud se začneme zajímat o změny rozměrů a objemu tělesa při změně teploty, mluvíme o teplotní roztažnosti.

Teplotní délková roztažnost popisuje změnu délky pevného tělesa v závislosti na jeho teplotě. Ta je charakterizována součinitelem teplotní délkové roztažnosti $\alpha [K^{-1}]$ v daném intervalu teplot Δt .

Délka l pevného tělesa je dána vztahem

$$l = l_1(1 + \alpha \Delta t) [m] \quad (4)$$

Pokud se zabýváme závislostí objemu daného tělesa na teplotě, jde o teplotní objemovou roztažnost. Ta je charakterizována součinitelem objemové roztažnosti β .

Objem V pevného tělesa při teplotě t je dán vztahem:

$$V = V_1(1 + \beta \Delta t) [m^3] \quad (5)$$

Přičemž pro izotropní tělesa je

$$\beta = 3\alpha \quad (6)$$

Izotropním těleso je takové těleso, jehož látkové vlastnosti jsou ve všech směrech uvnitř dané látky stejné.

1.1.3 Vliv teplotní roztažnosti na měření posunů a přetvoření

Hodnoty teplotních chyb se určují dosti obtížně. Jejich velikost závisí nejen na teplotě měřené konstrukce nebo její části, ale také na velikosti měřeného rozměru a na délkové roztažnosti materiálu. Zatímco délkový rozměr jsme schopni určit dostatečně přesně, při měření teploty se setkáváme s problémy. Změřením povrchové teploty konstrukce totiž nezískáme dostatečně přesnou informaci o její skutečné (vnitřní) teplotě, zejména má-li složitý tvar a není-li teplota prostředí konstantní. Určitým usnadněním problému je možnost použít v praxi tabulkové hodnoty teplotní roztažnosti, které se však od skutečných rovněž mohou značně lišit.

Zvyšuje-li se teplota tělesa při konstantním tlaku, dochází uvnitř krystalů k tomu, že se v důsledku rychlejšího pohybu atomů zvětšují maximální vzdálenosti a minimální se naopak zmenšují. Těleso zvětšuje svůj rozměr díky tomu, že při přibližování atomů vznikají odpuzovací síly, a to rychleji než síly přitažlivé vznikající při vzdalování atomů.

U většiny (technických) materiálů platí přibližně lineární závislost délky na teplotě, a to zejména v oblasti teplot, při kterých se provádí většina délkových měření. S klesající teplotou klesá i hodnota délkové roztažnosti. V blízkosti absolutní nuly má i roztažnost téměř nulovou hodnotu. S lineárním vztahem ovšem nevystačíme při velmi přesných měřeních a při velkém rozsahu teplot (řádově stovky °C). *Skutečná (pravá) délková (příp. objemová) roztažnost* se vztahuje k určité teplotě, kdežto *střední délková (objemová) roztažnost* platí pro určitý teplotní interval. Zpravidla se určuje pro intervaly od 20°C výše a v technické praxi je znalost této střední hodnoty naprosto dostačující. Součinitel teplotní roztažnosti je funkcí materiálů, hlavně teploty tavení těchto materiálů.

S dalšími problémy teplotní roztažnosti se setkáváme u anizotropních materiálů. Fyzikální vlastnosti, tedy i délková roztažnost, v nich závisí na směru, musí se tedy zjišťovat pro každý směr zvlášť. Jedním z výrazně anizotropních materiálů je například dřevo, kde je příčná roztažnost asi desetkrát větší než podélná.

1.1.4 Mechanické vlastnosti materiálu za vyšších teplot

Při dlouhodobém zatěžování kovových materiálů za vysokých teplot není deformace nezávislá na čase a proto nelze posuzovat jejich vlastnosti podle krátkodobých zkoušek za tepla. Dochází k tzv. tečení (Creep), to znamená, že se materiál při dané teplotě deformuje, i když zatížení zůstává konstantní.

Součástky pracující za zvýšené teploty lze tedy zatížit mnohem menší silou, přitom musíme počítat se zvýšenou deformací.

Tak jako u ocelí i u plastů je pevnost funkcí pracovní teploty. Na teplotě závisí i modul pružnosti plastů. V porovnání s kovy je teplotní závislost mnohem výraznější.

1.1.5 Zkouška ohybem

Statická zkouška ohybem je důležitá zejména u křehkých materiálů (např. u šedé litiny). Pro tvárné materiály má malý význam, neboť zkušební 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. V technické praxi často dochází k zatěžování nosníků ohybovým momentem. Při vyšetřování ohybového namáhání je důležitá znalost geometrických charakteristik průřezu tzv. kvadratických momentů ploch a určení materiálových charakteristik (2).

Napětí v ohybu se určuje ze vztahu

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} \text{ [MPa]} \quad (7)$$

kde W_o je modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{I}{x} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (8)$$

I – moment setrvačnosti průřezu k ose jdoucí těžištěm [mm⁴]

x – vzdálenost krajních vláken od těžištní osy [mm]

a $M_{o\max}$ je největší ohybový moment (viz kap. 1.1.6) [Nmm]

U křehkých materiálů se zjišťuje kromě pevnosti ohybu také průhyb tyče v okamžiku lomu, který lze považovat za míru deformační schopnosti zkoušeného materiálu. Účinkem ohybání materiálu vznikne ohybové napětí, které bude mít charakter tahového napětí v horních vláknech průřezu a tlakové napětí v dolních vláknech průřezu. Obě napětí mají své maximální hodnoty v krajních vláknech. Směrem k těžišti průřezu napětí ubývá. V těžištní ose je nulové. Tu se také mění tahová napětí na tlakové a proto se nazývá neutrální osou.

1.1.6 Plasty – stanovení ohybových vlastností

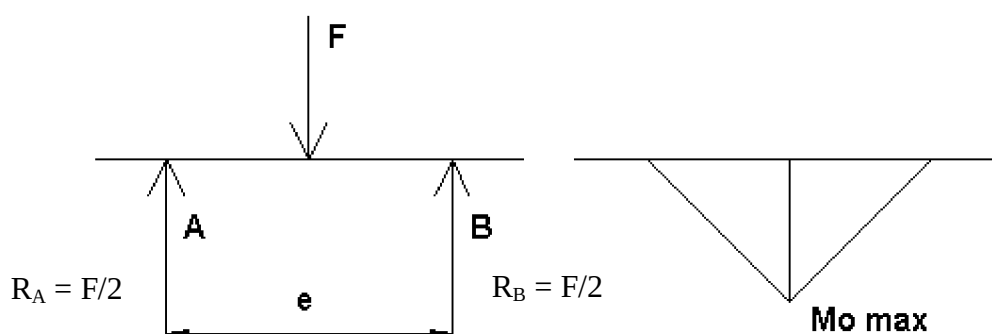
Norma (6) uvádí metodu pro stanovení ohybových vlastností plastů za definovaných podmínek. Je definováno zkušební těleso, ale tam kde je to vhodné, lze volit alternativní rozměry těles. Podstata zkoušky spočívá v zatěžování tělesa volně podepřeného dvěma podpěrami přítláčným trnem uprostřed jejich rozpětí tzv. třibodová zkouška ohybem (Obr. 1.).

Tato metoda je vhodná pro následující materiály:

-vstřikované a vytlačované termoplasty včetně plněných a vyztužených termoplastů, tuhé termoplastové desky

-lisovací reaktoplasty včetně plněných a vyztužených , reaktoplastové desky včetně laminátů.

Schéma tříbodové zkoušky ohybem – zatěžující síla F působí uprostřed mezi podporami A, B.



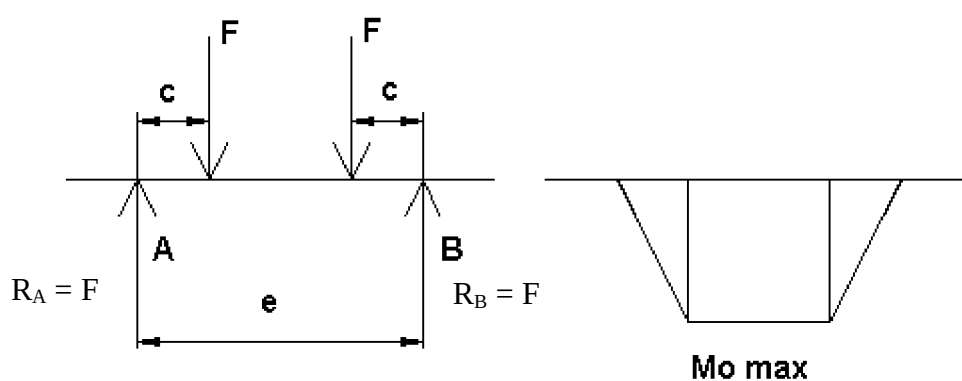
Obr.1. Schéma tříbodové ohybové zkoušky a průběh M_o

$$M_{o \max} = \frac{F \cdot e}{4} \text{ [N.mm]} \quad (9)$$

F je zatěžující síla, e je vzdálenost podpěr

U určitých typů vláken vyztužených plastů se dává přednost zkoušce čtyřbodovým ohybem (Obr. 2.).

Schéma čtyřbodové zkoušky ohybem – dvě zatěžující síly F působí mezi podporami A, B.

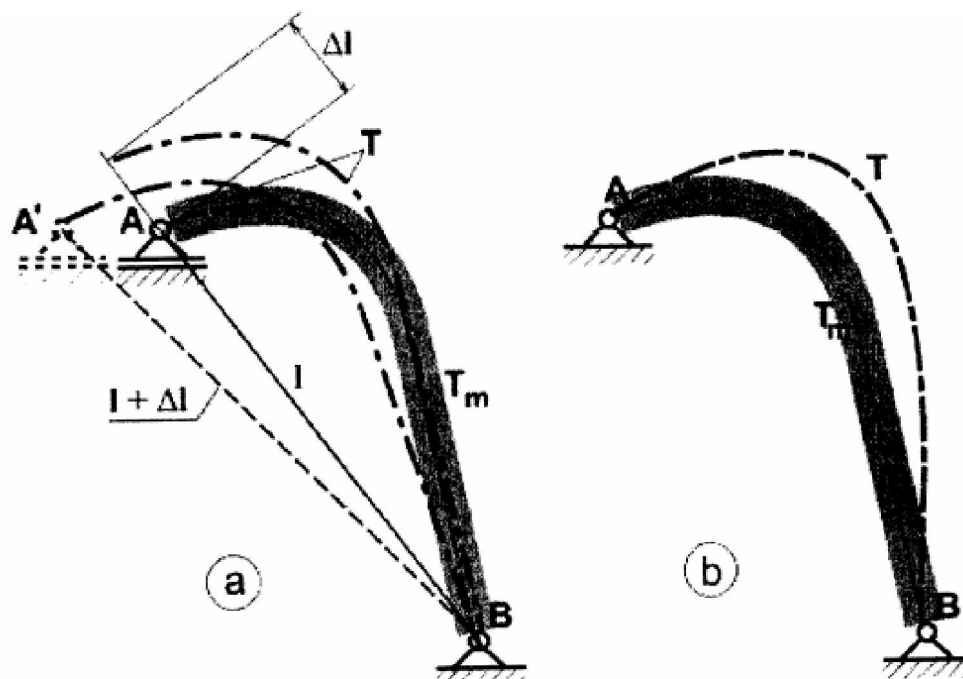


Obr. 2. Schéma čtyřbodové ohybové zkoušky a průběh M_o

$$M_{o \max} = F \cdot c \text{ [N.mm]} \quad (10)$$

1.1.7 Teplotní pnutí , vliv teploty

Homogenní a izotropní těleso uložené staticky určitě (Obr. 3a.) může při ohřevu nebo ochlazení volně dilatovat. Je-li např. vzdálenost mezi kotevními body A, B před



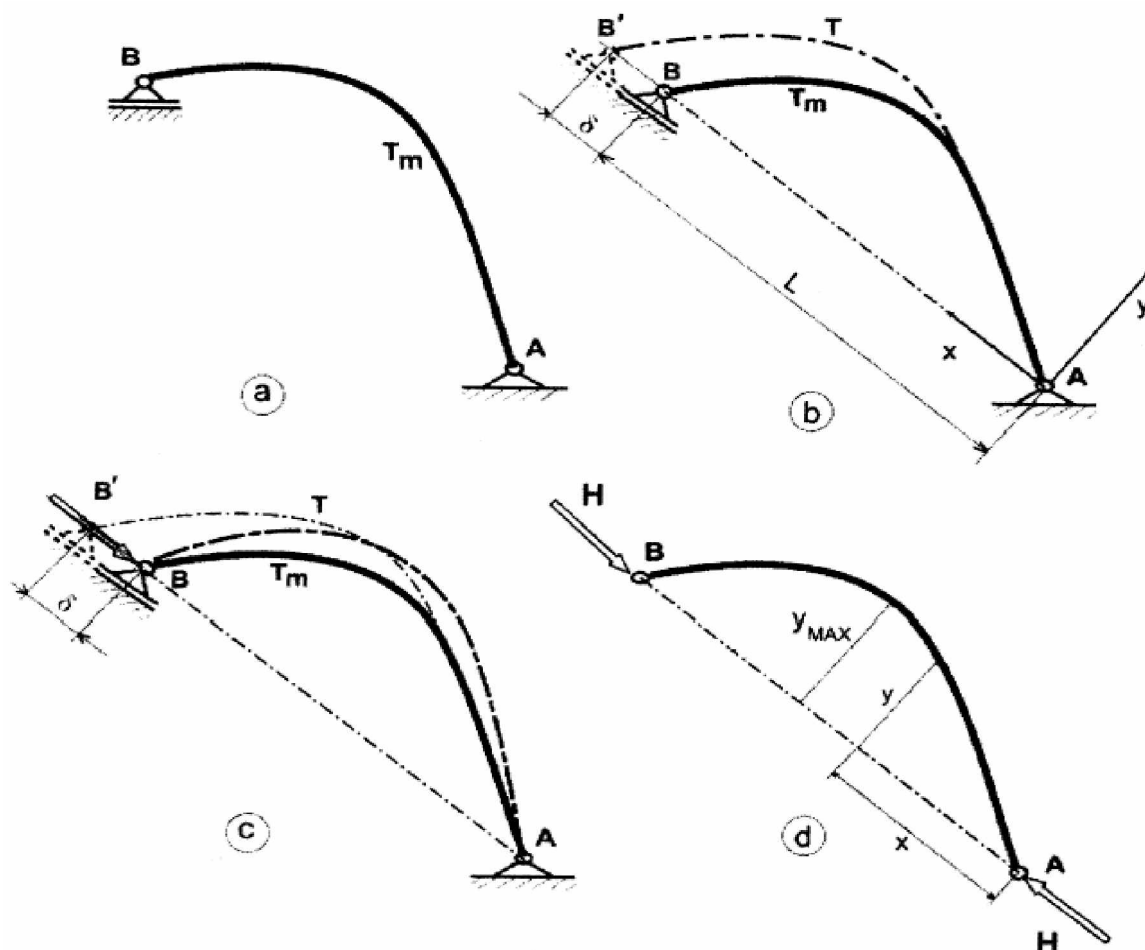
Obr. 3. Ohřev prutu

ohřevem rovna l , po ohřevu se zvětší o $\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l$, kde ΔT je rozdíl teplot mezi výchozí („montážní“) a konečnou („provozní“) teplotou tělesa. Vazba v bodě A umožní volnou teplotní dilataci, takže při ohřevu resp. ochlazení v homogenním a izotropním tělese nevzniká teplotní napjatost. Pokud bychom stejné těleso uchytili staticky neurčitě – např. tak, že prosté podepření v bodě A nahradíme kloubovým uchycením (obr. 3b.), nemůže se teplotní dilatace tělesa volně realizovat – vzdálenost bodů A, B zůstává stejná. V tělese vzniká určité, tzv. teplotní pnutí. O povaze pnutí si učiníme snadno představu tak, že myšleně u tělesa (obr. 3a.) vrátíme bod $\bar{A}$ do původní polohy A. To by se samozřejmě neobešlo bez silového působení a tedy vzniku napjatosti (3)

Nechť je při montážní teplotě prut bez napětí (obr. 4a.). Přejít na myšlenou staticky určitou soustavu lze pouze tak, že jedno z kloubových uložení nahradíme prostým podepřením. Učiníme tak např. v bodě B. Vazbu uvolníme do směru x , tj. do směru

spojnice kloubů A, B (obr. 4b.). Jestliže se nyní prut ohřeje ΔT , posune se koncový bod prutu do místa B'. Velikost posunutí je zřejmě $\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_x$.

Posuv Δl ve skutečnosti nemůže nastat. K jeho eliminaci musí v místě B působit síla H, jejíž velikost je dána podmínkou (obr. 4c.).



Obr. 4. Dvoukloubově uchycený prut

$$\frac{\partial A}{\partial H} = \Delta l \quad (11)$$

neboť síla H způsobí myšleně posuv koncového bodu z místa B' do místa B.

Na dané těleso nepůsobí vyjma reakcí v uložení žádné vnější síly. Rovnováha při dvoukloubovém uchycení je tak možná pouze dvěma silami H shodné velikosti, opačné orientace, které leží na společné nositelce a procházejí oběma klouby (Obr. 4d.). Protože jsme v bodě B neuvolnili obecně, ale do směru spojnice podpor, je síla H jedinou silou v podpoře a nemusíme již zjišťovat další složky.

Ohybový moment v obecném místě y je zřejmě $M(y) = H \cdot y$, takže po dosazení

$$\frac{1}{2EJ} \frac{\partial}{\partial H} \int_A^B H^2 y^2 ds = \alpha \Delta T l_x$$

$$H = \frac{EJ\alpha\Delta T l_x}{J_s} [N] \quad (12)$$

Integrál $J_s = \int_A^B y^2 \cdot ds$ je kvadratický moment křivky - střednice prutu ke spojnici podpor.

Největší ohybový moment bude zřejmě $M_{\max} = H \cdot y_{\max}$.

Plocha mezi střednicí prutu a spojnici podpor je zřejmě momentová plocha v měřítku síly H . Z výsledného vztahu (12) vyplývá, že zvýšením hodnoty kvadratického momentu J_s , tj. zvýšením klenutí osy prutu nad spojnici podpor se sice snižuje velikost reakce H (a tedy zatížení kotevních míst), v důsledku zvýšení $y_{\max}$ se však výrazněji nesníží namáhání, tj. velikost max. ohybového momentu.

1.2 Rozdělení látek

Pevné látky lze rozdělit na dvě skupiny, na látky krystalické a látky amorfnní. Krystalické látky jsou charakterizovány pravidelným uspořádáním částic do prostorové geometrické mřížky, které tak vytváří krystalickou mřížku. Zrna, drobné krystalky, jsou základem polokrystalů, mezi které patří většina krystalických látek. Krystalické látky se mohou vyskytovat také jako monokrystaly. Ty mohou být přírodní, jako například křemen a sůl, nebo umělé jako monokrystaly z různých kovů (Cu, Pb, Zn), polovodičů (Ge, Si) či umělých drahokamů (safír, rubín)(4).

Amorfnní látky se naopak vyznačují krátkodosahovým uspořádáním částic, kdy s rostoucí vzdáleností se pravidelnost uspořádání částic porušuje. Mezi takové látky patří například vosk, pryskyřice, plasty, asfalt.

Některé polymery jako jsou například bílkoviny, celofán, kůže, bavlna, dřevo tvoří zvláštní skupinu organických pevných látek.

1.2.1 Plasty jako konstrukční materiály

Plasty jsou makromolekulární látky, které se dají formovat do požadovaného tvaru teplem nebo tlakem nebo oběma součiniteli současně. Podstatnou složkou jsou makromolekulární organické sloučeniny přírodního nebo syntetického původu, tvořené atomy uhlíku a vodíku, k nimž přistupují atomy kyslíku, dusíku, chloru, fluoru, případně dalších prvků. Další důležitou složkou jsou tzv. příměsy, které často označujeme přímo účelem, za kterým se do makromolekulárních látek přidávají (např. plniva, změkčovadla, stabilizátory, maziva) (2).

Přírodní makromolekulární látky s nízkomolekulárními sloučeninami se vážou chemickými reakcemi (modifikace) částmi svých molekul na řetězce makromolekulárních látek a tím se mění jejich původní strukturní stavba. K těmto modifikovaným přírodním látkám patří především deriváty celulózy a přírodního kaučuku.

Syntetické makromolekulární látky vznikají z nízkomolekulárních sloučenin zvaných monomery polyreakcemi (polymerace, polykondenzace, polyadice).

Výchozími látkami pro přípravu polymerů jsou zpravidla jednoduché nízkomolekulární sloučeniny zvané monomery.

1.2.2 Rozdělení plastů

Termoplasty - plastické hmoty, které při vystavení teplotě měknou (stávají se těstovité) a ochlazením tuhnou. Termoplasty mohou podle teploty zaujímat pevný elastický (hmota je tuhá a dělí se obráběním), termoelastický (hmota je lehce tvárnitelná – ohýbání, tažení) nebo termoplastický (hmota je viskózní a může se protlačovat nebo vstřikovat) stav.(4)

Příklady některých termoplastů: Polystyren PS, Polyethylen PE, Polyvinylchlorid PVC, Polypropylen PP, Polymetmetakrylat PMMA.

Reaktoplasty - plastické hmoty, které po prvním zpracování nejsou dále tepelně zpracovatelné. Reaktoplastické hmoty jsou materiály na bázi umělých pryskyřic (fenoformaldehydová, melaminová, močovinná a epoxidová), které slouží jako pojivo a mísí se spolu s plnivem (kamenný a dřevěný prášek, papír, skleněná vlákna) a dalšími přísadami (tvrdidla, maziva, barviva). Reaktoplasty se vytvrzují působením tepla a přidáním tvrdidla.

Elastomery – plastické hmoty vyznačující se vysokou elasticitou, mohou se roztahovat a vracet do původního stavu.

Zvláštní skupinu tvoří **pěnové hmoty** - vznikají zpěněním plastické hmoty průchodem malých plynových bublin. Používají se nejčastěji jako izolační hmoty.

1.2.3 Polystyren, houževnatý polystyren

Jednou z nejvíce rozšířených plastických hmot je **Polystyren - PS**.

Polystyren - PS patří do skupiny běžných termoplastů, kde patří např. polyethylen, polypropylen a polyvinylchlorid. PS vykazuje speciální vlastnosti, proto ho lze používat v neobyčejně širokém rozmezí aplikací. Houževnatý PS se liší od standardního PS vyšší rázovou a vrubovou houževnatostí a tažností. Houževnatý polystyren HPS je velmi používán, protože se lehce zpracovává, je levný a má vysokou životnost. Vzniká přeměnou vstřikovací hmoty, která se poté protlačuje a tvaruje za tepla (7).

Zpracování houževnatého PS lze provádět téměř všemi postupy jako u normálního PS (vstřikováním, vytlačováním a tvarováním). Nelze z něj připravovat vlákna a tenké folie vyfukováním. S rostoucím obsahem elastomeru se rozšiřuje oblast měknutí, a proto je potřeba použít při zpracování vyšších teplot a tlaku.

Pokud jde o závislost mechanických vlastností na teplotě, platí podobné závislosti jako u normálního PS. Se stoupajícím obsahem elastomeru klesá pevnost v tahu, odolnost za tepla, stoupá tažnost, rázová a vrubová houževnatost.

Vlastnosti HPS: $E=2000 \text{ MPa}$, $\sigma= 20 \text{ MPa}$, $\rho = 1,050 \text{ g/cm}^3$, rázová houževnatost

$40\text{-}80 \text{ kJ/m}^2$ (běžný PS 20 kJ/m^2), použitelný do teplot $80 \text{ }^\circ\text{C}$, střední koeficient délkové teplotní roztažnosti $8 \cdot 10^{-5} - 10 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, měrná tepelná vodivost $0,16 - 0,18 \text{ W/m.K}$.

Rozměry vyráběných desek (mm):

Standartně: 1000×2000 , 1200×2000 , $1500 \times 2000 \text{ mm}$

Na objednávku: 1250×2050 , $1500 \times 3000 \text{ mm}$

Použití HPS: Používá se pro balení, výrobu nádob a hrnků na jedno použití, spotřební elektroniku, holící strojky, audio a video kazety, TV skřínky, chladicí vložky, počítačové kryty a hračky. HPS se také používá v automobilovém průmyslu smícháním pryskyřice a polyfenyl oxidu.

1.3 Měření délek

1.3.1 Metody měření

- Přímé - měřenou hodnotu získáme přímo bez nějakých závislých veličin.
- Nepřímé - musíme změřit funkčně závislou veličinu s měřenou a převést na požadovanou.
- Komparační - velikost měřené hodnoty se nezíská, ale porovná se, jestli je v mezích tolerance (musí se srovnávat s veličinou stejného druhu).

1.3.2 Metody měření délkových rozměrů podle přesnosti

K měření s přesností $0,01 \text{ mm}$ lze použít digitální posuvná měřítka nebo mikrometrické měřicí přístroje, jež se zahrnují mezi přístroje měřící danou veličinu absolutně, tj. tak, že údaj stupnice ukazuje přímo skutečnou hodnotu měřené veličiny (přímá měření). Dále používáme úchylkoměrů a různých přístrojů s pákovými nebo

pružinovými mechanismy, jež se zahrnují mezi měřicí přístroje porovnávací (komparační), tj. takové, které udávají na stupnici pouze rozdíl naměřené veličiny od určité předem nastavené hodnoty (5).

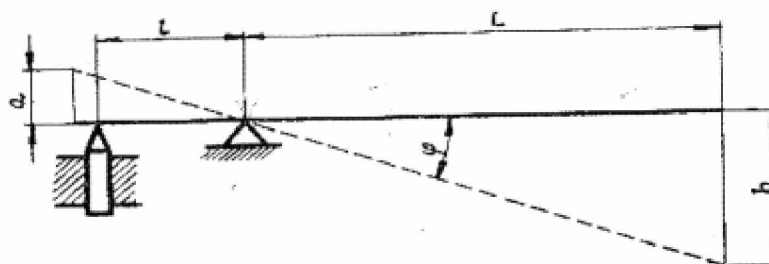
1.3.3 Měřicí přístroje s převodem mechanickým

Tyto přístroje můžeme rozdělit podle použitého převodu na přístroje s převodem pákovým, pružinovým, ozubenými koly nebo s převodem kombinovaným.

a) *Přístroje s pákovým převodem*

Měřicí hlavice těchto přístrojů jsou založeny na principu dvouramenné páky (obr. 5.). Velké rameno ukazuje ve zvětšeném měřítku na stupnici pohyb měřicího dotyku. Poměr velkého ramene L k malému rameni l_p nazýváme převodovým číslem přístroje nebo prostě zvětšením. Zdvihne-li se v důsledku změny měřeného rozměru měřicí dotyk na rameni páky l o hodnotu a , vykloní se delší rameno L_p o hodnotu b . Jestliže neodčítáme hodnotu vychýlení na kruhové stupnici, dopouštíme se určité chyby, a to tím větší, čím větší je úhel odklonu φ .

Na pákovém principu je založeno mnoho přístrojů. Jejich výhodou je jednoduchost, konstrukce, obvykle nízká cena a poměrně rychlé a snadné měření. U měřidel s pákovým převodem jsou otočné body vytvořeny buď válcovými čípky, kterými s ohledem na průměr čípku nedosáhneme převod větší než $1 : 30$, nebo pomocí břitového uložení, jež umožňuje převod $1 : 100$ nebo i $1 : 1000$. Přístroje založené na tomto principu se nazývají minimetry.



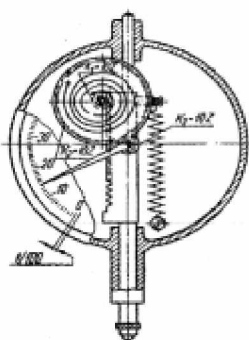
Obr.5. Princip pákového převodu

b) *Přístroje s převodem pružinovým*

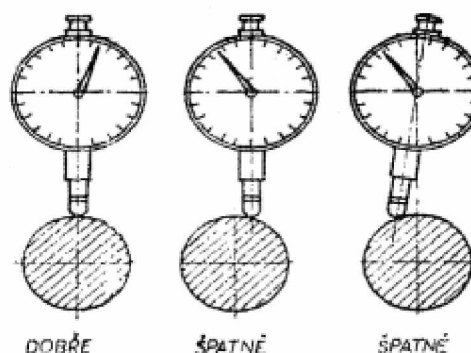
Tyto přístroje jsou založeny na deformaci pružin. Rozměry se určí tak, že se měří deformace pružiny, která nastane stlačením způsobeným odchylkou měřené součásti. Velmi používaným přístrojem zvláště pro svoji vysokou přesnost je mikrokátor .

c) *Přístroje s převodem ozubenými koly*

Hlavním představitelem této skupiny jsou číselníkové úchylkoměry (Obr. 6.), běžně známé pod názvem indikátorové hodinky, jimiž zjišťujeme úchyly při měření s přesností 0,01 nebo i 0,001 mm. Číselníkové úchylkoměry se vyrábějí v různých konstrukčních provedeních, buď se stavitelnou ručičkou, nebo se stavitelným číselníkem, aby se daly snadno ustavit do nulové polohy. Pro různá měření se používá snadno vyměnitelných dotyků kuželových, kulových, jehlových, plochých apod.



Obr.6. Číselníkový úchylkoměr



Obr.7. Chyby při měření úchylkoměrem

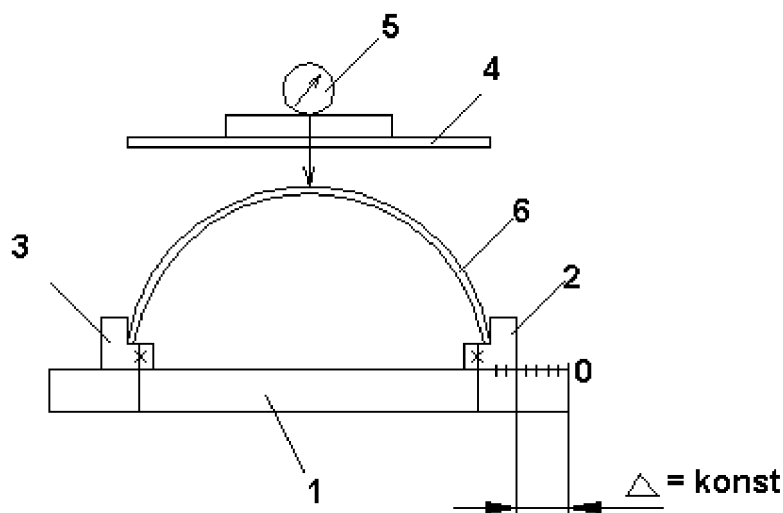
2 PRAKTICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Přípravek pro teplotní zatěžování

2.1.1 Schéma navrženého přípravku

Při teplotním zatěžování se budeme zabývat měřením průhybu vzorků z polymerního materiálu pro dva způsoby zatížení:

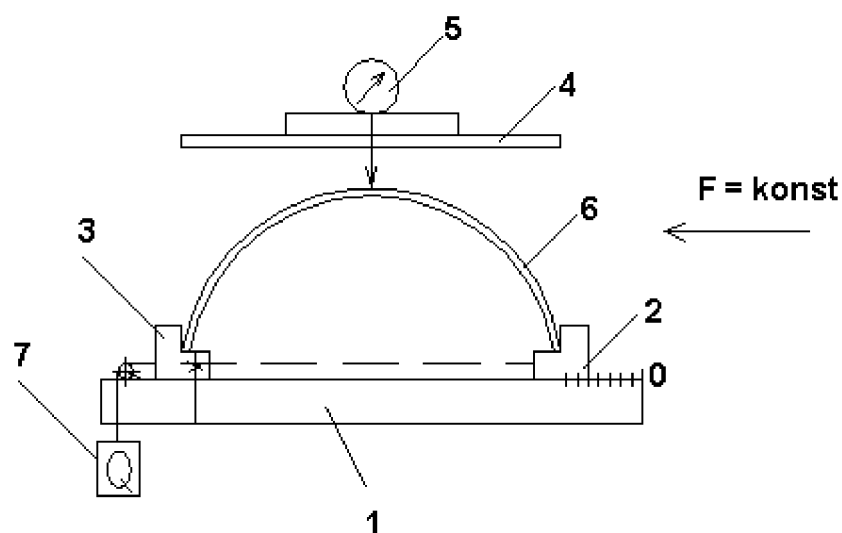
a) měření zatížení vzorku při konstantní deformaci – tzn. vzdálenost čelistí přípravku bude nastavena na požadovanou hodnotu a v průběhu změny teploty se nebude tato vzdálenost měnit ($\Delta = \text{konst.}$) (Obr. 8.).



Obr. 8. Schéma přípravku při konstantní deformaci

- 1 základní rám
- 2 stavitelná čelist (pevně zajištěna)
- 3 pevná čelist
- 4 rám měření
- 5 číselníkový úchylkoměr
- 6 zatěžovaný polymerní materiál

b) měření zatížení vzorku při konstantní zatěžující síle ($F = \text{konst.}$) – pohyblivá čelist přípravku se volně posouvá a její silové působení na vzorek je dáno konstantní hmotností zatěžujícího závaží (Obr. 9.).



Obr. 9. Schéma přípravku při konstantní síle

- 1 základní rám
- 2 pohyblivá čelist (volně posuvná)
- 3 pevná čelist
- 4 rám měření
- 5 číselníkový úchylkoměr
- 6 zatěžovaný polymerní materiál
- 7 zatěžující závaží

2.1.2 Výkresová dokumentace

Výkresová dokumentace byla navržena a nakreslena v programu AutoCAD 2002, podle které byly vyrobeny jednotlivé části přípravku.

Přípravek byl navržen tak, aby pro oba prezentované způsoby zatížení bylo možno použít stejných součástí. Přípravek se jen přestaví, za použití doplňků jako například kolíku pro zajištění čelisti, lanka se zvoleným závažím pro vyvolání konstantní zatěžující síly.

Seznam výrobních výkresů nenormalizovaných součástí viz seznam příloh. Při sestavení přípravku bylo použito i normalizovaných součástí, které byly zakoupeny. Jejich rozměry a počet viz kusovníky na výkresech sestav.

2.2 Použité přístroje a materiál

2.2.1 Pec Chirana

Pro teplotní zatěžování byla použita pec Chirana Typ STE 39/4 (Obr.10), která je k dispozici v laboratořích ÚVI.

Technické parametry:

Napájení	220 V	50Hz
Hmotnost	106kg	
Vnější rozměry (ŠxVxH)	900 x 770 x 480 mm	
Vnitřní rozměry (ŠxVxH)	510 x 450 x 340 mm	
Rozsah teplot	0 – 250 °C	

Kalibrovacím měřením bylo zjištěno, že spínání pece je při teplotě 50 °C v rozmezí $\pm 1^\circ\text{C}$.



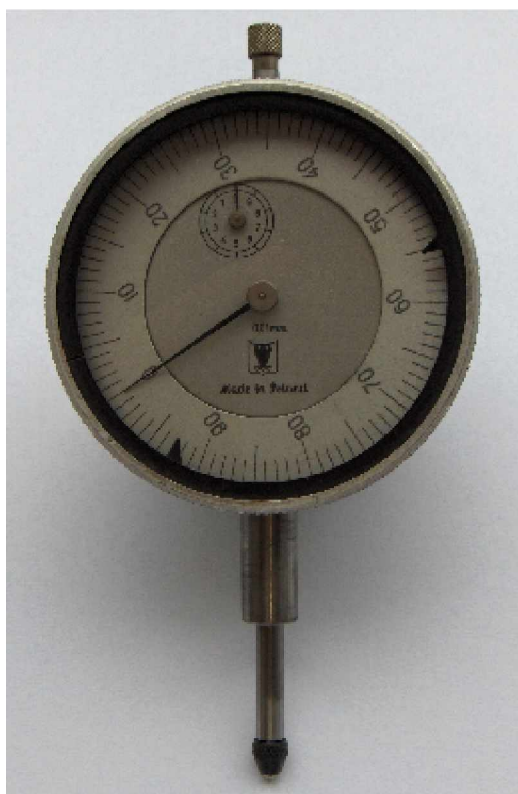
Obr. 10. Pec s přípravkem

2.2.2 Číselníkový úchylkoměr

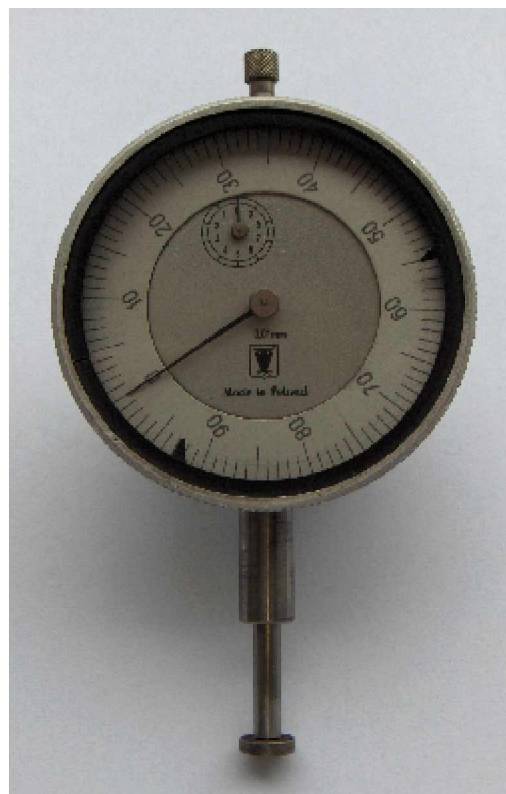
Pro měření deformace závislé na teplotě byl použit číselníkový úchylkoměr s měřícím rozsahem 0 – 10 mm s numerickým krokem 0,01 mm. Použitý číselníkový úchylkoměr má otočný číselník, přestavitelné toleranční značky, výměnné doteky se závitem M 2,5 (8).

Při měření byl použit číselníkový úchylkoměr s plochým dotykem $\varnothing 8\text{mm}$ (Obr.12), z důvodů lepšího rozložení tlaku na vzorek. Tlak vyvolaný pružinou umístěnou v číselníkovém úchylkoměru byl pro naše potřeby měření považován za zanedbatelný.

Váha použitého číselníkového úchylkoměru je 0,30 kg.



Obr.11. Číselníkový úchylkoměr
s kuželovým dotykem



Obr.12. Číselníkový úchylkoměr
s plochým dotykem

2.2.3 Materiál a rozměr vzorků

Pro ověřování funkčnosti přípravku byl za materiál zvolen HPS (houževnatý polystyren), protože vykazuje pro nás vhodné vlastnosti a lze ho používat v neobvykle širokém rozsahu aplikací.

K praktickému ověření funkčnosti přípravku byly navrženy rozměry:

1. 150 x 40 x 4
2. 150 x 50 x 1
3. 250 x 50 x 2
4. 300 x 70 x 2
5. 300 x 50 x 4

Vzorky byly vyřezány z odpadního materiálu získaného z firmy BALLPROPAG.

Jak je z konstrukčního uspořádání zřejmé lze navržený přípravek použít na široký rozsah rozměrů vzorků a také pro různé druhy polymerních materiálů. Pro další práci byl na základě odzkoušení vybrán rozměr 150 x 40 x 4 mm.

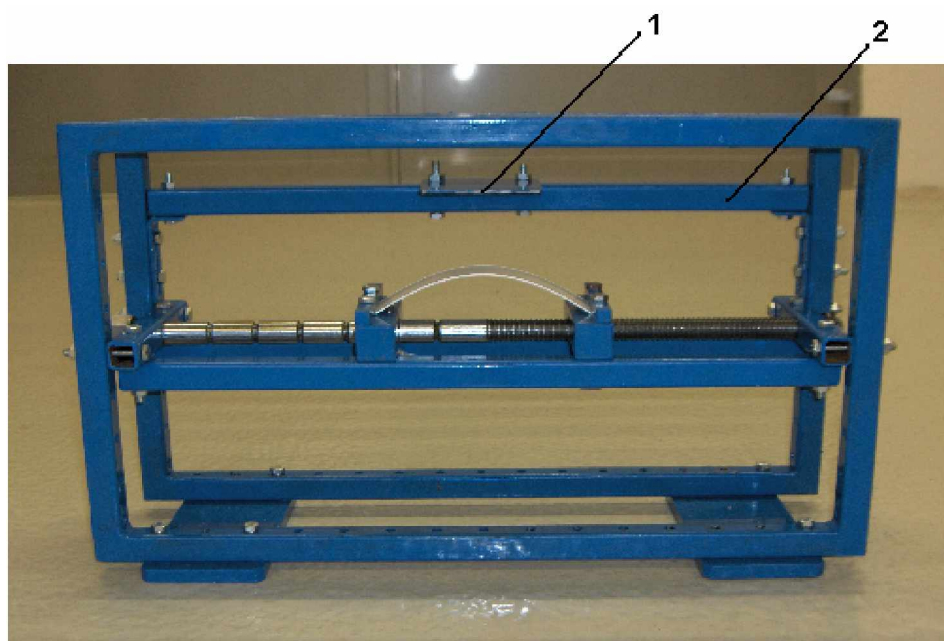
2.2.4 Volba podmínek ověřovacího měření

Pro ověřovací měření byly zvoleny tyto parametry:

teplota	$\tau = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
čas	$t = 24\text{ hod}$
deformace	$\Delta = 10\text{ mm}$
zatížení	$F(Q) = 0\text{ N}$
rozměr	150 x 40 x 4 mm

2.2.5 Návrh postupu ověřovacího měření

Měření průhybu bylo provedeno číselníkovým úchylkoměrem, který se přikládá na navrženou příložku měření, upnutou na rám měření (Obr.13). Tento způsob měření byl navržen z toho důvodu, aby číselníkový úchylkoměr nebyl umístěný v peci. Důvodem byla obava zkreslených naměřených hodnot a možnost poškození číselníkového úchylkoměru vlivem teplotního zatížení.



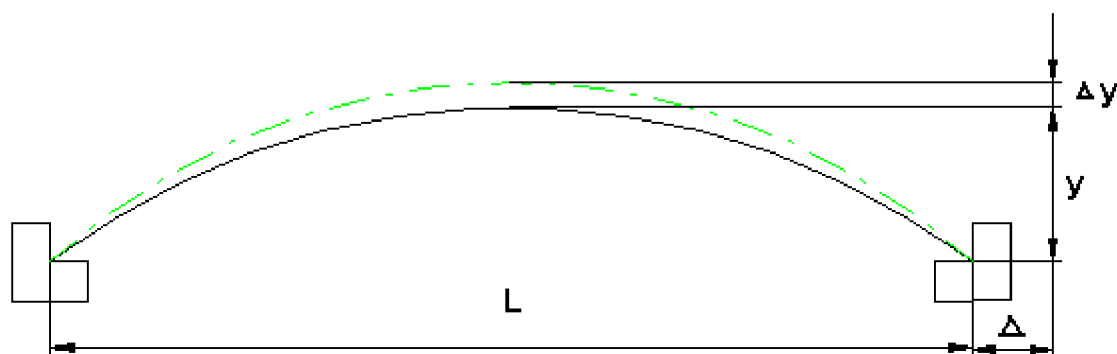
Obr.13. Konstrukce měření

1 příložka měření

2 rám měření

2.2.6 Naměřené hodnoty

Pro časovou náročnost výroby některých dílců (pohybový šroub, čep) navrženého přípravku v dílnách ÚVI mohla být měřením odzkoušena pouze varianta s konstantní deformací a pouze pro základní rozměr vzorku a jednu teplotní hodnotu. Na Obr.14 je uveden způsob zatížení a odečtu naměřených hodnot.



Obr.14. Způsob zatížení a odečtu naměřených hodnot

Měřením byly zjištěny následující hodnoty:

Vzdálenost čelistí od sebe $L = 140 \text{ mm}$.

Průhyb vzorku při konstantní deformaci $\Delta = 10 \text{ mm}$ byl $y = 32 \text{ mm}$.

Změna průhybu vzorku Δy byla měřena po dobu 24 hodin v narůstajícím časovém intervalu.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce I.

t [hod]	τ [°C]	Δt_{ξ} [hod]	Δy [mm]
8:00	20	0	0
9:00	50	1	0,31
11:00	50	3	0,43
15:00	50	7	0,71
20:00	50	12	0,61
8:00	50	24	0,71

Tab.I. Naměřené hodnoty

U druhé varianty určené konstantní zatěžující sílu bylo provedeno pouze funkční ověření přípravku bez měření.

2.3 Diskuse výsledků

2.3.1 Vyhodnocení naměřených hodnot

Při měření za konstantní deformace, byly naměřeny hodnoty uvedené v Tab.I. Z těchto hodnot vyplývá, že vzorek o navržených rozměrech $150 \times 40 \times 4$ z houževnatého polystyrenu se prodloužil o takovou hodnotu, že se průhyb vzorku zvětšil o $\Delta y = 0,31 \text{ mm}$ při změně teploty z 20 °C na teplotu 50 °C . Ze změny průhybu $\Delta y = 0,71 \text{ mm}$ po 7 hodinách od zahájení zkoušky lze usoudit, že se vzorek prohřál na nastavenou teplotu a průhyb se ustálil přibližně na konstantní hodnotě.

Vzhledem k provedení pouze jednoho měření, však nelze z naměřených hodnot provést závěry týkající se vlivu teplotního zatížení na vzorek polymerního materiálu. Lze předpokládat, že pro variantu zatížení konstantní silou budou výsledky mnohem výraznější.

2.3.2 Vyhodnocení navrženého přípravku

Navržený přípravek byl funkčně vyzkoušen pro oba navržené způsoby zatížení.

Pro zatížení při konstantní deformaci bylo provedeno základní měření zvoleného vzorku polymerního materiálu.

Na základě provedených zkoušek lze jednoznačně konstatovat, že navržené konstrukční uspořádání se osvědčilo a může být použito pro obě navržené varianty zatížení.

ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navržení upínacího přípravku pro sledování chování polymerních materiálů při teplotním zatěžování, zajištění jeho výroby a provedení ověřovacího měření na tomto přípravku.

V praktické části byl proto vypracován konstrukční návrh upínacího přípravku pro teplotní zatěžování polymerních materiálů a návrh provedení vzorků z polymerních materiálů.

Konstrukční uspořádání bylo nakresleno v programu AutoCAD 2002. Po vypracování výkresové dokumentace nenormalizovaných dílců byly navrhnuté dílce vyrobeny dle této dokumentace. Po vyrobení jednotlivých součástí byl přípravek složen (byly použity všechny součásti včetně normalizovaných). Normalizované součásti byly zakoupeny.

Na již zhotoveném přípravku byla ověřena jeho funkčnost, tj. upnutí vzorku z polymerního materiálu pro teplotní zatěžování pro dva způsoby zatížení ($\Delta = \text{konst.}$, $F = \text{konst.}$) a následné experimentální měření pro případ $\Delta = \text{konst.}$

Měření vzorku zvoleného rozměru bylo provedeno přiložením číselníkovým úchylkoměrem.

Závěrem lze říci, že přípravek je použitelný pro oba způsoby zatížení a plně vyhovuje pro možné sledování teplotního zatěžování polymerních materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Stránský, L., Molliková, E., Sedláček, J., Nauka o materiálu – Zkouška tahem dostupný z www.vutbr.cz/opory
- (2) Lukovics, I. Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0399-3
- (3) Šuba, O., Mechanické chování těles, UTB Zlín, 2002. ISBN 80-7318-101-0
- (4) Nedbal, R., Strojírenská technologie pro SPŠ, Pracovní sešit, 1998
- (5) Šulc, J., Vysloužil, Z. Laboratorní cvičení technologická a strojní, Praha, 1970
- (6) Technická norma: ČSN EN ISO 178 (64 0607) Plasty – Stanovení ohybových vlastností
- (7) Tomis, František. Plastikářská výroba. Zlín : FT UTB, 1982.
- (8) internetová stránka www.somet.cz
- (9) Leiveber, J. Řasa, J. Vávra, P. Strojnické tabulky. Scientia s.r.o. Praha, 1999. ISBN 80-7183-164-6
- (10) Švercl, J., Technické kreslení a deskriptivní geometrie (Pro školu a praxi), Scientia s.r.o. Praha, 2003, ISBN 80-7183-297-9

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

σ_n	normálové napětí	MPa
F_p	síla pružnosti (zatěžující)	N
S	průřez tělesa	mm ²
E	modul pružnosti	MPa
ε	prodloužení (zkrácení)	mm
Δl	prodloužení (rozdíl délek)	mm
l_1	původní délka	mm
α	součinitel teplotní délkové roztažnosti	K ⁻¹
Δt	rozdíl teplot	°C
V	objem tělesa	mm ³
V_1	původní objem tělesa	mm ³
β	objemové roztažnosti	-
σ_o	ohybové napětí	MPa
$M_{o \max}$	maximální ohybový moment	N.mm
W_o	modul průřezu v ohybu	mm ³
I	moment setrvačnosti	mm ⁴
x	vzdálenost krajních vláken	mm
$F_{\max}$	maximální zatěžující síla	N
e	vzdálenost podpěr	mm
c	vzdálenost působící síly	mm
∂H	parciální derivace síly	-
∂A	parciální derivace práce	-
H	síla	N
ΔT	rozdíl teplot	°C
T_m	teplota montážní	°C
J_s	kvadratický moment křivky	mm ⁴
y	průhyb v obecném místě	mm
$y_{\max}$	maximální průhyb	mm
φ	úhel odklonu	°
L_p	velké rameno	mm

l_p	malé rameno	mm
ρ	hustota	g/cm^3
Q	zatížení	N
$\varnothing$	průměr	mm
Δ	deformace	mm
L	vzdálenost čelistí	mm
Δy	zvětšení průhybu	mm
Δt_ε	rozdíl času	hod

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.	Schéma třibodové ohybové zkoušky a průběh M_0	14
Obr. 2.	Schéma čtyřbodové ohybové zkoušky a průběh M_0	14
Obr. 3.	Ohřev prutu	15
Obr. 4.	Dvoukloubově uchycený prut	16
Obr. 5.	Princip pákového převodu	22
Obr. 6.	Číselníkový úchylkoměr	22
Obr. 7.	Chyby při měření úchylkoměrem	22
Obr. 8.	Schéma přípravku při konstantní deformaci	23
Obr. 9.	Schéma přípravku při konstantní síle	24
Obr. 10.	Pec s přípravkem	26
Obr. 11.	Číselníkový úchylkoměr s kuželovým dotykem	27
Obr. 12.	Číselníkový úchylkoměr s plochým dotykem	27
Obr. 13.	Konstrukce měření	29
Obr. 14.	Způsob zatížení a odečtu naměřených hodnot	29

SEZNAM TABULEK

Tab.I. Naměřené hodnoty.....	30
------------------------------	----

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavení – Sestava přípravku	ÚVI – 02 – S1- PE
Výkres sestavení – Sestava čelisti levé	ÚVI – 04 – S2- PE
Výkres sestavení – Sestava čelisti pravé	ÚVI – 03 – S3- PE
Výrobní výkres – Rám krátký	ÚVI – 04 – 01- PE
Výrobní výkres – Rám dlouhý	ÚVI – 04 – 02- PE
Výrobní výkres – Šroub pohybový	ÚVI – 03 – 03- PE
Výrobní výkres – Čelist levá	ÚVI – 04 – 04- PE
Výrobní výkres – Čelist pravá	ÚVI – 04 – 05- PE
Výrobní výkres – Opěrka čelisti	ÚVI – 04 – 06- PE
Výrobní výkres – Čep	ÚVI – 04 – 07- PE
Výrobní výkres – Kladka	ÚVI – 04 – 08- PE
Výrobní výkres – Opěrka kladky levá	ÚVI – 04 – 09- PE
Výrobní výkres – Opěrka kladky pravá	ÚVI – 04 – 10- PE
Výrobní výkres – Příložka měření	ÚVI – 04 – 11- PE
Výrobní výkres – Opěrka měření	ÚVI – 04 – 12- PE
Výrobní výkres – Rám měření	ÚVI – 04 – 13- PE