

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Školní rok: 1991/92

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Terezu Vackovou

obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Technologie výroby stíracího kroužku o $\varnothing$ 160 mm
vstřikováním.

Zásady pro vypracování:

1. Popište nynější stav výroby stíracích kroužků v s. p. Rubena Náchod.
2. Prostudujte možnost zhotovení stíracího kroužku technologií vstřikování na lise.
3. Navrhněte odpovídající termoplastický materiál s přihlédnutím k vybraným mechanickým vlastnostem stíracího kroužku.
4. Zhotovte sestavu vstřikovací formy a výrobní výkres vstřikovací vložky.
5. Porovnejte výhody a nevýhody této technologie výroby stíracího kroužku.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ostřední knihovna
STUDENTSKÁ 5
602 01 LIBEREC

KPT/TP

V 66/925

Rozsah grafických prací: výkres formy

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

1. HENDRYCH, J. - WEBER, A. - DOLEŽEL, J.: Standartace rámů a součástí forem pro vstřikování termoplastů, SNTL Praha, 1989.
2. - podnikové podklady s. p. Rubena Náchod.
3. - firemní literatura.
4. - články v odborných časopisech.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Anna Šolcová

Konzultant: Ing. František Jirman (Rubena Náchod)

Zadání diplomové práce: 31. 10. 1991

Termín odevzdání diplomové práce: 29. 5. 1992




Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci

dne 11.11. 1991

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Qbor 23-07-8

strojírenská technologie,

zaměřením

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

TECHNOLOGIE VÝROBY STÍRACÍHO KROUŽKU

ø 160 mm VSTŘIKOVÁNÍM

Terezie Vacková

KPT 502

Vedoucí diplomové práce : Ing. Anna Šolcová

KPT

Konzultant :

František Jirman

Rubena Máchod

Obsah práce a příloh :

Počet stran 58

Počet příloh 4

Počet tabulek 3

Počet obrázků 8

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBerci



3146076039

Datum : 29.5.1992

ANOTACE

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Obor: 23-07-8

Školní rok: 1991-1992

Diplomant: Terezie Vacková

Téma práce: Technologie výroby stíracího kroužku o 160 mm
vstřikováním

Číslo diplomové práce: 502

Vedoucí diplomové práce: ing. Anna Šolcová

Konzultant: František Jirman

Obsahem této diplomové práce je porovnání a zhodnocení dosavadní technologie výroby stíracího kroužku do přímočarých hydromotorů s novou technologií výroby vstřikováním.

Dále je zde zkoumána možnost použití nového materiálu z oblasti termoplastických elastomerů, Elastollanu C 95 A a hlouběji zpracována otázka zpětného využití odpadového materiálu/ vadné výrobky, vtoky/ pro navržení vhodné směsi na výrobu stíracího kroužku.

Tato práce navazuje na poznatky předešlých diplomových prací, které se zabývaly možností zavedení výroby těsnicích manžet vstřikováním.

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury."

V Liberci 29. 5. 1992

Terezie Vacková
Terezie Vacková

Obsah

1.	Úvod	8
2.	Funkce těsnění a požadavky kladené na těsnění	9
2.1.	Funkce těsnění	9
2.2.	Požadavky na těsnění	10
3.	Klasifikace dynamických těsnění	11
3.1.	O kroužky	12
3.2.	Drážková těsnění	12
3.2.1.	Těsnění pístnice	13
3.2.2.	Stírací kroužky	14
4.	Materiály používané pro výrobu těsnění	15
4.1.	Požadavky na materiál těsnění	15
4.2.	Elastomery	15
4.3.	Termoplastické elastomery	16
4.3.1.	Přehled a charakteristika základních typů termoplastických elastomerů	19
4.4.	Elastomery používané na výrobu těsnicích prvků pro PČH v a.s. Rubena Náchod	22
5.	Technologie výroby těsnicích prvků pro PČH používaná v a.s. Rubena	23
5.1.	Technologie výroby těsnicích prvků z pryžových materiálů	23
5.2.	Technologie výroby těsnicích prvků z termoplastických elastomerů	25
6.	Návrh materiálu a jeho zpracování	26
6.1.	Elastollan C 95 A	27
6.2.	Zpracování Elastollanu C 95 A	28
7.	Fyzikálně-mechanické zkoušky	28
7.1.	Stanovení fyzikálně-mechanických vlastností Elastollanu C 95 A	29
7.1.1.	Zhodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek	31
7.2.	Stanovení fyzikálně-mechanických vlastností Elastollanu C 95 A s použitím určitého procenta odpadového materiálu	32
7.2.1.	Stanovení meze teploty křehnutí	32

7.2.2.	Stanovení tvrdosti Shore A	34
7.2.3.	Stanovení trvalé deformace v tlaku za podmínek konstantní deformace	35
7.2.4.	Stanovení odolnosti pryže proti působení kapalin	37
7.2.5.	Stanovení tahových vlastností	41
7.3.	Zhodnocení fyzikálně-mechanických vlastností Elastollanu C 95 A s určitým procentem odpadu	45
8.	Vstřikovací forma	45
8.1.	Parametry zadání	46
8.2.	Technologické výpočty	46
8.2.1.	Výpočet násobnosti formy	46
8.2.2.	Kontrola uzavírací síly	47
8.3.	Popis funkce nástroje	48
8.4.	Systém plnění dutiny formy	48
9.	Kontrola rozměrů stíracích kroužků	49
9.1.	Mondo - tříosý měřicí a statistický program pro EPSON HN-20	52
10.	Ekonomické zhodnocení	53
11.	Závěr	56
12.	Seznam použité literatury	57

Seznam použitých zkratk a symbolů

ACM	- akrylátový kaučuk	
AU	- polyuretanový kaučuk polyesterového typu	
B_g	- změna hmotnosti při botnění	/%/
B_v	- změna objemu při botnění	/%/
B_1	- změna rozměrů při botnění	/%/
C	- trvalá deformace v tlaku při konstantní deformaci	/%/
CR	- chloroprenový kaučuk	
DR	- dělící rovina	
ECO	- hydrinový kaučuk	
ϵ_p	- průtažnost	/%/
ϵ_r	- tažnost	/%/
EU	- polyuretanový kaučuk polyéterového typu	
F_p	- uzavírací síla	/N/
FMP	- fluorovaný kaučuk	
F_r	- síla potřebná k přetržení zkušebního tělesa	/N/
H	- tvrdost pryže podle Shore A	/Sh A/
MFQ	- metilfluorosilikonový kaučuk	
MVQ	- metilvinylsilikonový kaučuk	
n	- násobnost formy	
NBR	- nitrilbutadienový kaučuk	
p	- tlak	/MPa/
PČH	- přímočaré hydromotory	
PP	- polypropylén	
ρ_k	- hustota kapaliny	/g.cm ⁻³ /
ζ_r	- pevnost v tahu	/MPa/
t	- čas	/s/
T	- teplota	/°C/
T_b	- mez teploty křehnutí	/°C/
TPE-A	- termoplastické elastomery na bázi polyamidů	
TPE-E	- termoplastické elastomery na bázi kopolymerů	
TPE-O	- polyolefické termoplastické elastomery	

TPE-S - termoplastické elastomery na bázi blokových
polymerů styrenu

TPE-U - termoplastické elastomery na bázi polyuretanů

T_g - teplota zesklňování

/%/

TPU - termoplastické polyuretanové elastomery

Seznam příloh

1. Sestava vstřikovací formy na stírací kroužek
160 PN 02 9295
2. Výrobní výkres vstřikovací vložky
3. Kusovník č. 1
4. Kusovník č. 2

1. Úvod

Současný technický rozvoj klade rostoucí nároky nejen na celkovou koncepci strojů, ale i na řešení jednotlivých strojních prvků.

Nezbytnou součástí každého moderního strojního zařízení je i moderní řešení pohybových systémů schopných přenášet požadovaný silový účinek na funkční prvky.

K modernímu řešení pohybových systémů patří hydraulické prvky s vysokou účinností a životností. Jedním z hlavních činitelů, které mají vliv na úroveň hydraulických zařízení, je spolehlivost utěsnění.

Hydraulické soustavy, stejně tak jako jiné soustavy, složené z mnoha prvků, mají tzv. "slabé články", které ovlivňují správnou a bezporuchovou činnost. Mezi tyto "slabé články" patří i těsnění, která ačkoliv cenově nepodstatná, mohou nepříznivě ovlivnit správnou funkci nákladných strojních zařízení.

Současný stav těsnicí techniky v ČSFR nedosahuje takových výsledků, aby uspokojil požadavky pro nově vyvíjené hydraulické prvky.

Z tohoto důvodu byla zadána i tato práce, která se zabývá možností zavedení výroby stíracích kroužků z polyuretanových elastomerů.

Z výrobního programu a. s. Rubena Náchod byl vývojovým oddělením podniku vybrán stírací kroužek 160 PN 02 9295. Tento kroužek je součástí rozsáhlé skupiny těsnicích prvků, na které a. s. Rubena zkoumá možnost použití polyuretanových elastomerů na výrobu těsnění pro moderní hydraulická zařízení.

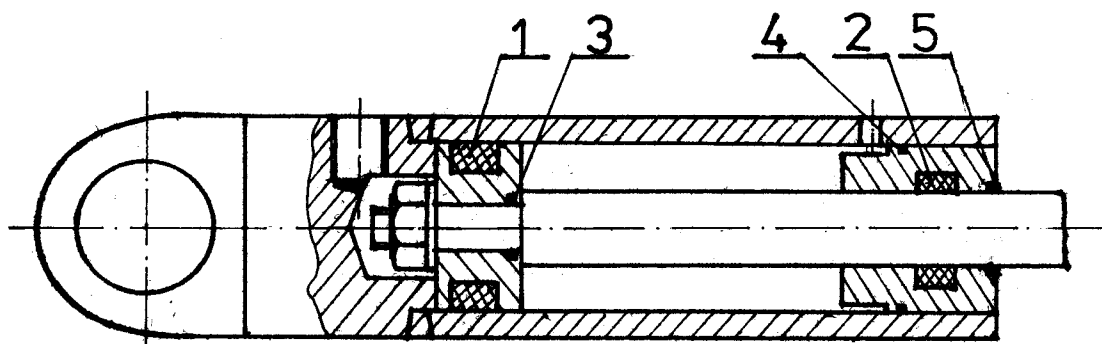
2. Funkce těsnění a požadavky kladené na těsnění

2. 1. Funkce těsnění

V ČSN 029001 je těsnění definováno jako strojní součástka, která vložení mezi dvě konstrukční součástky zaujme takový tvar, že brání anebo přiměřeně omezí pronikání těsněného média. Těsněným prostředím u přímočarých hydromotorů (PČH) je obvykle hydraulický olej. S přihlédnutím k funkci lze těsnění rozdělit do dvou skupin:

- a) těsnění pohyblivých částí (dynamické těsnění)
- b) těsnění nepohyblivých částí (statické těsnění)

Zabudování těsnění v přímočarém hydromotoru uvádí obr. 1.



Obr. 1. Těsnění v přímočarém hydromotoru

- 1 - pístové těsnění
- 2 - pístnicové těsnění
- 3 - těsnění mezi pístem a pístnicí
- 4 - těsnění mezi víkem a trubicí
- 5 - stírací kroužek

Statická těsnění utěsňují plochy, které se vzájemně nepohybují. Téměř výhradně se používají kroužky kruhového průřezu tzv. O kroužky. Jejich předností je jednoduchost, malé rozměry a nízká cena. O kroužek se umísťuje do drážky, ve které je zabudovaný s určitým předpětím vyvolaným deformací průřezu O kroužku. Tím se dosahuje těsnicí účinek v beztlakové a nízkotlakové oblasti.

Jestliže dojde ke zvýšení provozního tlaku, průřez O kroužku se dále elasticky deformuje a kroužek se posouvá ve směru působícího tlaku k těsněné mezeře. Při překročení maximálního dovoleného provozního tlaku, nebo při větší těsněné mezeře než je dovolená, může dojít k vytlačení materiálu O kroužku do těsněné mezery a k jeho poškození. /1/

Dynamická těsnění slouží k utěsnění dvou vzájemně se pohybujících částí, které se pohybují přímočarým vratným pohybem. Sem patří pístová a pístnicová těsnění (viz obr. 1.).

Pístové těsnění těsní dynamicky na vnějším průměru a pístnicové na vnitřním průměru. /1/

Dále se tato práce bude zabývat pouze dynamickými těsněními.

2. 2. Požadavky na těsnění

Nejdůležitějšími požadavky, které musí splňovat těsnění z hlediska zabezpečení správné funkce, jsou:

- a) těsnicí schopnost
- b) třecí vlastnosti
- c) životnost

Kromě těchto hlavních požadavků musí být splněny ještě některé další, při jejichž určování je nutné vycházet z konkrétních provozních podmínek PČH:

- a) odolnost při styku s pracovní kapalinou
- b) možnost jednoduché montáže
- c) nízká výrobní cena
- d) nízké náklady na vyhotovení zástavbového prostoru
- e) dostatečná odolnost proti znehodnocení nečistotami.

Od těsnění se všeobecně vyžaduje, aby mělo vysoký těsnicí účinek při minimálním tření.

ad a) těsnicí schopnost

Těsnost je míra funkční dokonalosti těsnění. Je určena dobou, za kterou pronikne jednotkové množství kapaliny utěsněným spojem. Obecně lze říci, že úniky pracovní kapaliny

stoupají se zvyšující se rychlostí výsuvu pístnice, s rostoucím tlakem a klesající teplotou.

Při práci PČH únik pracovní kapaliny přes těsnění nesmí přesáhnout hodnoty uvedené v ČSN 11 9372. /1/

ad b) třecí vlastnosti

Tření mezi kovem a těsněním je velmi složitý děj. V praxi bylo dokázáno, že třecí síla roste se zvětšujícím se pracovním tlakem a se vzrůstající teplotou pracovní kapaliny. Při nulové rychlosti je těsněná pracovní kapalina vytlačována z prostoru mezi těsněním a těsněnou plochou. Při malých rychlostech se nevytváří žádný mazací olejový film a koeficient tření je velmi vysoký. Tento stav se nazývá suché tření. Při optimální rychlosti je vytvořen olejový film vhodné výšky a koeficient tření je malý. Tento příznivý stav se často označuje jako smíšené tření. Při vyšších rychlostech pohybu pístnice vzniká mezi těsněnou plochou a těsněním hydrodynamický tlak a výška mazacího filmu roste. Následkem hydrodynamických ztrát se koeficient tření zvyšuje. /2/

ad c) životnost

Životnost těsnění je možné definovat jako počet cyklů, délku kluzné dráhy nebo jako časové období, během kterého je zachována funkce těsnění. Po jejím překročení nastává vlivem opotřebení těsnění nebo vlivem únavy materiálu těsnění větší únik kapaliny než je dovolený. /3/

3. Klasifikace dynamických těsnění

U nás i ve světě je vyráběn široký sortiment těsnění, která mají rozdílné vlastnosti a jsou zhotovena pro různé provozní podmínky. Podle způsobu vytvoření těsnicího účinku mohou být těsnění rozdělena na:

- stlačovaná (kompresní)
- tvarovaná (aktivizovaná tlakem)

Podle dalších kritérií se těsnění dělí na jednosměrná a dvojsměrná. Podle tvaru a konstrukčního provedení je možno

. vyráběná těsnění rozdělit do následujících skupin: /1/

- O kroužky
- drážková těsnění
- kompaktní těsnění
- těsnicí sady
- kluzné kroužky
- kombinovaná těsnění
- pístní kroužky
- stírací kroužky

Popis uvedených druhů těsnění je podrobně zpracován ve /4/.

3. 1. O kroužky

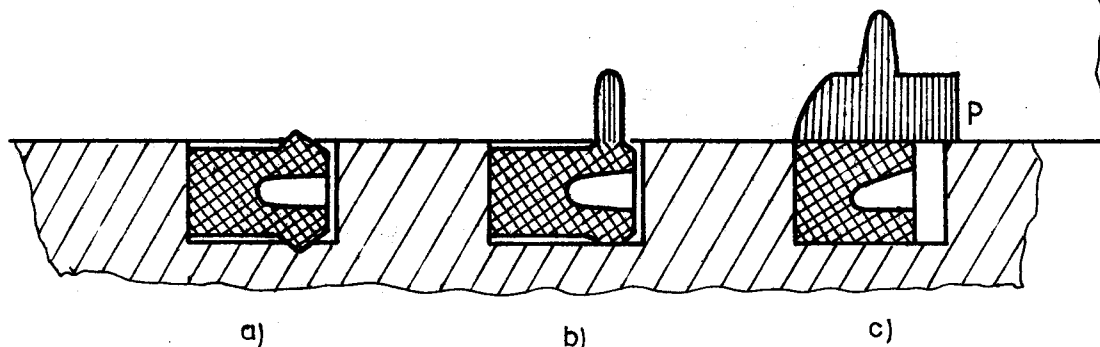
O kroužky jsou těsnění s kruhovým průřezem. Jejich použití pro dynamické utěsňování je velmi omezené, závisí na provozním tlaku a rychlosti pohybu pístnice. Velkou nevýhodou O kroužků je jejich malá stabilita, což způsobuje jejich poškození.

3. 2. Drážková těsnění

Drážková těsnění mají v obdélníkovém nebo čtvercovém průřezu drážku a tím je vytvořený profil těsnění s dvěma těsnicími jazyčky pro utěsnění vnějšího a vnitřního průměru.

Po montáži těsnění do zástavbového prostoru vzniká v místech styku těsnicích jazyčků s těsněnou plochou předpětí, které je vyvoláno ohybem a tahem jazyčků v důsledku větší výšky profilu těsnění oproti výšce zástavbového prostoru. Tím je dosažen těsnicí účinek manžety v beztlakovém stavu. Zvyšováním tlaku pracovní kapaliny se zvětšuje tlak na povrch těsnění, čímž vzrůstá tlak mezi jazyčky těsnění a těsněnou plochou. Při vysokých tlacích je celé těsnění deformované tak, že tvar těsnění odpovídá tvaru těsnicího prostoru.

Deformace a vznik předpětí jsou znázorněné na obr. 2.



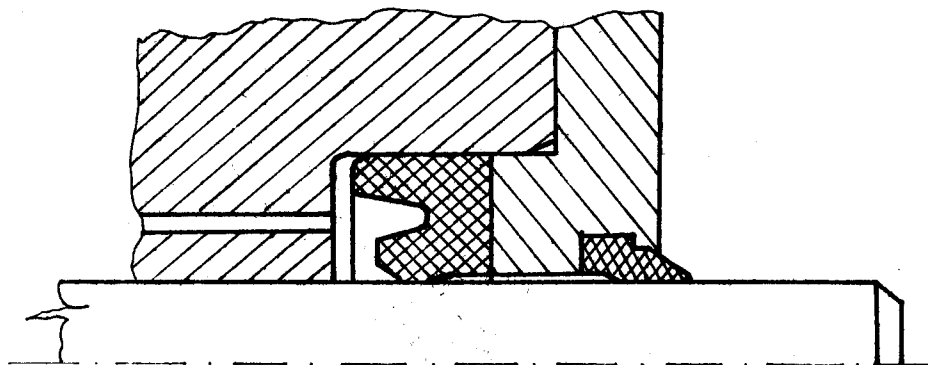
Obr. 2. Vznik předpětí a deformace drážkového těsnění

- a) přesah před montáží
- b) předpětí po montáží
- c) rozložení tlaku během provozu

Pro zvýšení těsnicího účinku a pro zvýšení jeho stability se používají manžety s rozpěrnými kroužky z elastomerů nebo z kovů. /1/

3.2.1. Těsnění pístnice

Těsnění pístnice podle obr. 3. tvoří těsnicí manžeta a stírací kroužek. /2/



Obr. 3. Těsnění pístnice

Manžeta podle PN 02 9275 má krátký a robustný jazýček, který těsní dynamicky a tenký dlouhý jazýček, který těsní staticky.

Přednosti drážkové manžety:

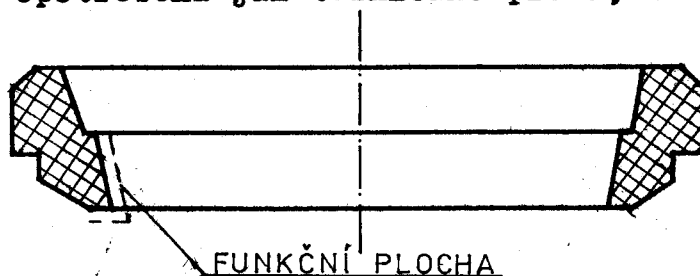
- malé tření, zejména v oblasti nízkých tlaků
- malé zástavbové rozměry
- jednoduchá výroba
- poměrně malé požadavky na přesnost výroby zástavbového prostoru
- jednoduchá montáž
- možnost utěsňování vyšších tlaků

Nedostatky manžety:

- určitá netěsnost při nízkých provozních tlacích
- malá stabilita v zástavbovém prostoru

3.2.2. Stírací kroužky

Stírací kroužky (obr. 4.) jsou nezbytnou součástí každé moderní konstrukce hydraulického zařízení. Zabraňují předčasnému opotřebení jak těsnicího prvku, tak i povrchu pístnice.



Obr. 4. Stírací kroužek

Stírací kroužky plní dvě funkce:

- při zasouvání pístnice zabraňují pronikání nečistot do hydraulického válce, kde pracuje manžeta
- při vysouvání pístnice redukují množství olejového filmu, které se vytvoří za prvním těsněním

Polohu stíracího kroužku v PČH znázorňuje obr. 1.

Uživatelé často reklamují stírací kroužky pro jejich netěsnost. Je třeba zdůraznit, že úkolem stíracího kroužku není těsnit, ale stírat nečistoty z pístnice. Těsnicí funkcí plní manžeta v pracovním prostoru PČH.

Dále se tato práce bude zabývat jen stíracími kroužky.

4. Materiály používané pro výrobu těsnění

Na výrobu těsnění se používají různé druhy materiálů. Obecně je lze rozdělit na elastomery, plasty, tkaniny a kovy.

Dále se tato práce bude zabývat pouze elastomery.

4. 1. Požadavky na materiál těsnění

Na elastomerický materiál těsnění jsou kladeny následující požadavky:

- odolnost při styku s pracovní kapalinou (fyzikálně-chemická odolnost)
- tvrdost, elasticita a mechanická pevnost, odpovídající provozním podmínkám
- malá trvalá deformace a relaxace napětí
- odolnost proti odírání
- odolnost proti tepelnému namáhání
- malý koeficient tření
- odolnost proti korozi
- odolnost proti stárnutí
- dobré vlastnosti z hlediska technologie zpracování

4. 2. Elastomery

Podle ČSN 64 0001 je elastomer makromolekulární látka, která se rychle vrací do původního tvaru a rozměrů. Jejich elasticita dovoluje dobré přizpůsobení nerovnostem těsněných ploch a radiálním pohybům mezi těsněnými plochami.

Elastomery se vyrábějí vulkanizací (síťováním) kaučuků.

Kaučuky jsou makromolekulární látky, které mají makromolekuly převážně v lineární formě (řetězové molekuly). Při vulkanizaci se působením vulkanizačních činidel (síra, peroxidy) při určitých teplotách a tlacích vytvářejí mezi jednotlivými lineárními molekulami kaučuku příčně chemické vazby (můstky), čímž se mění vlastnosti kaučuku. Vulkanizací se mění kaučuk z převážně plastického charakteru na vulkanizovaný kaučuk (pryž) s převážně elastickým charakterem.

Tento kaučuk má oproti surovému kaučuku lepší mechanickou pevnost, elasticitu, chemickou odolnost, tepelnou odolnost atd.

Kromě vulkanizačních činidel se přidávají do kaučuku různé přísady, kterými lze měnit vlastností elastomerů:

- plniva
- změkčovadla
- urychlovače vulkanizace
- aktivátory vulkanizace
- činidla pro zlepšení určitých fyzikálně-mechanických vlastností elastomeru

Podklady o použitelnosti určitého elastomeru pro danou aplikaci se získávají fyzikálně-materiálovými zkouškami. V ČSFR jsou to normy na provádění zkoušek pro získání hodnot tvrdosti, elasticity, tahových vlastností, trvalých deformací atd. Tyto normy navazují na mezinárodní standarty ISO a zahraniční normy DIN a ASTM.

Na výrobu těsnění se převážně používají následující materiály, jejichž fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1. /2/, kde:

- NBR - nitrilbutadienový kaučuk
- AU,EU- polyuretanový kaučuk
- FMP - fluorouhlákový kaučuk
- CR - chloroprenový kaučuk
- ACM - akrylátový kaučuk
- ECO - hydrinový kaučuk
- MVQ - metylvinylsilikonový kaučuk
- MFQ - metylfluorsilikonový kaučuk

4. 3. Termoplastické elastomery

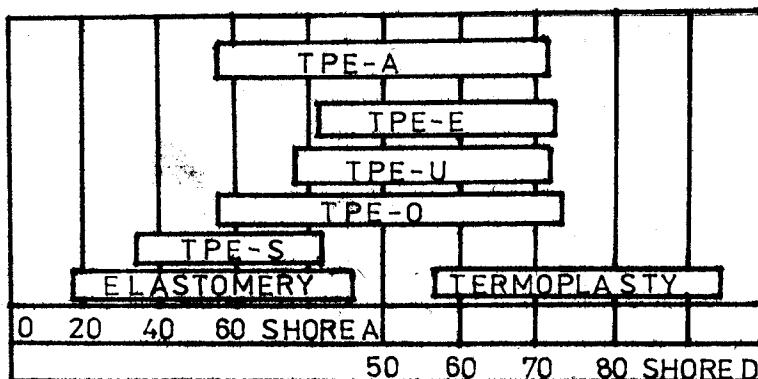
Termoplastické elastomery jsou polymery s vlastnostmi podobnými klasickým zesíťovaným kaučukům (výrazná elasticita), avšak tím, že jsou reversibilně termoplastické, jde i o materiály současně zpracovatelné běžnými plastikářskými technologiemi /5/. Oproti vulkanizovaným elastomerům je to

Tab. 1. Porovnání fyzikálně-mechanických vlastností pryží z různých elastomerů

	NBR	AU	FMP	CR	ACM	ECO	MVQ	MFQ
Tvrdost /SH A/	50-90	60-98	70-90	40-90	70-80	60-85	50-80	50-80
Pevnost v tahu /MPa/	10-18	27-35	10-15	10-17	10-15	10-20	7-12	9-15
Tažnost /%/	125-950	200-700	180-220	100-900	145-165	100-400	200-300	150-400
Odolnost proti opotřebení	dobrá	výborná	střední	dobrá	střední	dobrá	špatná	špatná
Stárnutí povětrnostní a ozonem	dobrá	dobrá	výborná	výborná	výborná	dobrá	výborná	výborná
Teplotní stálost do/krátkodobě /°C/	+100/+120	+60/+80	+200/+230	+100	+150	+120	+200/+230	+175/+200
Mrazuvzdornost /°C/	-30	-30	-25	-40	-25	-40	-60	-60
Odolnost v olejích a palivech	výborná	výborná	výborná	střední	výborná	dobrá	špatná	dobrá
Cenový index NBR = 1	1	5	40	1	1,5	1,5	7,5	80

zpracování ekonomičtější (odpadá náročná příprava směsí, vulkanizace, je možná recyklace odpadu), čímž se sníží ceny finálního výrobku. Vlastnosti termoplastických elastomerů se do značné míry překrývají s vlastnostmi konvenčních elastomerů a zároveň vyplňují mezeru mezi vulkanizovanými kaučuky a technickými termoplasty (např. překlenutí hodnot tvrdosti dle obr. 5.).

/5/



Obr. 5. Rozsahy tvrdosti elastomerů, technických termoplastů a současného sortimentu TPE

Ve světě jsou tyto materiály vyráběny zejména v USA a SRN. V ČSFR se nevyrábějí. Výroba termoplastických elastomerů je založena na přípravě polymerů s dvoufázovou strukturou takového uspořádání, které umožňuje vznik trojrozměrných polymerních sítí s fyzikálními uzly. Existence těchto sítí zaručuje elastické chování polymeru. Při teplotě tavení materiálu se fyzikální sítě rozrušují a tím umožňují snadné zpracování polymeru plastikařskými technologiemi (jedná se zejména o vstřikování, vytlačování, vyfukování a reakční vstřikování). Termoplastické kaučuky vznikají kombinací dvou nemísitelných polymerních fází - měkké (snadno deformovatelné) a tuhé (amorfní), které se výrazně liší teplotou zesklnění T_g . Tuhá fáze má vysokou teplotu T_g a vlivem kohezních sil vytváří nepohyblivé polymerní bloky, které působí jako fyzikální uzly a určují rozsah deformačních procesů měkké fáze, která je na ně vázána. Měkká fáze má nižší T_g a je zdrojem výrazných elastických deformací systému.

4.3.1. Přehled a charakteristika základních typů termoplastických elastomerů

V současné době je díky zvládnutí různých technologických postupů a různé variabilitě složení výchozích prvků možná příprava desítek typů termoplastických kaučuků, další jsou ve vývoji.

Další pozornost bude proto věnována dnes nejrozšířenějším typům TPE.

A. Termoplastické elastomery na bázi směsí zesíťovaný elastomer - termoplast

K nejvýznamějším patří polyolefické termoplastické elastomery TPE-O. Jejich příprava je založena na tvorbě směsí zesíťovaných terpolymerů s PP. Vlastnosti těchto materiálů závisí na typu použitého termoplastu a na podílu každé složky ve směsi.

Vlastnosti TPE-O:

- rozsah tvrdosti ($^{\circ}\text{Sh}$ 55A až 50 až 75 D)
- teplotní rozsah (-50 až 100 až 120°C) použitelnosti
- dobrá tvarová stálost za tepla
- výborná zpracovatelnost vstřikováním, vytlačováním, vyfukováním

Použití: automobilový, letecký průmysl (nárazníky, spojler)
stavebnictví
elektrotechnika

Obchodní označení TPE-O: LEVAFLEX (Bayer)
SANTOPRENE (Monsanto)
KELPROX (DSM)
XTR (Himont)

B. Termoplastické elastomery na bázi blokových polymerů styrenu TPE-S

K technicky nejvýznamějším patří SBS tribloky (kopolymery styren - butadien); SIS (styren - izopren); SEBS (styren - ethylen - butylen).

V současné době patří mezi nejpoužívanější termoplastické elastomery (roční spotřeba 100 až 150 tis. tun).

Vlastnosti TPE-S:

- rozsah tvrdosti ($^{\circ}\text{Sh}$ 34 A až 75 A)
- oblast teplot dlouhodobé použitelnosti (-70 až 60 až 80 $^{\circ}\text{C}$)
- možnost plnění různými plnivy
- velmi dobře zpracovatelné vstřikováním, vytlačováním

Použití: příprava rozpouštědlových lepidel
obuvnictví
lékařská technika

Obchodní označení TPE-S: CARIFLEX, KRATON D (Shell)
- SBS
KRATON G (Shell) - SEBS

C. Termoplastické elastomery na bázi kopolymerů TPE-E

Jsou to výrazně technické termoplastické elastomery s širokým použitím.

Vlastnosti:

- tvrdost (80 A až 72 D) $^{\circ}\text{Sh}$
- provozní teplota (-50 až 150) $^{\circ}\text{C}$
- vysoká pevnost, houževnatost
- vysoká odolnost při dynamické únavě, proti otěru
- odolnost proti chemikáliím, olejům, tukům
- vhodné hlavně pro vstřikování

Použití: technické dílce - ozubená kola, dopravní pásy

Obchodní označení TPE-E: HYTREL (Du Pont)
ARNITEL (Akro)
LAMID (Ge Plastic)

D. Termoplastické elastomery na bázi polyamidů TPE-A

Mezi nejvýznamější typy patří - VESTAMID E. Je to částečně krystalický termoplastický elastomer s vysokou pevností, tuhostí a odolností proti olejům. Teplotní rozsah použitelnosti je (-40 až 80 až 100) °C. K nejpoužívanějším typům patří také - PEBAX, který je charakteristický vysokou odolností proti únavě v ohybu, vysokou houževnatostí v rozsahu teplot (-40 až 80) °C, vysokou chemickou odolností.

Obchodní označení: VESTAMID E (Huls)

PEBAX (Atochem)

GRILAMID ELY (Ems - Chemie)

ESTAMID (Dow - Chemical)

E. Termoplastické elastomery na bázi polyuretanů TPE-U

Jsou to elastické materiály vykazující velmi dobré mechanické vlastnosti, odolnost proti povětrnosti a chemikáliím, houževnatost za nízkých teplot, vysokou odolnost proti opotřebení, široký rozsah tvrdosti, tuhosti (°Sh od 65 A do 80 D), E modul (4 až 100) N/mm². TPE-U jsou dobře zpracovatelné vstřikováním na šnekových vstřikovacích strojích, vytlačováním. Je nutno pracovat při vyšších teplotách suroviny. Vstřikování se provádí do chladných forem (20 až 50) °C, výrobky se po vyjmutí z formy dodatečně temperují 15 až 20 hodin při 80 až 120 °C.

Hlavní uplatnění: strojírenství (kulové klouby, ozubená kola, tlumicí elementy)
elektrotechnika (opláštění kabelů)
spotřební průmysl (lyžařské boty)
lékařství (protézy, umělé chlopně)

Obchodní označení: ESTANE (Goodrich)

CYANPRENE (Cyanamid)

DESMOPAN (Bayer)

ELASTOLLAN (Elastogran - BASF)

4. 4. Elastomery používané na výrobu těsnicích prvků pro PČH
v a. s. Rubena Náchod

V a. s. Rubena Náchod se pro utěsňování PČH vyrábějí hlavně drážková těsnění, stírací kroužky a O kroužky. Na jejich výrobu se používají směsi na bázi nitrilového kaučuku (NBR) a směsi na bázi polyuretanového kaučuku (AU)./2/

Směsi na bázi NBR se používají pro těsnicí prvky s rozsahem pracovních teplot od -40 do 100°C . Jsou dobře zpracovatelné, dají se tedy vstříkovat. Z důvodů tokových vlastností pryže a nižší odolnosti proti otěru se však dají použít pouze do 10 MPa. Větší tlakové zatížení nesnesou.

Při styku NBR pryže s minerálními hydraulickými kapalinami dochází k absorpci kapaliny pryže při současném vyextrahování rozpustných složek z pryže. Výsledkem je objemová a hmotnostní změna pryže, způsobená bobtnáním. Objemové nabotnění těsniva v rozmezí 0 až 10 % (0 až 3 % lineárně) je v řadě případů výhodné, protože zlepšuje stupeň utěsnění. K nevýhodám NBR patří sklon k zatékání do těsněné mezery, citlivost na agresivitu oleje a mají i 3x nižší otěruvzdornost než polyuretanové pryže.

Polyuretanové pryže se používají na výrobu těsnicích prvků, které mají snášet větší tlakové zatížení (až do 40 MPa). Jejich nevýhodou je velice omezený rozsah pracovních teplot (-30 až 60°C) a sklon k hydrolýze, která je příčinou omezení skladovací doby na 1 rok. Největší nevýhodou AU pryží je velice špatná technologická zpracovatelnost. Při plastikaci kladou AU kaučuky značný odpor a může tak dojít ke zničení strojního zařízení. Tyto materiály se dají zpracovat pouze klasickým lisováním. U AU kaučuků bobtnání dosahuje maximálně 5 % původního objemu.

5. Technologie výroby těsnicích prvků pro PČH používaná v a. s. Rubena Náchod

Určujícím kritériem technologie výroby těsnicích prvků jsou těsnicí materiály. Vývojový trend moderních těsnicích prvků vychází z kombinace různých druhů těsnicích materiálů u jednoho typu. Účelem je dosažení optimálních výsledků při provozních podmínkách v hydraulických systémech. Výroba těchto kombinovaných těsnicích prvků vyžaduje různé technologické postupy a tím i potřebu různého strojního zařízení. Rozdělení technologických postupů je dále provedeno podle zpracovávaných materiálů.

5. 1. Technologie výroby těsnicích prvků z pryžových materiálů

Převážná část těsnicích prvků v celopryžovém provedení se lisuje ve formách na klasických hydraulických lisech nebo vstřikovacích lisech. Pro část těsnicích prvků na bázi AU kaučuků se používá místo technologie lisování odlévání do forem.

Popis technologie výroby:

Jednotlivé komponenty směsi (viz 4. 1.) se vysouší v sušícím zařízení a míchají se v hnětiči nebo na dvouválci. Cílem je co nejrovnoměrnější rozptýlení přísad v kaučuku. Při míchání dochází k plastikaci kaučuku, při které se z původně tuhého a houževnatého kaučuku stává vysoce tvárná hmota s výraznou hodnotou plasticity. Po dosažení homogenity směsi s domíchanými vulkanizačními činidly v závěru se chladí na normální teplotu. Po té se odeberou vzorky, které se vylisují a v laboratoři se kontrolují jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti. Jestliže splňují požadavky dané materiálovým listem, směs je uvolněna do výroby. Před dalším zpracováním se směs ohřívá na dvouválci a vytlačuje na vytlačovacím zařízení na požadovaný průřez šňůry nebo se na válcích táhne fólie v požadované tloušťce.

upraven do tvaru, který přibližně odpovídá finálnímu výrobku. Cílem této operace je zhotovit nálož, která půjde rychle, jednoduše a přesně umístit do formy. Pro lisování na vstřikovacím lisu se tažená fólie řeže na pásy nebo vytlačuje na předepsaný průřez a ukládá do zásobníku.

Těsnicí prvky v celopryžovém provedení se lisují ve formách na klasických lisech, vyžadujících náročnou ruční obsluhu při vkládání nálože a vyjímání výlisku nebo na vstřikovacích lisech, kde obsluha pouze vyjímá výlisky. Je-li provoz automatizován, tak jen kontroluje kvalitu lisovacího procesu.

Lisy jsou vybaveny topnými deskami umožňujícími regulaci

K vytlačování se dnes převážně používají šnekové vytlačovací stroje. Pro klasické lisování se vytlačovaná šňůra nebo tažená fólie seká na stanovený tvar a hmotnost nálože. Polotovar je upraven do tvaru, který přibližně odpovídá finálnímu výrobku. Cílem této operace je zhotovit nálož, která půjde rychle, jednoduše a přesně umístit do formy. Pro lisování na vstřikovacím lisu se tažená fólie řeže na pásy nebo vytlačuje na předepsaný průřez a ukládá do zásobníku.

Těsnicí prvky v celopryžovém provedení se lisují ve formách na klasických lisech, vyžadujících náročnou ruční obsluhu při vkládání nálože a vyjímání výlisku nebo na vstřikovacích lisech, kde obsluha pouze vyjímá výlisky. Je-li provoz automatizován, tak jen kontroluje kvalitu lisovacího procesu.

Lisy jsou vybaveny topnými deskami umožňujícími regulaci od 100 do 200 °C. Vulkanizační doba (v materiálu dochází k zesíťování) a teplota je závislá nejen na základním kaučuku a skladbě směsi včetně použitého vulkanizačního systému (např. vulkanizační teplota je pro AU 130 nebo 160 °C, pro NBR 145 °C a výše, doba vulkanizace pro klasické lisy je 8 až 30 minut v závislosti na tloušťce stěny a pro vstřikolisy 1 až 3 minuty), ale i na případném následném technologickém postupu - dodatečné temperaci v sušárně nebo v kotli pod tlakem. Plastikační jednotka musí u vstřikovacího lisu zajišťovat regulaci teploty v rozmezí od 40 do 100 °C. /6/

Po vulkanizaci výlisky vyžadují různé způsoby opracování. Je to např. ruční otrhávání a ostříhávání přetoků, vysekávání, broušení, upichování. Místo těchto operací lze použít pro některé pryžové materiály (ne pro AU pryže) ledování, tzn. odstraňování přetoků v rotačních bubnech, obsahujících tekutý dusík. I po ledování se většinou opracování dokončuje broušením nebo upichováním na jednoúčelových opracovacích strojích. U výlisků vyrobených vstřikováním je opracování mnohem jednodušší, neboť materiál je vpravován do uzavřené formy a tloušťka přetoku je konstantní.

5. 2. Technologie výroby těsnicích prvků z termoplastických elastomerů

Vlastnosti a rozdělení termoplastických elastomerů bylo popsáno v kapitole 4. 3. a 4.3.1.. Z termoplastických elastomerů se na výrobu těsnění používají nejvíce polyuretanové a polyesterové typy. /7, 8/

Dále se tato diplomová práce bude zabývat termoplastickými polyuretanovými elastomery (TPU).

Termoplastické polyuretanové elastomery se rozdělují do dvou skupin:

- přísně lineární elastomery (např. Estane - Goodrich)
- částečně síťované elastomery (Elastollan - Basf)

První skupina zůstává stále termoplastická, zatímco druhá je částečně síťovaná a může být pokládána za přechod mezi termoplasty a reaktoplasty.

Přísně lineární TPU jsou pro výrobu těsnění nepoužitelné, neboť vykazují poměrně trvalou deformaci. Používanější jsou částečně síťované materiály, které mohou být zpracovány většinou technologií pro termoplasty.

Společným znakem všech částečně síťovaných TPU je použití mírného přebytku diizokyanátu při jejich výrobě a jsou tedy chemicky blízké odlévaným systémům. Dají se považovat za odlévané polyuretany, u kterých byla během výroby zastavena síťovací reakce. Další zpracování při vysokých teplotách obnovuje průběh síťovací reakce a výsledný produkt již není zcela lineární. Konečných optimálních vlastností se u těchto materiálů dosahuje dodatečným temperováním v horkovzdušné sušárně při teplotách 90 až 110 °C po dobu 24 hodin.

Dodatečná temperace může být nahrazena odložením výrobků při normální teplotě 4 až 6 týdnů.

Velký přebytek diizokyanátu způsobuje větvení řetězce, takže výsledný produkt je síťovaný, ačkoliv byl termoplasticky zpracován. Přetoky a vadné výrobky je možné znovu zpracovávat, ale jen v omezeném počtu cyklů (maximálně 4x).

Porovnání vlastností TPU od různých výrobců uvádí speciální literatura a zaručované nebo směrné hodnoty fyzikálně-mechanických vlastností pro jednotlivé druhy TPU uvádějí výrobci ve svých prospektových podkladech. /7, 8/

Aplikace TPU na vysokotlakové těsnicí prvky je v poslední době značně rozšířena a výrobci zaručují dlouhodobou funkční teplotu 80 °C, krátkodobě 100 °C. Nepříznivý vliv vysoké trvalé deformace eliminují jednak specifickými úpravami základního elastomeru (v literatuře nepublikovanými), jednak konstrukčními úpravami těsnicích prvků.

Z vyráběných druhů TPU je podle dostupných informací pro těsnicí prvky převážně používán Elastollan firmy Basf.

Tento materiál je v a. s. Rubena zpracováván vstřikováním na vstřikovacím lisu plastikářského typu.

6. Návrh materiálu a jeho zpracování

Porovnáním výše uvedených technologií výroby bylo dosaženo následujících závěrů:

V podmínkách a. s. Rubena je reálná z kapacitních a prostorových důvodů pouze výroba vstřikováním. Došlo by k nahrazení klasických hydraulických lisů vstřikovacími lisy. Přibližně 5 x se zvýší produktivita práce, dojde k úspoře materiálu a energie a zejména pracovních sil. Za předpokladu vhodně dodávaného materiálu (v granulích) a vhodné konstrukce formy (automatické oddělení vtoku od výrobku při otevírání formy) dojde k úspoře pracovních sil při těchto operacích:

- míchání směsí
- příprava polotovarů
- konfekce (příprava a lepení náloží)
- konečná úprava výlisků

Práci dělníků při těchto operacích zastane obsluha vstřikovacího lisu. Automaticky odpadne i rozsáhlá mezioperační příprava materiálu. Velkou nevýhodou zavedení nové technologie je značná finanční náročnost při nákupu strojního zařízení. Rovněž se zvýší počet normohodin při výrobě formy. /4/

Pro výrobu stíracích kroužků se doposud používal AU kaučuk. Tento kaučuk má až na výjimky nejlepší fyzikálně-mechanické vlastnosti (viz 4. 2.). Jako jediný je použitelný na utěsňování tlaků nad 10 MPa. Jeho velkou nevýhodou je to, že se nedá zpracovat vstřikováním. Byl tedy hledán materiál, který má přibližně stejné fyzikálně-mechanické vlastnosti a jde vstřikovat. Jelikož se u nás takový materiál nenalézá, bylo vybráno několik materiálů z oblasti TPU. V a. s. Rubena byly provedeny zpracovatelské zkoušky na vstřikovací stroji CS 88/63 z TOSu Rakovník.

Byly porovnány tyto materiály:

- Desmopan
- Syspur ET
- Elastollan

Z těchto materiálů nejlépe vyhovoval Elastollan firmy BASF, která nabízí tento materiál ve velkém rozsahu vlastností.

Porovnáním fyzikálně-mechanických vlastností byl z /7,8/ vybrán Elastollan C 95 A, který byl ve /4/ navržen pro výrobu těsnicí manžety. Jelikož se stírací kroužek a těsnicí manžeta montují do PČH nejčastěji jako komplet a pracují tedy ve stejných podmínkách (viz 3.2.1.), byl pro výrobu stíracího kroužku zvolen rovněž Elastollan C 95 A.

6. 1. Elastollan C 95 A

Podle údajů udávaných výrobcem je tento materiál dostatečně schopný nahradit nejkvalitnější směsí z AU kaučuku. V některých ohledech překonává nedostatky AU směsí. Elastollan má menší sklon k hydrolýze, větší rozsah teplotní použitelnosti a nižší lepivost vůči formě. Tím vlastně odstraňuje největší nedostatky AU kaučuků. /4/

Některé parametry Elastollanu C 95 A uváděné výrobcem:

- cena za 1 kg je 10 DM
- forma granulátu cylindrická
- barva přírodní

- teplotní odolnost od -40 do $+80$ °C, krátkodobě $+100$ °C
- pevnost v tahu minimálně 35 MPa
- tažnost minimálně 400 %
- tvrdost podle Shore A 96 ± 2 Sh A
- hustota $1,21 \text{ g/cm}^3$

6. 2. Zpracování Elastollanu

Termoplastické elastomery ve formě granulátu se vysouší v sušárně při 80 °C až 120 °C po dobu 4 hodin, míchají v jednoduchém zařízení s přísadami a dále vstříkují do forem na vstřikovacím stroji plastikářského typu. Teploty plastikační jednotky jsou v rozmezí 180 °C až do 240 °C. Doba chlazení výlisku ve formě je v závislosti na jeho tloušťce a pohybuje se v rozmezí od několika sekund do několika desítek sekund při teplotě 30 °C až 50 °C. Výlisky se zbavují vstřikovacích kanálů ihned po vyjmutí z formy (automaticky nebo ručně). Přetoky se zpracovávají drcením na drticích mlýnech a lze je v omezeném množství přidávat do nových výrobků (viz 7. 2.). Součástí výroby je dodatečná tepelná úprava všech výlisků při teplotě 90 °C až 120 °C po dobu 8 až 16 hodin. /2/

7. Fyzikálně-mechanické zkoušky

Doposud se v a. s. Rubena Náchod na výrobu stíracích kroužků a těsnicích prvků používaly vysoce kvalitní směsi z AU kaučuků. Mezi nejkvalitnější patří směsi s podnikovým označením 81 094 a 8159. /2/. Tyto materiály byly v /4/ porovnávány s Elastollanem C 95 A, kde jsou také uvedeny podmínky a podrobný postup zkoušek. Jelikož byl pro výrobu stíracích kroužků navržen stejný materiál (viz 6.), jsou v této kapitole uvedeny pouze výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek provedených v /4/.

7. 1. Stanovení fyzikálně-mechanických vlastností
Elastollanu C 95 A

Směsi 81 094, 8159 a TPU (Elastollan C 95 A) byly porovnávány těmito zkouškami:

- a) stanovení meze teploty křehnutí
- b) stanovení tvrdosti Shore A
- c) stanovení trvalé deformace v tlaku
- d) stanovení odolnosti pryže vůči božnání
- e) stanovení tahových vlastností
- f) stanovení urychleného tepelného stárnutí na vzduchu

ad a) Stanovení meze teploty křehnutí

Touto zkouškou je stanovena nejnižší teplota, při které se pryž za podmínek zkoušky neporuší.

Při této zkoušce dosahoval nejlepších výsledků Elastollan C 95 A (-40°C) proti doposud používaným materiálům 81 094 (-34°C) a 8159 (-32°C). To znamená, že v této oblasti je Elastollan C 95 A schopen dosavadní materiály plně nahradit.

ad b) Stanovení tvrdosti Shore A

Metoda je založena na měření odporu pryže proti vtlačování hrotu.

Nejvyšších hodnot zde dosahoval materiál 81 094 (96 ShA), který také patří k nejtvrdším pryžím, z nichž se stírací kroužky vyrábějí. U Elastollanu C 95 A byla zjištěna průměrná hodnota tvrdosti 95 Sh A, která je pro zabezpečení funkčnosti a životnosti stíracího kroužku dostatečná.

ad c) Stanovení trvalé deformace v tlaku za podmínek konstantní deformace

Podstatou zkoušky je stlačení zkušebního tělesa předepsaných rozměrů při konstantní deformaci 25 %, dané teplotě a době zkoušky v předepsaném prostředí a stanovení změny výšky zkušebního tělesa po zkoušce.

Nejvyšší hodnota trvalé deformace v tlaku byla naměřena u Elastollanu C 95 A, a to více než 40 %. Proti doposud používaným materiálům (33,3 %, respektive 24,2 %) představuje tato hodnota negativní nárůst, ale nemá zásadní vliv na funkci stíracího kroužku.

ad d) Stanovení odolnosti pryže proti působení kapalin
(vůči botnání)

Tato zkouška stanoví odolnost pryže proti působení minerálních olejů a jiných kapalin předepsaných materiálými normami. Odolnost se určuje změnou objemu, hmotnosti a rozměrů zkušební tělesa poneřeného do zkušební kapaliny za podmínek zkoušky.

Zkouška se vyjadřuje procentuální změnou a poskytuje informace o vhodnosti pryží pro použití ve styku s kapalinou a pro kontrolu jakosti. Jako zkušební kapalina byl při této zkoušce použit standartní olej ASTM č. 2, ve kterém vykazovaly všechny porovnávané materiály velmi nízké hodnoty kladného objemového i hmotnostního botnání, které jsou pro funkci stíracího kroužku optimální.

ad e) Stanovení tahových vlastností

Tato zkouška se používá pro stanovení meze pevnosti v tahu, tažnosti a napětí při daném prodloužení pryže na zkušebních tělesech. Podstatou zkoušky je namáhání zkušební tělesa tahem konstantní rychlostí až k jeho přetržení.

Při této zkoušce dosahoval TPU nejvyšších hodnot. Jeho průměrná pevnost v tahu je 38,65 MPa (oproti 35,38 MPa a 26,67 MPa u klasických směsí), průměrná tažnost je 560 % (dosavadní směsi dosahují 288,8 %, respektive 197,6 %). Z uvedených výsledků je zřejmé, že i v této oblasti lze dosavadní materiály nahradit TPU.

ad f) Metoda stanovení urychleného tepelného stárnutí na vzduchu

Podstatou této zkoušky je porovnání fyzikálních vlastností zkušebních těles vystavených v nedeformovaném stavu účinku cirkulujícího vzduchu po stanovenou dobu při zvýšené teplotě a zkušebních těles nevystavených tepelnému stárnutí. Vzhledem k předcházejícím měřením byla při zkoušce určena pevnost v tahu, tažnost, protažení a tvrdost.

Během urychleného tepelného stárnutí na vzduchu nezměnil hodnotu tvrdosti ani jeden ze zkoušených materiálů. Průměrná hodnota pevnosti v tahu klesla u 81 094 o 2,94 %, u 8159 o 3,75 % a u TPU o 5,27 %. Tažnost a průtažnost klesla nejvíce u 81 094. Nezměnila se hodnota tažnosti u TPU a průtažnosti u 8159. Z těchto výsledků vyplývá, že i v tomto případě lze doposud používané materiály nahradit TPU.

7.1.1. Zhodnocení fyzikálně-mechanických zkoušek

Fyzikálně-mechanické zkoušky měly za úkol porovnat nově navrhovaný TPU (Elastollan C 95 A) s doposud používanými materiály (81 094, 8159) a určit, zda je TPU schopen tyto směsi nahradit.

Uvedené hodnoty zkoušek ukazují, že Elastollan C 95 A dosahuje v porovnání s dosavadními materiály nejvyšší průměrnou hodnotu pevnosti v tahu a nejvyšší průměrnou hodnotu tažnosti, naopak trvalá deformace v tlaku vykazuje méně příznivé hodnoty.

V ostatních případech dosahuje Elastollan C 95 A přibližně stejné hodnoty tvrdosti, botnání a stárnutí.

Provedenými zkouškami bylo zjištěno, že navrhovaný Elastollan C 95 A je schopen plně nahradit nejvyšší AU směsi (81 094, 8159), které se doposud používaly pro výrobu stíracích kroužků pro PČH.

7. 2. Stanovení fyzikálně-mechanických vlastností Elastollanu C 95 A s použitím určitého procenta odpadového materiálu

Odborná literatura /7, 8/ uvádí následující: pro zvýšení efektivity výroby lze TPU (to znamená i Elastollan C 95 A) recyklačně zpracovat.

Následující fyzikálně-mechanické zkoušky mají ověřit použití TPU (Elastollan C 95 A) se zpětným využitím odpadu a stanovit vliv jeho množství na změnu fyzikálně-mechanických hodnot. Zkušební tělesa pro tyto zkoušky byla vyrobena z TPU bez odpadu a z TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %.

Byly provedeny následující zkoušky:

- stanovení meze teploty křehnutí
- stanovení tvrdosti Shore A
- stanovení trvalé deformace v tlaku za podmínek konstantní deformace
- stanovení odolnosti pryže proti působení kapaliny
- stanovení tahových vlastností

7.2.1. Stanovení meze teploty křehnutí

Podstatou zkoušky je stanovení nejnižší teploty, při které se materiál za podmínek zkoušky neporuší.

Zkušební tělesa

Pro zkoušku se použijí tělesa ve tvaru pásku o rozměrech:

délka 25 až 45 mm

šířka $6 \pm 0,5$ mm

tloušťka $2 \pm 0,2$ mm

Pásky se vysekávají výsekovým nožem z vylisovaných a tepelně upravených desek. Při každé teplotě se zkouší minimálně čtyři zkušební tělesa.

Zkušební zařízení

Upínací zařízení pro upnutí čtyř pásků, nárazníky pro jejich ohýbání, chladičí zařízení pro ochlazování zkušebních těles a pro rovnoměrné udržování teploty, teploměr, tloušťkoměr, stopky.

Postup zkoušky

Zkušební tělesa se upevní do upínacích svorek a přípravků se ponoří do chladicí kapaliny. Po dosažení požadované teploty se zkušební tělesa nechají $3 \pm 0,5$ min. v kapalině. Poté se vyjmou, nárazníkem uvolní a prohlédnou se. Těleso se považuje za porušené, jestliže se objeví trhlinka, rozštěpení či změna barvy. Neobjeví-li se žádné porušení, ohýbá se ručně pod úhlem 90° a znovu se prohlédne. Objeví-li se příznaky porušení, považuje se těleso za porušené.

Je-li při dané teplotě jedno ze čtyř zkušebních těles porušeno, považuje se pryž za porušenou. Při každé teplotě se zkouší nová tělesa. Zkouška začíná teplotou, při které se očekává porušení hodnocené pryže. Teplota se reguluje tak dlouho, až jsou všechna čtyři tělesa i po ohybech neporušena. Tato teplota představuje mez teploty křehnutí.

Zápis o zkoušce

1) Zkoušeny materiály: TPU bez odpadu

TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %

2) Zkušební tělesa: pásy $25 \times 6 \times 2$ mm

3) Chladicí prostředí: kapalný dusík

4) Podmínky zkoušky: teplota vzduchu 22°C

tlak vzduchu 1010 hPa

relativní vlhkost vzduchu 52 %

5) Výsledky měření:

T_b ($^\circ\text{C}$)	TPU	TPU-10	TPU-20	TPU-30	TPU-100
- 38	čistá	čistá	čistá	čistá	čistá
- 40	čistá	čistá	čistá	čistá	čistá
- 42	čistá	<u>čistá</u>	<u>čistá</u>	čistá	čistá
- 44	<u>čistá</u>	<u>trhlina</u>	<u>trhlina</u>	<u>čistá</u>	<u>čistá</u>
- 46	<u>trhlina</u>			<u>trhlina</u>	<u>trhlina</u>
- 48					
- 50					

Zhodnocení zkoušky

Porovnáme-li jednotlivé hodnoty při stanovení meze křehnutí, lze říci, že nejlepší výsledky dosahuje TPU bez odpadu a TPU s odpadem 30 % a 100 %, tj. - 44 °C. TPU s odpadem 10 % a 20 % snesou teplotu - 42 °C. Procento odpadu tedy příliš hodnotu meze křehnutí neovlivní. Naměřené hodnoty jsou zcela vyhovující.

7.2.2. Stanovení tvrdosti Shore A

Metoda je založena na měření odporu pryže proti vtlačování hrotu přístroje.

Zkušební tělesa

Zkušební těleso má tvar kotouče. Rozměry musí umožňovat měření tvrdosti (H) tak, aby vzdálenost mezi jednotlivými body měření byla nejméně 13 mm. Tloušťka zkušebního tělesa musí být nejméně 8 mm. Zkouší se nejméně jedno těleso.

Zkušební zařízení

Tvrdoměr, kovová podložka.

Postup zkoušky

Tvrdot se zkouší na mechanicky nezatíženém zkušebním tělese při teplotě 23 ± 2 °C. Zkušební těleso je umístěno na tvrdé podložce. Tvrdoměr se přiloží na zkušební těleso bez nárazu v kolmém směru tak, aby se opěrná patka dotýkala zkušebního tělesa. Tvrdot se odečítá na stupnici přístroje za 3 s od okamžiku přiložení. Tvrdot se měří nejméně na třech místech zkušebního vzorku.

Zápis o zkoušce

- 1) Zkoušený materiál: TPU bez odpadu
TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %
- 2) Zkušební těleso: kotouč ϕ 40 x 2 mm vyseknutý z vystříknutých desek; kotouče se vrství po čtyřech na sebe
- 3) Doba odečtení tvrdosti: 3 s
- 4) Podmínky zkoušky: teplota vzduchu 23 °C
tlak vzduchu 1005 hPa
relativní vlhkost vzduchu 55 %

5) Výsledky měření:

materiál	TPU	TPU-10	TPU-20	TPU-30	TPU-100
číslo vzorku	ShA	ShA	ShA	ShA	ShA
1	95	95	96	96	95
2	96	97	96	96	96
3	96	96	95	96	96
4	95	96	96	96	96
5	96	95	96	96	96
aritmetický průměr	95,6	95,8	95,8	96	95,8

6) Datum zkoušky: 16. 3. až 18. 3. 1992

7) Číslo normy: ČSN 62 1431

Zhodnocení zkoušky

Nejvyšší průměrné hodnoty tvrdosti dosahuje TPU s odpadem 30 %. Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A jsou v souladu se záručními hodnotami PN 62 2101 a jsou pro zabezpečení funkčnosti a životnosti stíracího kroužku dostatečné.

7.2.3. Stanovení trvalé deformace v tlaku za podmínek konstantní deformace

Podstatou zkoušky je stlačení zkušebního tělesa předepsaných rozměrů při konstantní deformaci 25 %, dané teplotě a době zkoušky v předepsaném prostředí a stanovení změny výšky zkušebního tělesa po zkoušce.

Zkušební tělesa

Zkušební tělesa mají tvar kotoučů $\phi 29 \times 2$ mm, které se vysekvávají z desek a vrství se po šesti na sebe.

Zkušební zařízení

Zkušební zařízení tvoří:

- dvě rovné, paralelně uspořádané chromované vysoce leštěné desky z oceli, mezi kterými se stlačují zkušební vzorky. Požadovaná konstantní deformace se dosahuje třemi opěrnými vložkami o výšce $h_g = 9,38 \pm 0,01$ mm

- elektrická pec s regulací teploty do 250 °C, do které se vloží stračovací zařízení
- tloušťkoměr

Postup zkoušky

Zkušební tělesa se změří tloušťkoměrem s přesností 0,01 mm a spolu s opěrnými vložkami se vloží mezi očištěné desky, které se stahují tak, až dosednou na vložky. Přípravek se vloží do pece se zkušební teplotou. Po uplynutí zkušební doby se přípravek vyjme a rozšroubuje. Zkušební tělesa se 30 min. po vyjmutí proměří. Po zkoušce se vzorky rozřežou a jsou-li v materiálu defekty, je nutno zkoušku opakovat s jinými tělesy.

Zpracování výsledků

$$C = \frac{h_o - h}{h_o - h_s} \cdot 100 (\%), \text{ kde je } C - \text{trvalá deformace v tlaku } (\%)$$

h_o - výška zk. tělesa před zkouškou
 h - výška zk. tělesa po odležení
v mm
 h_s - výška opěrných vložek v mm

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr hodnot trvalé deformace naměřených na třech zkušebních tělesech.

Zápis o zkoušce:

- 1) Zkoušeny materiály: TPU bez odpadu
TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %
- 2) Zkušební tělesa: vzorky skládané ze šesti vysekaných kotoučů ϕ 29 x 2 mm
- 3) Teplota zkoušky a doba trvání zkoušek: $T = 70^\circ\text{C}$
 $t = 24$ hodin
- 4)

Výsledky zkoušky:

TPU bez odpadu

číslo vzorku	h_o /mm/	h /mm/	C /%/
1	13,05	11,65	38,15
2	13,14	11,64	37,23
3	12,98	11,58	38,89

TPU s odpadem 10 %

číslo vzorku	h_o /mm/	h /mm/	C /%/
1	12,42	11,02	46,05
2	12,46	11,04	46,10
3	12,75	11,26	44,21

TPU s odpadem 20 %

číslo vzorku	h /mm ⁹	h /mm/	C / %/
1	12,88	11,49	46,00
2	12,64	11,25	43,04
3	12,45	11,08	45,11

TPU s odpadem 30 %

číslo vzorku	h /mm ⁹	h /mm/	C / %/
1	12,94	11,44	42,13
2	12,68	11,19	45,15
3	12,76	11,31	42,90

TPU s odpadem 100 %

číslo vzorku	h /mm ⁹	h /mm/	C / %/
1	12,48	11,08	45,16
2	12,68	11,28	42,42
3	13,25	11,75	38,76

		odpad			
aritmetický průměr	TPU	10 %	20 %	30 %	100 %
C (%)	38,09	45,45	44,72	43,40	42,11

5) Datum měření: 23. 3. až 24. 3. 1992

6) Číslo normy: ČSN 62 1456

Zhodnocení zkoušky

Trvalá deformace v tlaku dosahuje nejnižší hodnoty u TPU bez odpadu 38,09 %. Nejvyšší hodnota trvalé deformace v tlaku byla zjištěna u TPU s odpadem 10 %, tj. 45,45 %. Všechny hodnoty trvalé deformace splňují zaručovanou hodnotu dle PN 62 2101.

7.2.4. Stanovení odolnosti pryže proti působení kapalin

Úkolem této zkoušky je stanovit odolnost pryže proti působení minerálních olejů a jiných kapalin předepsaných materiálovými normami. Odolnost pryže určuje změna objemu (B_v),

hmotnosti (B_g) a rozměrů (B_l) zkušební tělesa ponořeného do zkušební kapaliny při dané teplotě po určitou dobu. Zkouška poskytuje informace o vhodnosti pryží pro použití ve styku s danou kapalinou a pro kontrolu jakosti.

Zkušební tělesa

Zkušební tělesa se vysekávají z vystříknutých desek na rozměr 20 x 20 x 2 mm. Používají se nejméně tři zkušební tělesa.

Zkušební zařízení

Ke zkušebnímu zařízení patří:

- nádobka odolná dané kapalině
- analytické váhy
- termostat s rozsahem 50 - 200 °C

Zkušební kapaliny

Přehled kapalin používaných ke stanovení odolnosti pryže vůči botnání uvádí ČSN 02 1510.

Postup zkoušky

Zkušební tělesa se zváží na vzduchu a ve vodě před botnáním. Ponoří se do zkušební kapaliny a nádoba se uzavře do termostatu na stanovený čas a teplotu. Po uplynutí zkušební doby se tělesa vyjmou, ochladí, osuší a zváží na vzduchu a ve vodě. Hodnoty fyzikálních vlastností po botnání se stanoví dle ČSN 62 1431 a ČSN 1436.

Zpracování výsledků

$$B_v = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{k \cdot (m_1 - m_2)} \cdot 100 \text{ } \%, \text{ kde je:}$$

$$B_g = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \cdot 100 \text{ } \%$$

- B_v - změna objemu (%)
- m_2 - hmotnost zk. tělesa ve vodě před botnáním (g)
- m_1 - hmotnost zk. tělesa na vzduchu před botnáním (g)
- m_3 - hmotnost zk. tělesa na vzduchu po botnání (g)

m_4 - hmotnost zk. tělesa
ve vodě po botnění (g)
 B_g - změna hmotnosti (%)
 k - hustota kapaliny
použité pro vážení
v $g \cdot cm^{-3}$

Výsledkem je aritmetický průměr ze tří měření. Změnu hodnot fyzikálních vlastností se vyjádří v procentech původní hodnoty.

Zápis o zkoušce

- 1) Zkoušeny materiály: TPU bez odpadu
TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %
- 2) Zkušební tělesa: pro každý materiál tři zkušební tělesa
o rozměrech 20 x 20 x 2 mm.
- 3) Zkušební kapalina: standartní olej ASTM č. 2
- 4) Teplota zkoušky a doba trvání zkoušky: $T = 70^\circ C$
 $t = 72$ hodin;

váženo v destilované vodě $\rho_k = 1 g \cdot cm^{-3}$

- 5) Výsledky měření:

TPU bez odpadu

číslo vzorku	m_1 /g/	m_2 /g/	m_3 /g/	m_4 /g/	B /%/	B_g /%/
1	1,5746	0,2674	1,5832	0,2628	1,010	0,546
2	1,6840	0,2917	1,7079	0,2932	1,609	1,419
3	1,5983	0,2769	1,6224	0,2779	1,748	1,508

TPU s odpadem 10 %

číslo vzorku	m_1 /g/	m_2 /g/	m_3 /g/	m_4 /g/	B /%/	B_g /%/
1	1,6372	0,2708	1,6607	0,2715	1,67	1,44
2	1,6338	0,2631	1,6640	0,2644	2,11	1,85
3	1,5941	0,2769	1,6090	0,2778	1,06	0,93

TPU s odpadem 20 %

číslo vzorku	$\frac{m_1}{g}$	$\frac{m_2}{g}$	$\frac{m_3}{g}$	$\frac{m_4}{g}$	$\frac{B}{\%}$	$\frac{B}{\%}$
1	1,6000	0,2678	1,6201	0,2683	1,47	1,26
2	1,6440	0,2716	1,6804	0,2778	2,20	2,18
3	1,5998	0,2460	1,6340	0,2631	1,26	0,89

TPU s odpadem 30 %

číslo vzorku	$\frac{m_1}{g}$	$\frac{m_2}{g}$	$\frac{m_3}{g}$	$\frac{m_4}{g}$	$\frac{B}{\%}$	$\frac{B}{\%}$
1	1,5870	0,2690	1,6070	0,2730	1,930	0,075
2	1,6500	0,2376	1,6811	0,2501	1,32	0,850
3	1,6590	0,2878	1,6832	0,2886	1,82	1,43

TPU s odpadem 100 %

číslo vzorku	$\frac{m_1}{g}$	$\frac{m_2}{g}$	$\frac{m_3}{g}$	$\frac{m_4}{g}$	$\frac{B}{\%}$	$\frac{B}{\%}$
1	1,6223	0,3035	1,651	0,3050	2,06	1,74
2	1,5903	0,2677	1,591	0,2633	1,596	1,232
3	1,6510	0,276	1,6908	0,2735	3,04	2,41

	odpad				
	TPU	TPU-10	TPU-20	TPU-30	TPU-100
$\frac{B_v}{\%}$	1,456	1,613	1,643	1,69	2,232
$\frac{B_g}{\%}$	1,158	1,407	1,443	0,785	1,794

6) Datum zkoušky: 30. 3. až 31. 3. 1992

7) Číslo normy: ČSN 62 1510

Zhodnocení zkoušky

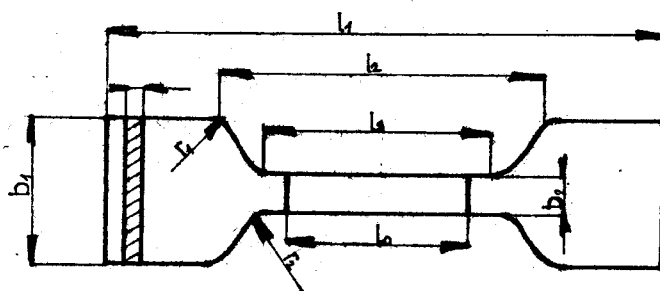
Pro zajištění funkční vlastnosti stíracího kroužku je požadována objemová změna materiálu 0 až 10 %. TPU bez odpadu a TPU s odpadem 10 až 100 % vykazuje v oleji nízké hodnoty objemového i hmotnostního botnění, které jsou pro funkci stíracího kroužku optimální.

7.2.5. Stanovení tahových vlastností

Podstatou zkoušky je namáhání zkušební tělesa tahem konstantní rychlostí až k jeho přetržení. Zkouška stanovuje mez pevnosti v tahu, tažnost a napětí při daném prodloužení elastomeru na zkušebních tělesech předepsaného tvaru a rozměru.

Zkušební tělesa

Zkušební tělesa, která mají tvar oboustranných lopatek (obr. 6) nebo kroužků, se vysekávají noži z vylisovaných a z vulkanizovaných desek.



l_1	$= 115 \text{ mm}$
l_2	$= 80 \pm 0,5 \text{ mm}$
l_3	$= 33 \pm 2 \text{ mm}$
l_0	$= 25 \pm 1 \text{ mm}$
b_1	$= 25 \pm 1 \text{ mm}$
b_2	$= 6 \pm 0,4 \text{ mm}$
r_1	$= 25 \pm 2 \text{ mm}$
r_2	$= 14 \pm 1 \text{ mm}$
d	$= 2 \pm 0,2 \text{ mm}$

Obr. 6. Tvar a rozměry zkušební tělesa

Měřená délka pracovní části je označena dvěma značkami kolmo k ose.

Zkušební zařízení

Trhací stroj s konstantní rychlostí posunu, měřidlo, tloušťkoměr.

Postup zkoušky

Lopatka se upne do čelistí trhacího stroje a rovnoměrně se namáhá tahem.

Zkouška se stanovuje:

- a) síla F_x při daném prodloužení měřené délky pracovní části zkušebního tělesa
- b) síla F_r v okamžiku přetržení zkušebního tělesa
- c) velikost měřené délky pracovní části v okamžiku přetržení zkušebního tělesa l_r

Zpracování výsledků

- a) pevnost v tahu ζ_r /MPa/

u lopatek $\zeta_r = \frac{F_r}{S_0}$, kde S_0 - počáteční průřez zkušebního tělesa v mm^2

F_r - síla potřebná k přetržení tělesa v N

b - šířka zkušebního tělesa v mm

t - tloušťka zkušebního tělesa v mm

- b) tažnost ε_r %/

u lopatek $\varepsilon_r = \frac{l_r - l_0}{l_0} \cdot 100$, kde l_0 - počáteční měřená délka pracovní části v mm

l_r - měřená délka prac. části v okamžiku přetržení v mm

Místo výpočtu modulu byla vzhledem ke zvyklostem v a. s. Rubena určena tzv. průtažnost ε_p %/. Roztržené části lopatky se přiloží k sobě a změří se délka pracovní části l_p (mm).

$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \cdot 100$, kde l_p je délka pracovní části po přetržení

Zápis o zkoušce

- 1) Zkoušeny materiály: TPU bez odpadu

TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %

- 2) Zkušební tělesa: vysekaná z desek ve tvaru lopatky (obr. 6.)

Pro každý materiál 5 vzorků

- 3) Podmínky zkoušky: teplota vzduchu 24 °C
tlak vzduchu 1005 hPa
relativní vlhkost vzduchu 56 %

4) Výsledky měření:

TPU bez odpadu

číslo vzorku	t	F _r	l _r	l _r	ε _r	ε _p	l _p
1	2,18	492	158	37,61	532	96	49
2	2,07	478	165	38,49	560	92	48
3	2,13	480	155	37,25	520	108	52
4	2,09	504	149	40,19	496	120	55
5	2,11	491	165	38,78	560	112	53
aritmetický průměr				38,53	533,6	105,6	

TPU s odpadem 10 %

číslo vzorku	t	F _r	l _r	l _p	l _r	ε _r	ε _p
1	2,08	496	142	49	39,74	468	96
2	2,12	502	148	53	39,47	492	112
3	2,18	501,5	151	51	38,34	504	104
4	2,14	488	144	52	38,01	476	108
5	2,10	510	150	54	40,48	500	116
aritmetický průměr					39,21	488	107,2

TPU s odpadem 20 %

číslo vzorku	t	F _r	l _r	l _p	l _r	ε _r	ε _p
1	2,05	498	160	55	40,49	540	120
2	2,11	489	162	53	38,63	508	112
3	2,16	530	156	51	40,90	524	104
4	2,14	524	168	58	40,81	572	132
5	2,08	508,5	165	56	40,75	560	124
aritmetický průměr					40,32	540,8	118,4

TPU s odpadem 30 %

číslo vzorku	t	F _r	l _r	l _p	ζ _r	ε _r	ε _p
1	2,08	518,6	145	46,5	41,55	480	86
2	2,15	524	130	43	40,62	420	72
3	2,10	520	150	48	41,27	500	92
4	2,06	519	152	48	41,99	508	92
5	2,16	532	145	46	41,05	480	84
aritmetický průměr					41,27	477,6	85,2

TPU s odpadem 100 %

číslo vzorku	t	F _r	l _r	l _p	ζ _r	ε _r	ε _p
1	2,06	470	148	54	38,02	492	116
2	2,07	520	156	57	41,87	524	128
3	2,15	490	156	56	39,84	524	124
4	2,09	482	159	55	38,44	536	120
5	2,10	468	145	49	37,14	480	96
aritmetický průměr					39,06	511,2	116,8

	odpad				
	TPU	TPU-10	TPU-20	TPU-30	TPU-100
ζ _r /MPa/	38,53	39,21	40,32	41,27	39,06
ε _r /%/	533,6	488	540,8	477,6	511,2

Zhodnocení zkoušky

Z naměřených výsledků vyplývá, že TPU s odpadem 30 % dosahuje nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu 41,27 MPa. Nejnižší průměrné hodnoty pevnosti v tahu dosahují TPU bez odpadu 38,53 MPa a TPU s odpadem 100 %, tj. 39,06 MPa.

Průměrné hodnoty tažnosti jsou největší u TPU s odpadem 20 %, tj. 540,8 % a nejmenší u TPU s odpadem 30 %, tj. 477,6 %.

Všechny naměřené hodnoty jsou v souladu s hodnotami uváděnými v PN 62 2101.

7. 3. Zhodnocení fyzikálně-mechanických vlastností Elastollanu C 95 A s určitým procentem odpadu

Výše uvedené zkoušky měly porovnat TPU bez odpadu s TPU s 10, 20, 30 a 100 % odpadu a stanovit hlavní fyzikálně-mechanické vlastnosti těchto směsí.

Z naměřených hodnot vyplývá, že TPU s 10, 20, 30 a 100 % odpadu dosahuje vyšších hodnot pevnosti v tahu a tvrdosti Shore A, než TPU bez odpadu.

Trvalá deformace v tlaku dosahuje u TPU s odpadem vyšší hodnoty, i když je splněn předpis PN 62 2101. Nejprůzračnější a nejvyrovnanější hodnoty vykazuje směs TPU s 30 % odpadu.

Tato směs je doporučena k výrobě stíracích kroužků 160 PN 02 9295.

Provedené zkoušky ověřily možnost zpětného využití odpadu termoplastického polyuretanu do nového materiálu pro další výrobu nejen stíracích kroužků, ale i ostatních těsnicích prvků.

Využitím odpadového materiálu, který u technologie vstřikování činí asi 3 %, dochází ke značné úspoře zahraničních surovin.

8. Vstřikovací forma

Jak již bylo uvedeno, stírací kroužek neodmyslitelně patří ke každému modernímu hydraulickému zařízení. Montuje se jako komplet s těsnicí manžetou (viz 3.2.1.) a jeho funkcí je stírat nečistoty z pístnice, a tak zabezpečit správnou funkci těsnicí manžety. Proto byl tento prvek vybrán

k ověření vhodnosti nového materiálu a nové technologie výroby.

Ve spolupráci s vývojovým oddělením podniku byla navržena vstřikovací forma pro stírací kroužek PN 02 9295.

8. 1. Parametry zadání

Parametry vstřikovaného materiálu - Elastollan C 95 A:

- parametry fyzikálně-mechanických vlastností udávaných výrobcem viz 6.1.
- smrštění udává výrobce v rozsahu 0,8 až 2,0 %, v a. s. Rubena byly provedeny technologické zkoušky, jejichž výsledky udávají smrštění 0,7 až 1,1 % ve všech směrech (viz 9) /1/.

Tvar a rozměry stíracího kroužku jsou uvedeny na sestavě vstřikovací formy.

Parametry stroje (TOS Rakovník) - vstřikovací lis CS 88/63:

- maximální objem vstřiku $Q_v = 88 \text{ cm}^3$
- uzavírací a přidržovací síla $F_p = 630 \text{ kN}$
- maximální výška nástroje $h_{\max} = 265 \text{ mm}$
- minimální výška nástroje $h_{\min} = 140 \text{ mm}$
- maximální otevření nástroje $l_{\max} = 515 \text{ mm}$
- plastikační výkon $Q_p = 55 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$
- vstřikovací tlak při normálním průměru šneku $p_1 = 120 \text{ MPa}$

8. 2. Technologické výpočty

8.2.1. Výpočet násobnosti formy

$$n = \frac{Q_v \cdot X}{M + m} \quad /9/, \text{ kde } n - \text{maximální násobnost formy}$$

Q_v - vstřikovací kapacita stroje v cm^3
 X - objemový koeficient /7/
 M - hmotnost jednoho vstřiku v g
 m - přírážka na vtokový zbytek v g

Podle PN 02 9295 je přibližná hmotnost 100 ks stíracích kroužků 2,5 kg. Z toho připadá na jeden stírací kroužek 25 g. Hmotnost vtokového zbytku je uvažována jako 20 % hmotnosti stíracího kroužku: $m = 0,2 \cdot M = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ g}$

$$n = \frac{88 \cdot 0,73}{25 + 5} = \frac{64,24}{30} = 2,14$$

Volena dvouotisková forma.

8.2.2. Kontrola uzavírací síly

Uzavírací síla lisu musí zabránit otevření vstřikovací formy i při maximálním tlaku v dutině formy.

Tato síla se vypočte podle vztahu: $F_p = n \cdot S \cdot p$, kde

n - maximální násobnost formy

S - průmět plochy výstřiků včetně vtokových kanálů do směru uzavírání formy

p - maximální tlak v dutině formy; $p = 120 \text{ MPa}$

$$S = 1,2 \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = 1,2 \cdot \frac{\pi}{4} (172^2 - 157,5^2) = 4503 \text{ mm}^2, \text{ kde}$$

koeficient 1,2 představuje 20 % přírážky na plochu vtokové části.

Výrobce udává $F_{p \max} = 630 \text{ kN}$. Musí být tedy splněna podmínka

$$F_p \leq 0,9 F_{p \max} = 567 \text{ kN}$$

$$F_p = n \cdot S \cdot p = 2 \cdot 4503 \cdot 120 = 1081 \text{ kN}$$

z toho vyplývá, že $F_p > F_{p \max}$.

Pro uzavření dvouotiskové vstřikovací formy pro stírací kroužek 160 PN 02 9295 je nutná síla 1081 kN. U lisu CS 88/63 uvádí výrobce maximální bezpečnou uzavírací sílu 567 kN. Z tohoto důvodu je nutné volit jednootiskovou vstřikovací formu $n = 1$.

Kontrola uzavírací síly pro $n = 1$:

$$F_p = n \cdot S \cdot p = 1 \cdot 4503 \cdot 120 = 540 \text{ kN}$$

Pro jednootiskovou vstřikovací formu je splněna podmínka

$$F_p \leq 0,9 F_{p \max} \quad \underline{540 \text{ kN} < 567 \text{ kN}}$$

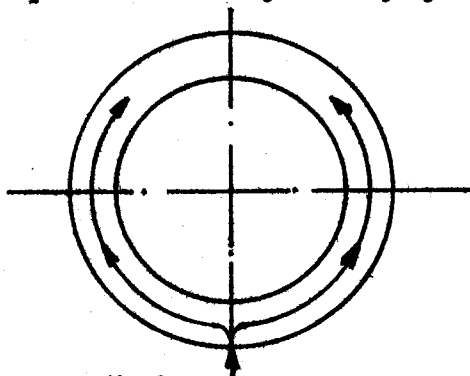
8. 3. Popis funkce nástroje

Jedná se o jednootiskový třídílný vstřikovací nástroj s rovnovážnou soustavou rozváděcích kanálů a bočním tunelovým vtokem, s vyražením vtokového zbytku a vyhazovačem výrobků. Třídílné řešení umožňuje automatizaci provozu nástroje, neboť k oddělení vtokového zbytku dochází přímo v nástroji. Funkci středního dílu plní v tomto případě pevně spojené desky posice 6 a 7. Polohu středního dílu vymezuje posice 23. Rozváděcí kanál je půlkruhového průřezu, z něho vystupuje do otisku kuželový kanál, který je zakončen tunelovým vtokem. Nástroj má dvě dělicí roviny (DR). V základní DR (mezi posicemi 7 a 8) je umístěn výrobek, ve druhé, pomocné DR (mezi posicemi 21 a 19) vtokový systém. Nástroj se otevírá v základní DR. Po dojetí pohyblivé části nástroje do zadní úrovně se pomocí vyražeče přes posice 14, 15, 16 a 17 oddělí výlisek od vtoku a zároveň dojde ke setření výlisku a oddělení vtokového systému. Po ukončení této fáze výlisek i vtokový zbytek automaticky spadnou do připravené přepravky. Uzavírání formy je odvozeno od stroje a probíhá v opačném sledu než otevírání. Správnou polohu vyražečů i středního stěracího dílu zajišťuje hlavní DR formy. Pro středění nástroje v základní DR jsou použity čtyři vodící sloupky posice 11 a pouzdra posice 12, respektive střední podložky posice 10 a 13. Temperace nástroje je řešena ve dvou okruzích. První okruh temperuje vložku posice 20, druhý okruh temperuje vložku posice 21. Těsnění temperačních okruhů je zajištěno pomocí 0 kroužků (viz 3. 1.). Forma se upíná dovstřikovacího lisu pomocí 4. upínek na bocích upínacích desek (posice 1 a 9).

8. 4. Systém plnění dutiny formy

Po vyrobení vstřikovací formy byla na vstřikovacím lisu CS 88/63 vyrobena ověřovací série stíracích kroužků 160 PN 02 9295. Dutina formy, která je ve tvaru prstence,

se plní dvěma směry. Tyto dva proudy se spojí v místě naproti vtoku. Schema zaplnění dutiny formy je znázorněno na obr. 7.



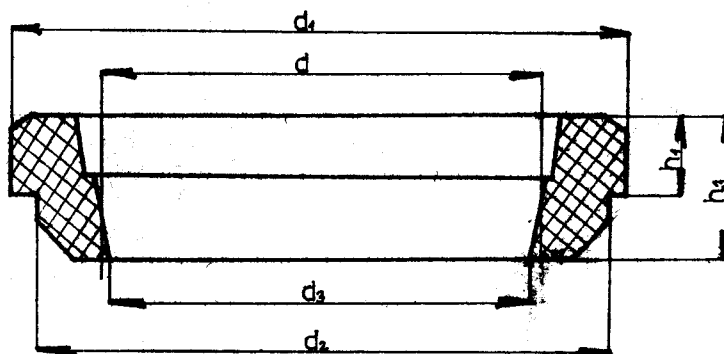
Obr. 7. Schema zaplnění dutiny formy

Při prvním zkušebním lisování byly zjištěny nedostatky v těsnosti chlazení u posice 21. Po demontáži formy bylo zjištěno chybné namontování těsnicích O kroužků. Namontováním nových O kroužků byla závada odstraněna.

Při dalším zkoušení formy již nebyly zjištěny žádné vizuální závady na výlisku, pevnostní hodnoty byly splněny dle požadavku 160 PN 02 9295.

9. Kontrola rozměrů stíracích kroužků

Podstatou této zkoušky je kontrola hlavních rozměrů stíracích kroužků (viz obr. 8.), která se provádí po jejich tepelné stabilizaci. Při zkoušce byly měřeny hlavní rozměry stíracích kroužků 160 PN 02 9295 z TPU bez odpadu a z TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %, přičemž z každé směsi byly namátkou vybrány 3 stírací kroužky. Měření bylo provedeno na zkušebním zařízení MONDO, které umožňuje vyhodnocení výsledků zkoušky na setiny milimetru (viz 9. 1.).



Obr. 8. Hlavní rozměry stíracího kroužku

průměr pístnice	d ₁	mezní úchylka	d ₂	mezní úchylka	d ₃	mezní úchylka	h ₁	mezní úchylka	h ₃	mezní úchylka
160	172	+ 0,8 0	169	± 0,4	157,5	± 0,4	5	± 0,2	10	± 0,3

Tab. Hlavní rozměry stíracího kroužku 160 PN 02 9295 a jejich mezní úchylky

U rozměrů d₁ a d₂ stanoví PN 02 9295 smrštění 1,1 % a u rozměru d₃ smrštění 0,7 %.

Zápis o zkoušce

1) Zkoušeny materiály: TPU bez odpadu

TPU s odpadem 10 %, 20 %, 30 % a 100 %

2) Zkušební tělesa: stírací kroužky 160 PN 02 9295

3) Podmínky zkoušky: teplota vzduchu 23 °C

4) Zkušební zařízení: MONDO (viz 9. 1.)

5) Výsledky zkoušky:

TPU bez odpadu

číslo vzorku	d /mm/	d ₁ /mm/	d ₂ /mm/	d ₃ /mm/	h ₁ /mm/	h ₃ /mm/
1	160	172,31	169,20	157,60	5,11	10,12
2		172,30	169,31	157,65	5,02	10,06
3		172,29	168,90	157,70	5,15	10,15

TPU s odpadem 10 %

číslo vzorku	d /mm/	d ₁ /mm/	d ₂ /mm/	d ₃ /mm/	h ₁ /mm/	h ₃ /mm/
1	160	172,32	169,21	157,71	5,10	10,08
2		172,29	169,30	157,60	5,05	10,11
3		172,30	169,20	157,55	5,12	10,10

TPU s odpadem 20 %

číslo vzorku	d /mm/	d ₁ /mm/	d ₂ /mm/	d ₃ /mm/	h ₁ /mm/	h ₃ /mm/
1	160	172,28	169,19	157,60	5,09	10,08
2		172,31	169,20	157,62	5,06	9,92
3		172,30	169,25	157,55	5,15	10,04

TPU s odpadem 30 %

číslo vzorku	d /mm/	d ₁ /mm/	d ₂ /mm/	d ₃ /mm/	h ₁ /mm/	h ₃ /mm/
1	160	172,30	169,18	157,53	5,05	10,06
2		172,31	169,20	157,51	5,08	10,09
3		172,29	169,22	157,60	5,06	10,05

TPU s odpadem 100 %

číslo vzorku	d /mm/	d ₁ /mm/	d ₂ /mm/	d ₃ /mm/	h ₁ /mm/	h ₃ /mm/
1	160	172,33	169,25	157,55	5,06	10,04
2		172,40	169,20	157,60	5,09	10,08
3		172,31	169,19	157,62	5,12	10,06

aritmetický průměr	TPU	odpad			
		10 %	20 %	30 %	100 %
d ₁ /mm/	172,30	172,30	172,29	172,30	172,35
d ₂ /mm/	169,14	169,24	169,21	169,20	169,21
d ₃ /mm/	157,65	157,62	157,59	157,55	157,59

6) Datum zkoušky: 18. 3. až 20. 3. 1992

7) Číslo normy: PN 02 9295

Zhodnocení zkoušky

Touto zkouškou byly kontrolovány hlavní rozměry stíracího kroužku 160 PN 02 9295. Hlavní důraz byl kladen na rozměry d_1 a d_2 , které navazují na uložení stíracího kroužku do drážky, ale zejména na rozměr d_3 , který souvisí s rozměrem pístnice.

Zjištěné rozměry vzorků stíracího kroužku z TPU bez odpadu i s odpadem (10 až 100 %) se pohybují v tolerančním poli příslušného rozměru a jsou v souladu s hodnotami uváděnými v PN 02 9295.

9. 1. MONDO - tříosý měřicí a statistický program pro EPSON HN-20

Tento program je vhodný pro kterékoliv dvou nebo tříosé měřicí zařízení MONDO.

Umožňuje snadné měření mnoha rozličných součástek, včetně např. neúplných průměrů, údajů o otvorech apod.. Usazení součástky na osu podložky je velmi zjednodušeno díky zavedenému vyrovnavání, které operátorovi umožňuje umístit součástku na podložku v jakékoliv poloze. Vyrovnání je poté opraveno zaměřením dvou vztažných bodů na vzorku, tj. dvou prostých bodů na hraně, jež má být vyrovnána.

Po vyrovnání (je-li nutné) lze provádět kteroukoliv z následujících činností:

- 1) Může být zaměřen jakýkoliv prostý bod, souřadnice X, Y a Z jsou vytištěny
- 2) Může být měřen jakýkoliv kruhový prvek (jak úplné, tak neúplné průměry) a středové souřadnice X, Y. Průměr a poloměr je vytištěn
- 3) Úhel mezi jakýmkoliv hranami. Jejich průsečík může být vytištěn
- 4) Předběžný výpočet soustřednosti může být odvozen z předchozích měření
- 5) Předběžný výpočet ovality (maximum kolísání průměru) a průměr i u velkých a poddajných součástek, u nichž lze kruhovost jen těžko odhadnout

A dále:

- Kdykoliv je to požadováno, mohou být místo souřadnic X a Y vytištěny polární (Kartézské) souřadnice
- Údaje mohou být uvedeny u každého měřeného prvku, tj. středu otvoru nebo průsečíku dvou přímek

Statistický program je k dispozici k použití jak při měření, tak k získání jakýchkoliv rozborových údajů, které byly zadány na klávesnici. Jeho užitím může operátor zapsat jmenovitou hodnotu a povolené odchylky pro každý z rozměrů, ať již jde o rozměry v osách X, Y, úhly, průměry atd.. Postupně může být prováděno až patnáct jednotlivých měření u jedné součástky. Byl také odstraněn problém spojený s pohybováním vzorku při každém individuálním měření. Při použití statistických prvků lze počítač "naučit", v jakém pořadí mají být jednotlivé položky na součástce měřeny, což dovoluje jejich automatický výběr ve správném pořadí. Operátor se tak může soustředit na kontrolu součástky spíše než na ovládání měřicího systému.

10. Ekonomické zhodnocení

Hodnocení ekonomické náročnosti výroby stíracího kroužku 160 PN 02 9295 vstřikováním a stíracího kroužku 160 ČSN 02 9295 klasickou technologií bylo provedeno na základě rozdílnosti technologických postupů.

Technologické postupy pro oba druhy výroby:

Klasická technologie

1. Míchání směsi
2. Příprava stříkačky
3. Stříkání pásku
4. Krájení pásku pod úhlem
5. Slepování pásků
6. Manipulace
7. Lisování
8. Otrhávání
9. Broušení
10. Kontrola
11. Dovulkanizace

Vstřikování

1. Sušení granulátu
2. Míchání přísad
3. Lisování
4. Třídění
5. Kontrola
6. Temperace v sušárně

Ekonomický úsek a. s. Rubena vypracoval rozbor nákladů pro roční výrobu 5 000, 50 000 a 100 000 ks stíracích kroužků /viz tab. 2,3/. Při klasické technologii vzniká odpad / přetoky, vadné kusy/, který již nelze dále zpracovávat. Ztráta odpadem je 8 %, což při roční výrobě 5 000 ks stíracích kroužků činí Kčs 7 679,6. Při technologii vstřikováním je odpad ve výši 3 %, což činí Kčs 1 820,25. Tento odpad lze však vhodnou úpravou znovu použít do nové směsi /viz 7.2. /, čímž dochází ke značné úspoře materiálu.

Rozbor nákladů

Materiál	Elastollan	Polyuretanový	/číslo směsi/
	C 95 A	kaučuk	
Roční výroba	5 000	5 000	/ks/
Cena směsi	206	285	/ Kčs/kg /
Vadné	3,0	8,0	/ % /
Váha /btto/	28,350	32,30	/ g/ks /
Přímý materiál	6,015	9,930	/ Kčs/ks /
Přímá mzda válcovny	0	0,31	/ Kčs/ks /
Mzdy za lisování	0,503	0,374	/ Kčs/ks /
Mzdy za přípravu	0	0,145	/ Kčs/ks /
Mzdy za opracování	0	0,197	/ Kčs/ks /
Přímé mzdy	0,503	1,026	/ Kčs/ks /
Cena za energii	1,640	1,640	/ Kčs/kW /
Spotřeba energie	52,0	26,0	/ kWh/sm /
Náklady na el. energii	0,271	1,163	/ Kčs/ks /
Výrobní režie	2,956	4,043	/ Kčs/ks /
Správní režie	1,948	3,179	/ Kčs/ks /
Zásobovací režie	0,285	0,471	/ Kčs/ks /
Odbytová režie	0,176	0,278	/ Kčs/ks /
Úplné vlastní náklady	12,135	19,199	/ Kčs/ks /
Doporučená cena	25,00	22,50	/ Kčs/ks /
Zisk	12,865	3,301	/ Kčs/ks /

Tabulka: 2 Rozbor nákladů na jeden stírací kroužek pro roční produkci 5 000 ks.

Materiál	Elastollan C 95 A	Polyuretanový kaučuk	/číslo směsi/
Roční výroba	50 000	50 000	/ks/
Výrobní režie	2,056	3,863	/ Kčs/ks /
Úplné vlastní náklady	11,221	19,016	/ Kčs/ks /
Doporučená cena	25,00	22,50	/ Kčs/ks /
Zisk	13,779	5,984	/ Kčs/ks /

Roční výroba	100 000	100 000	/ks/
Výrobní režie	2,006	3,853	/ Kčs/ks /
Úplné vlastní náklady	11,170	19,006	/ Kčs/ks /
Doporučená cena	25,00	22,50	/ Kčs/ks /
Zisk	13,83	5,994	/ Kčs/ks /

Tabulka: 3 Rozbor nákladů na jeden stírací kroužek pro roční produkci 50 000 ks a 100 000 ks.

11. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo ověření možnosti výroby stíracích kroužků z termoplastických polyuretanů vstřikováním v podmínkách a. s. Rubena Náchod.

Tato práce navazuje na diplomové práce, které zkoumaly možnosti zavedení výroby těsnicích manžet. Byla zhodnocena stávající technologie výroby a porovnána s technologií vstřikování.

Nová technologie výroby stíracích kroužků vstřikováním je velice výhodná zejména s rostoucí sériovostí výroby. Při roční výrobě 5 000 ks stíracích kroužků vstřikováním činí zisk Kčs 64 325,--, u klasické technologie je to Kčs 16 505,--. Při roční výrobě 50000 ks stíracích kroužků vstřikováním je zisk Kčs 688 950,--, kdežto u klasické technologie Kčs 299 200,--.

Původní materiál pro výrobu stíracích kroužků, polyuretanový kaučuk, byl nahrazen Elastollanem C 95 A, který plně vyhovuje všem požadavkům.

Použití termoplastických elastomerů je výhodné i z ekologického hlediska, jelikož použité díly lze plně znovu využít.

V daném programu byly využity výsledky předešlých prací s tím, že byla hlouběji prozkoumána možnost využití odpadového materiálu / vtokové zbytky, vadné kusy / s následujícími výsledky: byly zkoušeny směsi TPU s 10%, 20%, 30% a 100% odpadu. Provedenými fyzikálně-mechanickými zkouškami bylo zjištěno, že nejpříznivějších hodnot dosahuje směs TPU s 30% odpadu. Tato směs byla doporučena k výrobě stíracího kroužku 160 PN 02 9295.

12. Seznam použité literatury

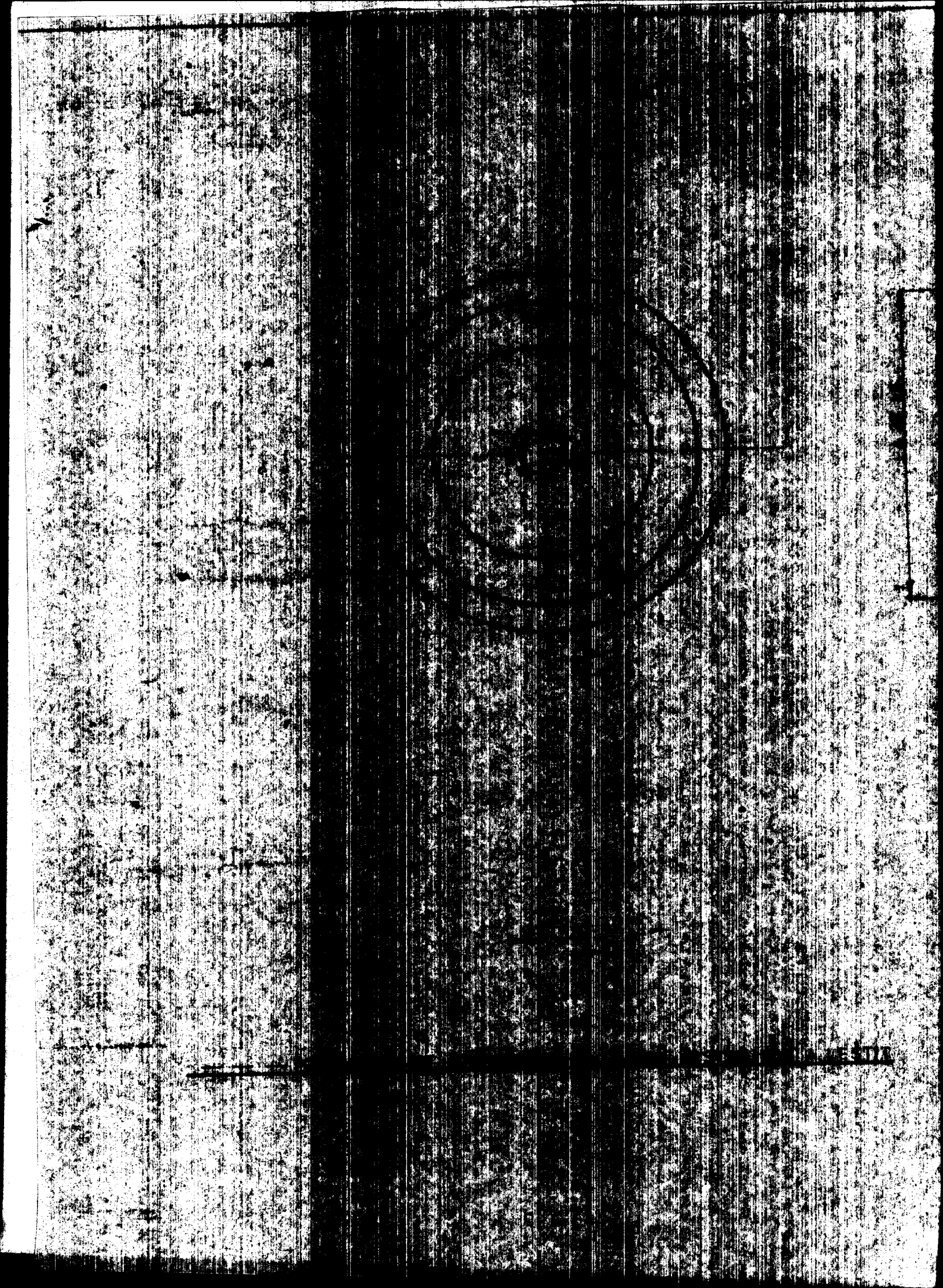
- /1/ ZTS DUBNICA N. V.: Súčasný stav vo výrobe tesniacich prvkov pre priamočiare hydromotory, podniková studie, 1984
- /2/ Podnikové podklady a. s. Rubena Náchoď
- /3/ KOPEC, L. - TUČNÍK, D.: Těsnění ve strojírenství, SNTL, Praha 1967
- /4/ KUBEČEK, M.: Technologie výroby výlisků pro těsnicí techniku z polyuretanových elastomerů /Diplomová práce/. Liberec 1991 - VŠST Fakulta strojní
- /5/ BULETIN-plasty, strojírenské materiály, 2. číslo, SVUM Praha, 1991
- /6/ ČERNÝ, F.: Technologie zpracování kaučuků a plastů, SNTL, Praha 1986
- /7/ Katalog firmy BASF: Elastollan Termoplastic Polyuretan Elastomers, 1986
- /8/ Katalog firmy DU PONT: Elastomers, 1987
- /9/ KREBS, J.: Teorie a technologie zpracování plastů, skriptum VŠST, Liberec 1986
- /10/ ŠAFAŘÍK, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů I, skriptum VŠST, Liberec 1987
- /11/ HENDRYCH, J. - WEBER, A. - DOLEŽAL, J.: Standartizace rámů a součástí forem pro vstřikování termoplastů, SNTL, Praha 1986
- /12/ PN 02 9295 Stírací kroužky
- /13/ ČSN 02 9001 Těsnění, názvosloví

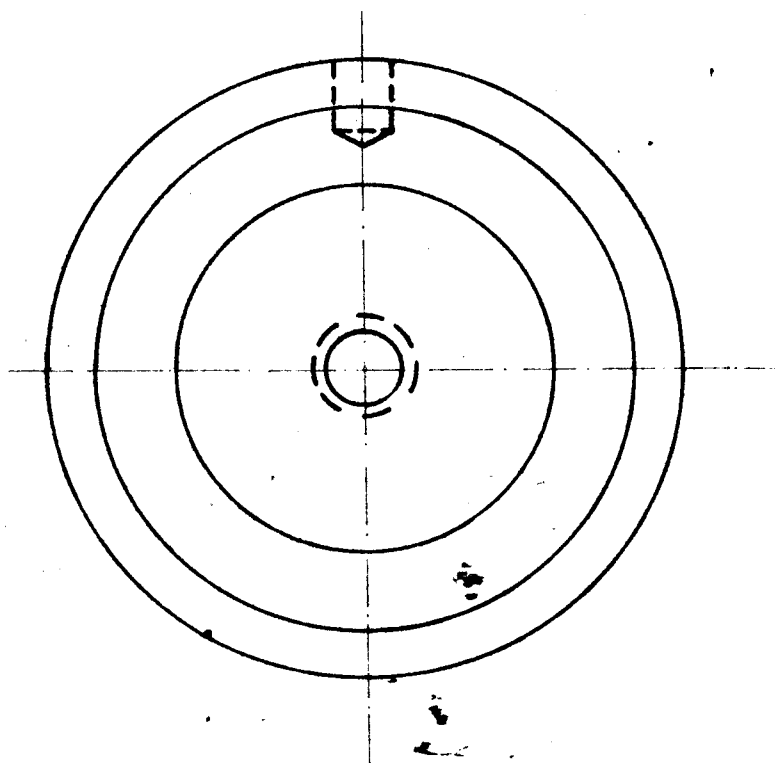
Poděkování

Chtěla bych touto cestou poděkovat ing. Anně Šolcové
a Františku Jirmanovi za cennou pomoc při řešení této
diplomové práce.

29.5. 1992

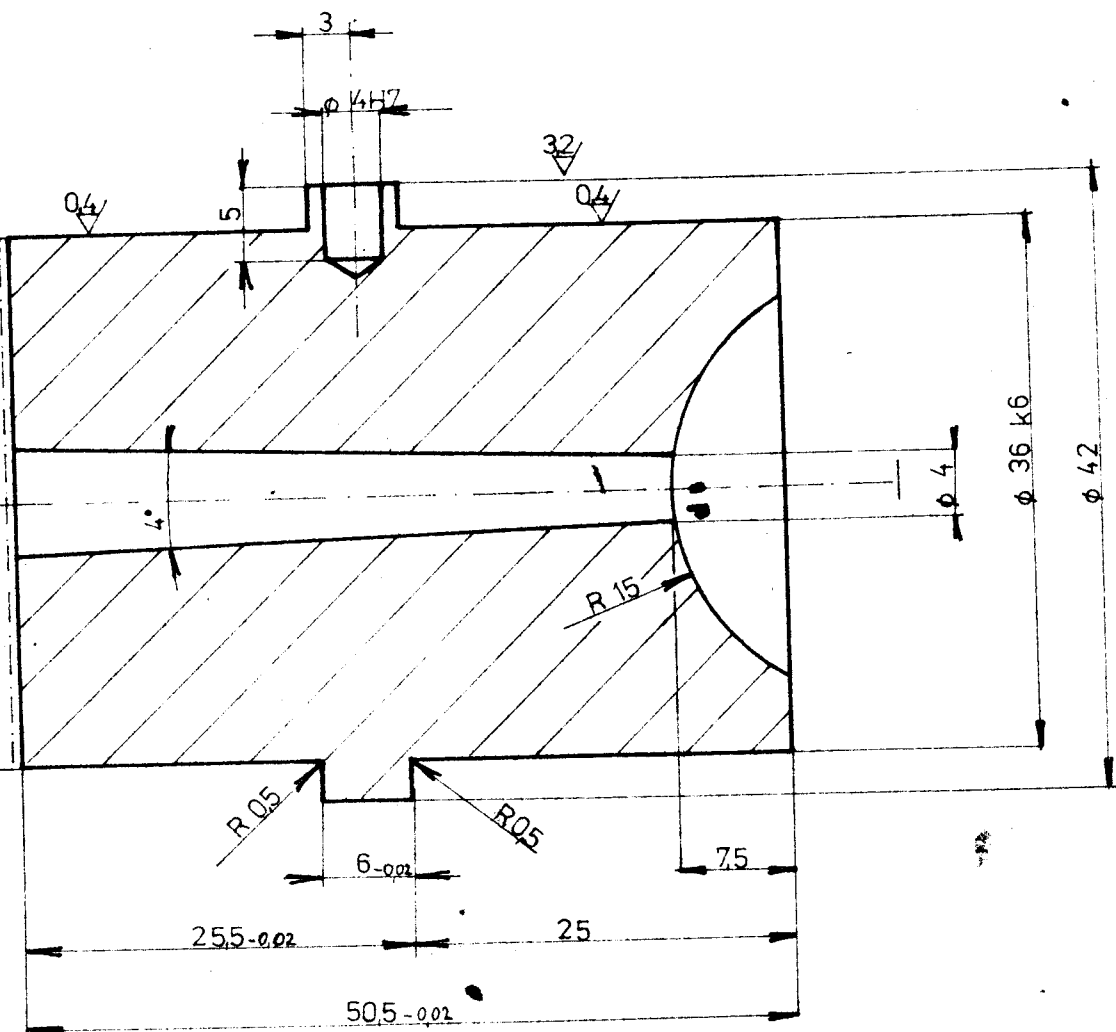
Terzie Vachová





Ø 36 k6

POVRCH LEŠTIT CHROMOVAT NA TVRDŮ VRSTVOU 002 A LEŠTIT



CEMENTOVAT DO HL. 05
KALIT NA 54±2 HRC

14220.6-14220.2
 $\phi 45-55$

2:1

VACKOVÁ T.

2

KPT- 502-01

VTOKOVÁ VLOŽKA

111 54 128

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Tvarová vložka 40xφ200	ČSN 42 5516.1	14 220.1	7 14 220.2				
1	Rozpěrka 30x60x70	ČSN 42 5310	11 600.0					
1	Rozpěrka 30x60x70	ČSN 42 5310	11 600.0					
1	Vtoková vložka KR 45x55	ČSN 42 5516.1	14 220.6	14 220.2				
2	Kroužek KR 170x20	ČSN 42 5510	11 600.0					
6	Náustek 6HR 14x35	ČSN 42 8630	11109					
6+6	Zašř náustku KR 25x25	SILAMID 30	SV 10					
6	Těsnění ploché	KLINGERIT						
4	Válcový kolík KR 10x50	ČSN 02 2150						
5	Válcový kolík KR 4x10	ČSN 02 2150						
2	Kroužek 3x180	ČSN 02 9281.3						
1	Kroužek 2x60	ČSN 02 9281.3						
2	Kroužek 2x12	ČSN 02 9281.3						
6	Šroub M 10x110	ČSN 02 1143						
20	Šroub M 10x22	ČSN 02 1143						
14	Šroub M 10x30	ČSN 02 1143						
8	Šroub M 10x50	ČSN 02 1143						
8	Šroub M 8x20	ČSN 02 1143						
2	Kroužek 3x110	ČSN 02 9281						
		T. Vacková						

VŠST
Liberec

Forma na stírací kroužek
160 PN 02 9295

Kusovník č.2

1	Upínací deska 30x270x270	ČSN 425310	11523.0						1
1	Rozpěrná deska 60x110x270	ČSN 42 5310	11 600.0						2
1	Rozpěrná deska 60x110x270	ČSN 42 5310	11 600.0						3
1	Opěrná deska 25x270x270	ČSN 42 5310	11 600.0						4
1	Kotevní deska 30x270x270	ČSN 42 5310	11 600.2	11 600.0					5
1	Opěrná deska 25x270x330	ČSN 42 5310	11 600.2	11 600.0					6
1	Stěrací deska 25x270x330	ČSN 42 5310	11 600.2	11 600.0					7
1	Tvarová deska 40x270x270	ČSN 42 5310	11 600.2	11 600.0					8
1	Upínací deska 30x270x270	ČSN 42 5310	11 523.0						9
8	Podložka KR 35x20	ČSN 42 5516.1	111523.0						10
4	Vodící sloupek KR 35x175	ČSN 42 5516.1	14 220.4	14 220.2					11
4	Pouzdro KR 35x40	ČSN 42 5516.1	14 220.4	14220.2					12
4	Pouzdro KR 35x50	ČSN 42 5516.1	14 220.4	14220.2					13
1	Kotevní deska 65x25x330	ČSN 42 5310	11600.0						14
1	Vyrážecí deska 65x25x330	ČSN 42 5310	11 600.0						15
1	Tahač vtoku KR 12x133	ČSN 42 5516.1	19 312.4	19 312.2					16
1	Vyražeč vtoku KR 12x130	ČSN 42 5516.1	19312.4	19 312.2					17
1	Pouzdro KR 200x45	ČSN 42 5516.1	19 312.4	19 312.2					18
1	Jádro KR 170x80	ČSN 42 5516.1	19 552.7	19 552.0					19
1	Vložka KR 130x70	ČSN 42 5516.1	11 600.0						20

T. Vacková

VŠST
Liberec

Forma na stírací kroužek
160 PN 02 9295

Kusovník č.1