

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POLYURETANY VYUŽÍVANÉ V TECHNOLOGII TVÁŘENÍ

POLYURETHANES IN FORMING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL ŠPIČÁK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské
technologie Akademický
rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Špičák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Polyuretany využívané v technologii tváření

v anglickém jazyce:

Polyurethanes in forming technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V dané práci by měl být uveden přehled druhů polyuretanů využívaných v technologii tváření, jejich vlastnosti (mechanické, fyzikálně-chemické) a charakteristiky. Dále přehled metod tváření, které využívají polyuretany jako elastické nástroje a součásti zhotovené prostřednictvím tohoto media.

Cíle bakalářské práce:

Průzkum trhu a vytvoření přehledu druhů polyuretanů využívaných v technologii tváření. Uvedení jejich vlastností a vhodnosti využití jako nepevných nástrojů v oblasti technologie plošného tváření. Přehled výrobních metod využívajících elastických nástrojů doložený příklady součástí vyráběných danými metodami.

Seznam odborné literatury:

ŽÁK, Jan, SAMEK, Radko, BUMBÁLEK, Bohumil. Speciální letecké technologie I. 1. vyd. Ediční středisko VUT Brno. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0128-1. s. 220.

AL-QUERESHI, H.A. On the Mechanics of Sheet-Metal Bending with Confined Compressible

Dies. Journal of Mechanical Working Technology. 1977. no.1. p. 261-275.

KOMAROV, A.D., ROMANOVSKIJ, V.P. Vyrežka detalej polyuretanom. 1.vyd. Lenigrad. LNDTP, 1986. 144s. UDK 621.983:678.664.

DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009. V Brně, dne 14.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

ŠPIČÁK Pavel: Polyuretany využívané v technologii tváření

Práce vypracovaná v rámci bakalářského studia předkládá rešerši na téma: „Polyuretany využívané v technologii tváření“. Skládá se z jejich přehledu, vlastností a dále rozebírá jednotlivé metody tváření, které využívají polyuretany jako elastické nástroje.

Klíčová slova: polyuretan, tváření, stříhání, ohýbání, tažení

ABSTRACT

ŠPIČÁK Pavel: Polyurethanes in forming technology

The work carried out within the framework of Bachelor's study presents the exploration of the facts on the theme: „Polyurethanes in forming technology. It consists of the schedule, characteristics and in other part analyzes different methods of the forming which use a polyurethanes as an elastic instrument.

Key words: polyurethane, forming, cutting, bending, drawing

Bibliografická citace:

ŠPIČÁK, Pavel: *Polyuretany využívané v technologii tváření*. Brno, 2009. 29 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 29.5. 2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Šmehlíkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Obsah

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. ÚVOD	8
2. HISTORIE POLYURETANU	9
3. VZNIK POLYURETANU	9
4. ROZDĚLENÍ POLYURETANU	9
4.1 TVRDÉ PĚNY	9
4.2 MĚKKÉ PĚNY	10
4.3 TVRDITELNÉ ELASTOMERY	10
5. OBCHODNÍ NÁZVY POLYURETANŮ	10
6. PLOŠNÉ TVÁŘENÍ	10
6.1 DEFORMAČNÍ CHOVÁNÍ ELASTOMERŮ	11
6.1.1 Deformační odpor elastomeru	11
6.2 FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYTANU, ELADURU A SKU13	
6.2.1 Vlastnosti polyuretanu	13
6.2.2 Použití výrobků	15
6.3 STŘÍHÁNÍ	15
6.3.1 Stříhání nepevným nástrojem	15
6.3.2 Stříhání otvoru nepevným nástrojem	16
6.3.3 Speciální způsob stříhání trubek	17
6.4 OHYB.....	17
6.4.1 U a V ohyb	17
6.4.2 Ohyb kombinovaný s osovou tlakovou silou	18
6.4.3 Zakružování.....	18
6.4.4 Tvarování vypuklého lemu.....	19
6.4.5 Tvarování dutých lemů.....	20
6.5 TAŽENÍ	21
6.5.1 Tažení pomocí polyuretanu	21
6.5.2 Metoda Guerin.....	22
6.5.3 Metoda Marform	23
7. ZÁVĚR	24

Seznam použitých zdrojů

Seznam příloh

Seznam použitých symbolů

1. ÚVOD

Tato práce se zabývá rozbořem polyuretanů využívaných v technologii plošného tváření, jejich mechanickými a fyzikálně chemickými vlastnostmi a jejich následným využitím v běžné praxi. Součástí práce je i přehled jednotlivých druhů polyuretanů používaných na českém trhu i ve světě. Rozebírá jednotlivé technologie plošného tváření, které používají elastické prostředí jako nepevný nástroj. Z těchto technologií jsem se zabýval zejména technologií stříhání, ohýbání a tažení, které nalézají uplatnění zejména v kusové a malosériové výrobě z důvodů využitelnosti a jejich nízkých pořizovacích nákladů na nepevný nástroj.

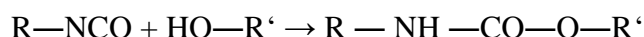
Polyuretany lze využívat, pro jejich vlastnosti, také v jiných odvětvích než je strojírenství. Široké uplatnění pro ně najdeme ve stavebnictví, elektrotechnickém průmyslu, textilním průmyslu, nábytkářském průmyslu aj..

2. HISTORIE POLYURETANU [1, 5]

Historie polyuretanu sahá před II. světovou válkou do Centra výzkumu v Leverkusenu, kde ho vynalezl profesor Dr. Otto Bayer. Roku 1937 byla udělena patentová práva, ale až později roku 1952 byl započat výzkum a následná aplikace. V průběhu dalších několika let nastal velký rozvoj polyuretanu, který měl širokou škálu mechanických a fyzikálně chemických vlastností za přijatelnou cenu.

3. VZNIK POLYURETANU [3, 11, 16]

Polyuretany vznikají reakcí vícefunkčních isokyanátů s polyalkoholy. Jedná se o polyadiční reakci.



V literatuře je uváděno, že 95 % produkce polyuretanů je založeno na aromatických polyisokyanátech, z toho dominují diisokyanatotoluen a diisokyanatodifenylmethan. Tyto prvky se používají převážně pro výrobu měkkých pěn a z částí i elastomerů. Prvek 4,4- diisokyanatodifenylmethan slouží pro přípravu elastomerů a pro polotvrdé a tvrdé integrální pěny.

4. ROZDĚLENÍ POLYURETANU [1, 3, 4, 5, 17]

V průmyslové praxi si nacházejí stále širší okruh uplatnění polyuretany (PUR). Zvláštní postavení mezi měkkou a tvrdou pryží a širokou paletou plastů zaujímají pro své fyzikální vlastnosti polyuretanové polymery. Z uvedeného je zřejmé, že polyuretany zahrnují širokou škálu materiálů od tvrdých až po různě napěněné elastomery. Na základě provedených výzkumů, bylo zjištěno, že polyuretany jsou použitelné v rozsahu teplot od -40°C do $+80^{\circ}\text{C}$. K hlavním produktům patří: tvrdé pěny, měkké pěny, tvrditelné elastomery.

4.1 TVRDÉ PĚNY

Jejich hustota je 10 až 800 kg/m^3 s uzavřenými póry. Mají velmi dobré tepelně-izolační vlastnosti obr. 1, dobrou adhezi ke dřevu, betonu, kovům obr. 2, a keramice. Výborně se osvědčili jako tepelně-izolační výplně betonových panelů, jako mezivrstvy dřevěných překližek obr. 3.

Obr. 1 [2]



Obr. 2 [9]



Obr. 3 [20]



4.2 MĚKKÉ PĚNY

Široké uplatnění v dopravní technice (sedadla, opěrky hlavy) obr 4, 5, nábytkářském průmyslu (křesla) i pro spotřební výrobky (hračky, vnitřky lyžařských bot atd.)

Obr. 4 [15]



Obr. 5 [15]



4.3 TVRDITELNÉ ELASTOMERY

Polyuretan – polymočovinové mají velmi dobré mechanické vlastnosti jako je tvrdost a odolnost proti abrazi. Dají se trvale použít do teplot 100 – 120 °C.

5. OBCHODNÍ NÁZVY POLYURETANŮ [5]

Polyuretany, které se používají v technické praxi a jejich obchodní označení jsou rozepsány do tabulky 1, která je umístěna v příloze.

6. PLOŠNÉ TVÁŘENÍ [6, 7, 12, 13, 14, 21]

Plošné tváření úspěšně nahrazuje méně produktivní obrábění či lití, případně také pracně svařované nebo nýťované skupiny. (Při plošném tváření jde o tvarování plochých nebo tyčových polotovarů (plechů, profilů, trubek) bez výrazného přemístování objemu. Plošné tváření zahrnuje operace:

- **stříhání** (prostříhování, děrování, nastříhování, přestříhování, ostříhování, přesné stříhání)
- **ohyb** (V-ohyb, U-ohyb, profilování, lemování, stáčení)
- **tažení** (hluboké tažení, vypínání, kovotlačení, protahování, přetahování)
- **tvarování** (rovnání, zužování, rozšiřování.)

V současné době se stále využívá plošného tváření, respektive elastického nástroje. A to zejména v oblasti kusové a malosériové výroby, kdy by výroba kovového nástroje byla zbytečně drahá a složitá. Elastický nástroj se také s výhodou užívá pro výrobu součástí se

složitou povrchovou křivkou, jejichž výroba jinou technologií (tváření, obrábění aj.) by byla velice nákladná a složitá či nemožná.

Další značnou výhodou elastického nástroje je jeho univerzálnost, možnost značných ekonomických úspor a použitelnost v malosériové výrobě, která je charakterizována častými změnami, krátkými lhůtami a relativně velkoplošnými výlisky. V dnešní době je pryž, jakožto elastický nástroj, nahrazen polyuretanovými elastomery (polytan, vulkolan, adiprene aj.), které jsou neustále ve vývoji a jejich mechanické a fyzikálně chemické vlastnosti značně převyšují tuto pryž.

Technologické přednosti plošného tváření:

- vysoká produktivita
- maximální využití materiálu
- široká možnost mechanizace a automatizace
- dosažení požadované geometrické přesnosti dílců
- možnost výroby dílců o vysoké tuhosti a malé hmotnosti

6.1 DEFORMAČNÍ CHOVÁNÍ ELASTOMERŮ [10, 11, 13]

Řada faktorů ovlivňuje deformační chování elastomerů. Jde zejména o mechanické vlastnosti, konkrétně se jedná o:

- Tvrdost polyuretanu-ve stupních Shoreho (ShA)
- Pevnost kontrakce
- Tažnost
- Modul pružnosti E
- Smykový modul G

Dále je deformační chování polyuretanů ovlivňováno činiteli jako:

- Tvar-tvarový součinitel K_T
- Objem-celkový V

-přemíst'ovaný v_e

- Konstrukční řešení elastomerového bloku (uchycení, odlehčení, zešikmení ploch)
- Řešení nástroje (tvar dutiny, požití trnů, příspěvek osově síly)

6.1.1 Deformační odpor elastomeru

U elastomerů rozeznáváme σ_p (přirozený deformační odpor-napětí) a σ_d (deformační odpor vázaný na technologický proces). Definice přirozeného deformačního odporu: $\sigma_p=f(\varphi)$ je určena z p'echovacích zkoušek (viz. obr.1). Jedná se o p'echovací zkoušky, které nejvíce zohledňují procesní podmínky. U elastomerů je σ_p také funkcí tvarového součinitele K_T , modulu pružnosti E, tvrdosti ve stupních Shore a třecího součinitele f.

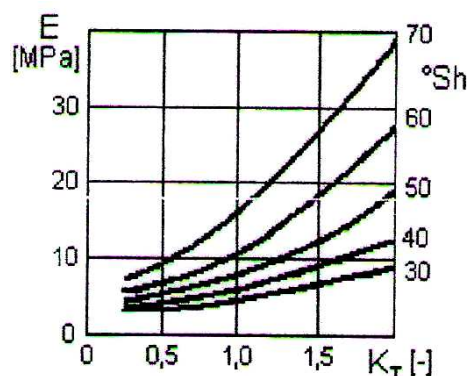
Tvarový součinitel K_T

Tvar elastomerového bloku ovlivňuje jeho vlastnosti při stlačování. Tzv. tvarový součinitel K_T se zavádí pro definování tvaru elastomerového bloku. Tvarový součinitel K_T je poměr zatížené plochy elastomeru k volné ploše tohoto bloku. Je platný pouze pro jednoduché tvary. Se zvyšováním hodnoty tvarového součinitele K_T roste tuhost dílce. Oproti tomu, při nízké hodnotě tvarového součinitele a velkých deformacích nad 15% tuhost dílce klesá a je nutné kontrolovat dílec na ztrátu stability, což platí zejména pro měkké elastomery.

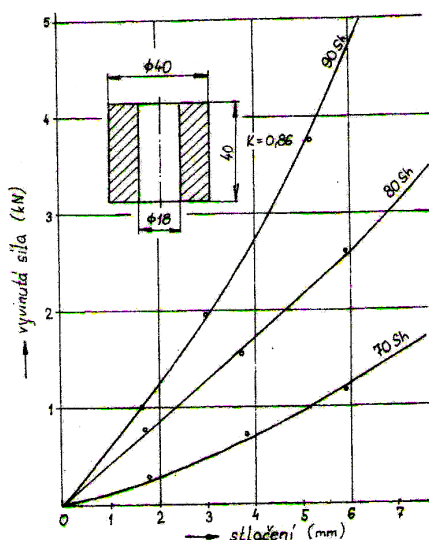
Modul pružnosti E

Modul pružnosti E je závislý na tvarovém součiniteli K_T a na tvrdosti elastomeru. Obrázek 2 uvádí závislost modulu E jako funkci tvarového součinitele K_T pro různé hodnoty tvrdosti elastomeru.

Obr. 6 Závislost $E = f(K_T)$ pro různé tvrdosti elastomeru [13]



Obr. 7 Síla vyvinutá stlačením elastomerů různé tvrdosti [14]



Deformační síla elastomeru F_E

Celková deformační síla F_E , nebo jí odpovídající deformační odpor elastomeru v sobě zahrnují deformační odpor spojený se změnou tvaru původního bloku a také s rozsahem a způsobem přemístění. Přemístění vyvolá třecí odpory ve stykových plochách elastomeru a tvářecího dílce.

6.2 FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYTANU, ELADURU A SKU [8, 10, 12, 18]

Pro polyuretany je typický značný rozptyl mechanických charakteristik. Podmínky, při kterých se stanovuje modul pružnosti, jsou různé, podle příslušných norem, které si volí jednotlivé státy, a jiných standardů, které používají výrobci.

Z tabulky 1 se zmíním o fyzikálně - mechanických vlastnostech polytanu, eladuru a SKU.

Polytan se značí následujícím způsobem:

POLYTAN 15/xx POLYTAN 44/xx Na místě xx v názvu za lomítkem se uvádí hodnota tvrdosti materiálu ve stupních Shore A.

Fyzikálně – mechanické vlastnosti polyuretanových elastomerů

Výrobce TANEX plasty a. s. Jaroměř Česká republika

Tabulka 2. [12]

Typ	tvrdost ($\pm 5^0$) ShoreA	pevnost v tahu (min.) N/mm ²	tažnost (\pm 10%) %	odolnost proti otěru mm ³	hustota g/cm ³	odrazová pružnost %	def. tlakem při 70 °C / 24 hod %
POLYTAN 15							
15/80	80	40	600	50	1,26	50	30
15/90	90	35	580	55	1,26	50	25
15/95	95	35	500	55	1,27	42	33
POLYTAN 44							
44/65	65	30	600	50	1,25	45	50
44/80	80	35	580	50	1,25	40	45
44/90	90	38	580	55	1,25	40	35
44/95	95	42	500	55	1,26	35	30
podle DIN		53 504	53 504	53 516	53 479	53 512	53 517

6.2.1 Vlastnosti polyuretanu

Polyuretan se používá, jak bude uvedeno v následujících bodech této práce jako, nepevný (elastický) nástroj při plošném tváření. Polyuretan nabízí výjimečnou kombinaci pružnosti, velké pevnosti v natržení a vysoké oděruvzdornosti. Díky této kombinaci tento materiál, který v podobě strojních dílů dobře plní vysoké nároky na spolehlivost i při velkém dynamickém zatížení, v prostředí vyžadujícím dobrou odolnost proti oděru a houževnatost. Polyuretan vykazuje vysokou stálost v benzinech, minerálních olejích, ropných produktech a ozonu. Řadí se mezi samozhášecí materiály. Polyuretan lze dobře spojovat s kovy litím na kovový díl a při vyšších tvrdostech i třískově obrábět. Polyuretany se vyrábějí v různých barevných kombinacích a v různých tvarech viz obrázky 8, 9, 10. Mezi nejpoužívanější barvy patří žlutá a její kombinace s hnědou, zelená, červená, modrá. Pomocí těchto barev firmy rozlišují tvrdost daného polyuretanu. Je nutno podotknout, že každá firma si volí kombinace

barev podle svých firemních stanov. V tabulkách 5, 6 je uvedeno přiřazení barev k tvrdosti nejdříve firmy VSS s.r.o. a následně VM PLAST s. r. o.

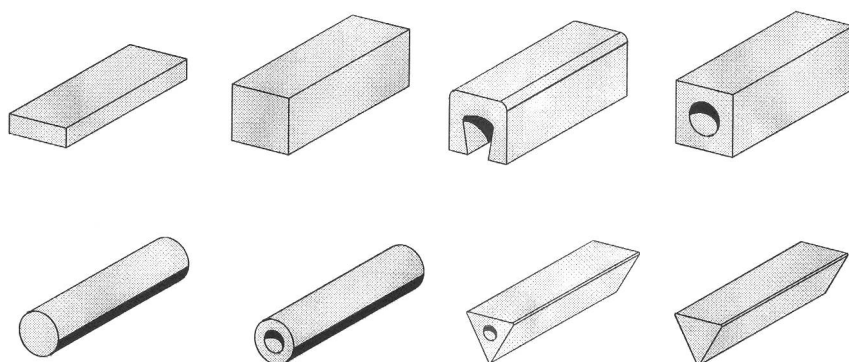
tabulka 5 [19]

Typ polyuretanu	Barva
Tvrđost Šh	
15/80	zelená
15/90	žlutohnědá
44/65	červená
44/80	modrá
44/90	žlutá
44/93	žlutá
44/95	žlutá

tabulka 6 [18]

Typ polyuretanu	Barva
Tvrđost Šh	
15/65	Hnědá
44/65	
15/80	Zelená
44/88	
15/90	Žlutohnědá
44/99	
15/95	Žlutohnědá
44/95	

Obr. 8. Profily polyuretanu [8]



Obr. 9 [9]



Obr. 10 [9]



6.2.2 Použití výrobků

Vzhledem k mechanickým, fyzikálním a chemickým vlastnostem se polyuretan hodí například jako: těsnění, ucpávky, manžety, podložky pod stroje, pružné spojky, tlumící dorazy, potahy válců, přitlačné válečky, potahy pojezdových kol pro vysoká zatížení a pomalé rychlosti, vyložení násypek ve stavebnictví a hutnictví, vyložení mísičů betonových a maltových směsí, stěrky a vyložení forem ve stavebnictví, stírací břity pro sněhové pluhy, obíhací pásy pro posunovací a česací stroje atd. Veškeré polyuretanové výrobky je nutno po výrobě temperovat při teplotě cca 100°C. Docílíme tím dokonalé síťovací reakce a vyrovnáme vnitřní pnutí v polyuretanu. Doba temperace je obvykle 5 až 15 dnů v závislosti na hmotnosti, tloušťce a charakteru výrobku.

6.3 STŘÍHÁNÍ [6, 7, 14, 21]

Stříhání je nejrozšířenější způsob zpracování plechu. Jedná se o oddělování materiálu protilehlými břity. V našem případě se jedná o technologii stříhání na elastických stříhadlech, kde střížnice je nahrazena nepevným nástrojem (polyuretanovými deskami). Ke stříhání elastickým prostředím jsou vhodné hydraulické lisy.

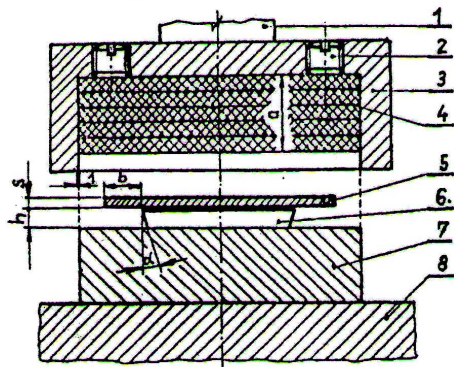
6.3.1 Stříhání nepevným nástrojem

V tomto případě univerzální nástroj představuje pouzdro, v němž je uložen polyuretanový polštář složený z několika desek tloušťky 25 až 30 mm. Střížník je upevněn na tzv. ponorné desce, na jeho čelní ploše je uložen polotovar, centrovaný fixačním kolíkem. Obrázek 11 znázorňuje metodu stříhání elastickým prostředím. Při stříhání pomocí polyuretanových desek se nejedná o pravý stříh, ale o přelomení materiálu na střížné hraně v důsledku intenzivního tahového napětí. Toto napětí je vyvoláno vzrůstajícím tlakem polyuretanových desek na přesahující okraj plechu na ponornou desku a tím je stříhaný materiál vytahován a zároveň ohýbán kolem střížné hrany. Obrázek 12 znázorňuje průběh stříhu. Při stříhání nepevným nástrojem musíme brát v potaz přídavek cca 0,8 až 1mm na obrysovou frézování dílců. Je to proto, že střížná plocha není dokonalá. Mohou se zde vyskytovat otřepy, trhliny a mikrotrhliny.

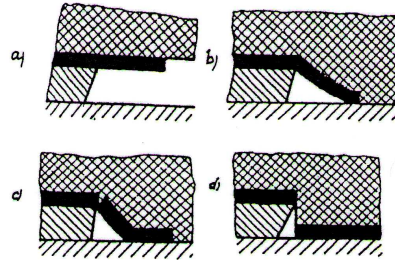
S ohledem na přípustné měrné tlaky polyuretanu 100 až 200 MPa je stříhání limitováno tloušťkou a pevností materiálu, z tohoto důvodu se obvykle doporučují mezní tloušťky plechu: dural- $s \leq 1,5$ mm, hliník- $s \leq 2$ mm, ocel $s \leq 1$ mm.

Obr. 11 Nástroj ke stříhání pomocí elastického prostředí (tzv. nepevný nástroj) [7]

1 – stopka, 2 – zátky otvoru k demontáži polyuretanových desek, 3 – ocelová objímka, 4 – elastické prostředí (polyuretanové desky), 5 – plech, 6 – střižník, 7 – ponorná deska, 8 - podložka



Obr. 12 Průběh stříhu [7]



6.3.2 Stříhání otvoru nepevným nástrojem

Z důvodu omezených hodnot měrného tlaku „ p “ polyuretanu není možné prostřihovat otvory malých průměrů. Plocha otvorů musí poskytnout potřebnou střižnou sílu. Musí být splněna následující podmínka:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_D \geq \pi \cdot d \cdot s \cdot \tau_{ps}$$

d - průměr otvoru [mm]

p_D - měrný tlak přípustný [MPa] elastického prostředí

s - tloušťka plechu [mm]

τ_{ps} - pevnost ve stříhu [MPa]

Výhody a nevýhody elastického prostředí při stříhání:

Výhody: nízká cena nástroje, univerzálnost nástroje, snadné seřízení nástroje, možnost stříhání několika různých součástí najednou, stříhání je možno kombinovat s ohýbáním nebo mělkým tažením, možnost získání nezvlněné a nezvrásněné rozměrné výstřížky = letecký průmysl, stříhání lesklých plechů a povrchově upravených

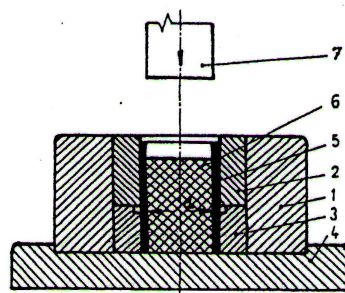
Nevýhody: větší odpad, relativně delší výrobní časy, omezená tloušťka stříhaného plechu, nutnost velmi často další operace obrysového frézování stříhaného plechu, velké hydraulické lisy, rychlé opotřebení nástroje

6.3.3 Speciální způsob stříhání trubek

Běžné způsoby stříhání nám způsobují ovalitu a deformaci ústřížku. Tyto defekty lze odstranit stříháním pomocí pružných materiálů (polyuretanů). Stříhání trubek pomocí polyuretanu je znázorněno na obrázku 13. Stříhání se provádí radiálním rozpínáním polyuretanu při stlačení elastického prostředí trnem.

Obr. 13 Stříhání trubek pomocí polyuretanu[7]

- 1- těleso
- 2,3- střižnice
- 4- základová deska
- 5- stříhací trubka
- 6- polyuretan
- 7- trn



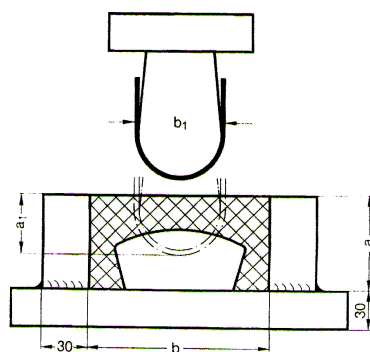
6.4 OHYB [6, 7, 14, 21]

Ohybání je technologická operace, při níž vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Polyuretany u metody ohybání mají stejnou funkci jako u předešle metody stříhání. Jedná se o elastické médium, pomocí kterého se tváří (ohybá) materiál.

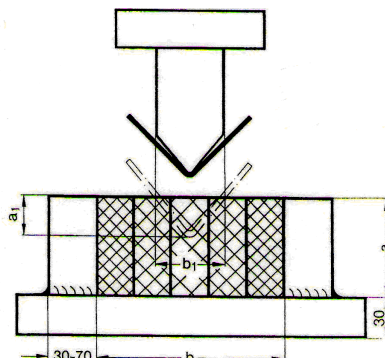
6.4.1 U a V ohyb

U malosériové výroby se nahrazuje pevná ohýbací čelist nepevným nástrojem (polyuretanem o tvrdosti 80 až 95 Shore). Obrázky 14, 15 nám znázorňují, jak pohyblivá čelist s polotovarem se zaboří do nepevného nástroje, který se následně tvarově přizpůsobí. Ohybový moment vnějších sil závisí na tlaku polyuretanu (na hloubce ponoru).

Obr. 14 U- ohyb [8]



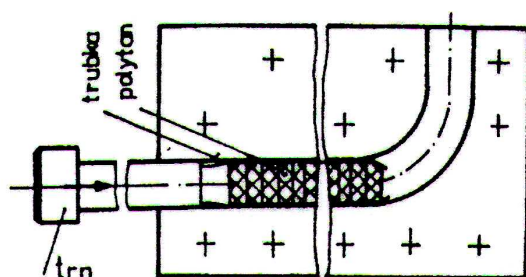
Obr. 15 V- ohyb [8]



6.4.2 Ohyb kombinovaný s osovou tlakovou silou

Při konvenčním ohýbání trubek na hodnoty $R/D = 1,7$ až $1,5$ dochází k poměrně velkému ztenčení tloušťky stěny na vnějším poloměru, který činí kolem 25 %. Tento nedostatek můžeme eliminovat technologií ohybu za současného tlaku. Jedná se o protlačování trubky za studena do zápustky, jak znázorňuje obrázek 16. Do trubky se vloží polyuretan, na který působí trn. Polyuretan se rozpěchuje a třecí síly způsobí, že trubka je tlačena ve směru pohybu trnu. V důsledku toho dochází k napěchování stěny, čímž je v ohnisku deformace kompenzováno její ztenčování. Zvlnění na vnitřním poloměru trubky zabraňuje tlak polyuretanu.

Obr. 16 Protlačení trubky s polyuretanovou výplní [7]

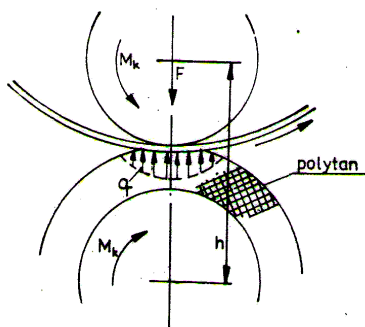


6.4.3 Zakružování

Zakružování je tváření rovinné či prostorové plochy do plochy válcové, kuželové anebo do části těchto ploch. Dvouválcové zakružovačky, které mají na spodním válci asi 40 mm vrstvu polyuretanu pracují na principu, kdy v důsledku tlaku horního válce je materiál vtlačen do tohoto pružného povrchu a ohýbá se působením měrného tlaku q . Poloměr zakružování závisí na hloubce vtisku, tedy změně osové vzdálenosti obou válců h . Výhodou této metody je snadné NC řízení, což je důležité při výrobě dílců s proměnnou křivostí v příčném řezu a tím, že plech se nám zakrouží během jednoho průchodu.

Nevýhody: robustnost spodního válce (250-300mm), značná tlaková síla z důvodu překročení deformačního odporu polyuretanu. Metoda je zobrazena na obrázku 17.

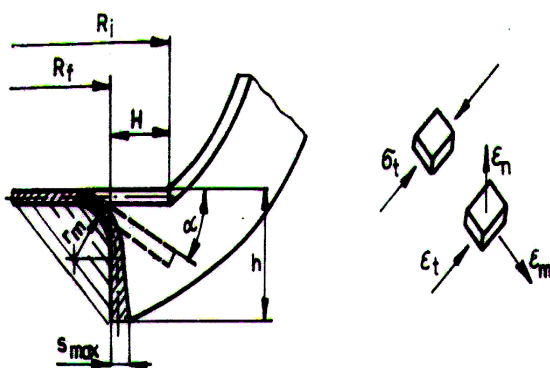
Obr. 17 Schéma funkce dvouválcové zaválcovačky [21]



6.4.4 Tvarování vypuklého lemu

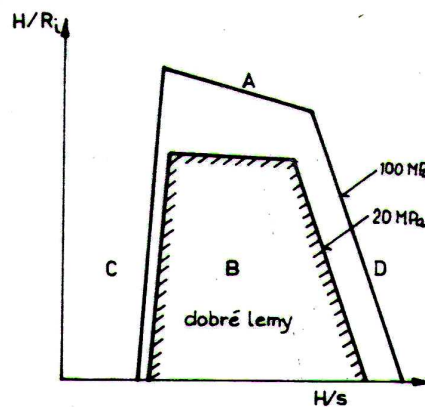
Tvarování vypuklého lemu přináší problém s přebytkem materiálu, který mají za následek obrysové poloměry $R_i > R_f$. Geometrie vypuklého lemu je znázorněna na obrázku 18. Přetvoření ve směru obrysové křivky je nutně realizováno tlakovým tangenciálním napětím σ_t , které vyvolává zpěchování přebytečného materiálu, tedy růst jeho tloušťky (s). V důsledku převažujícího tlakového napětí může dojít ke ztrátě stability lemu. Vznikající zvlnění plechu, které mohou vzniknout v důsledku ztráty stability lemu můžeme eliminovat zvýšením měrného tlaku p . Dalšími parametry jsou $\varepsilon_t = H/R_i$, s , R_f , tvrdost elastického materiálu (polyuretanu), materiál plechu. Vzájemná souvislost je udávána diagramy mezního stupně přetvoření (DMSP) Woodova typu, který je znázorněn na obrázku 19. Z diagramu je zřejmé, že zvýšení měrného tlaku p rozšiřujeme oblast dobrých (kvalitních) lemu.

Obr. 18 Geometrie vypuklého lemu [21]



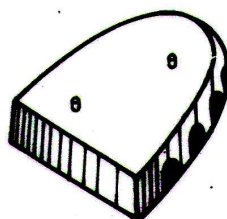
Obr. 19 DMSP Woodova typu, vypuklý lem [7]

- A- Oblast plastické deformace, zvlněných lemu
- B- Oblast dobrých lemu
- C- Oblast nedolisovaných lemu
- D- Oblast elastického zvlnění lemu



Další variantou jak zabránit rozšiřování stěny tvářeného plechu jsou takzvané technologické prolisy v předepsaných místech lisovníku. Lisovník je opatřen potřebným prosazením, kam se vytlačuje přebytečný materiál. Prosazení jsou zobrazeny na obrázku 20. Skladům je možno rovněž předejít tím, že se na polotovaru v předem určených místech vystřihnou výseče v okrajích materiálu.

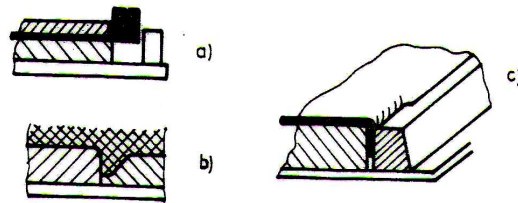
Obr. 20 Lisovník s prosazením [21]



Úpravou nástrojů lze taktéž předejít růstu stěny. Úprava nástrojů je znázorněna na obrázku 21.

Obr. 21 úprava nástrojů [21]

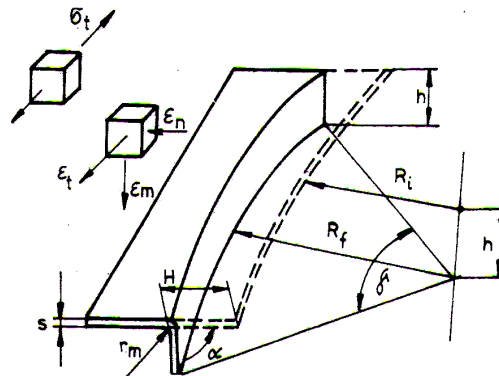
- a) Příložkami z tvrdé pryže (polyuretanu)
- b) Usměrnění toku pryže (polyuretanu) bočními lištami
- c) Bočním pohyblivým příložkami



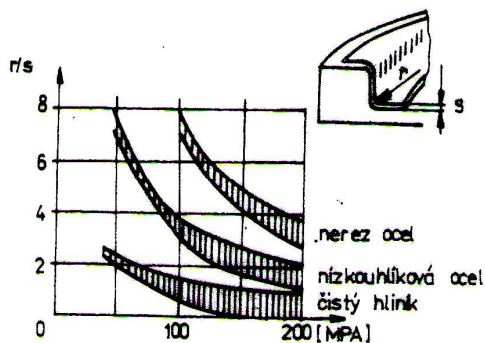
6.4.5 Tvarování dutých lemů

V důsledku vzniku tahového napětí podél hrany lemu výlisku R_f se tloušťka materiálů zmenšuje a dosáhne-li poměrné přetvoření kritické hodnoty, vznikají u hrany lemu trhliny. V důsledku toho je třeba provést lemování na dvě operace s příslušným tepelným zpracováním. Geometrie dutého lemu je znázorněna na obrázku 22. Při zpracování slitin Mg nebo slitin Ti je vhodné lisovník s polotovarem předeřt v peci o teplotě $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ a po vyjmutí těsně před lisováním nanést vrstvu pryže (polyuretanu), který snese větší měrný tlak a dají se tvarovat lemy až do tloušťky 5 mm. K rozhodujícím parametrům procesu patří kvalita povrchu hrany lemu tj. existence mikrotrhliny, zátrhů a hodnota drsnosti povrchu Ra. Měrný tlak nemá vliv na vznik trhlin, podmiňuje pouze dolisování lemu na $\alpha = 90^{\circ}$. Polyuretan na rozdíl od pryže snese tlaky až 200 MPa, což má příznivý vliv na geometrické parametry lemu r/s obrázek 23. Například pro hliník lze při tlaku 100 MPa dosáhnout polovičního poměru r/s. S ohledem na vysoké tlaky musíme použít hydraulické lisy.

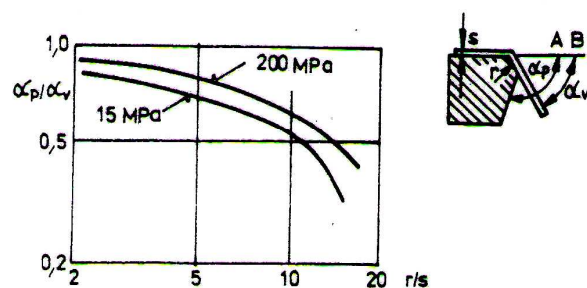
Obr. 22 Geometrie dutého lemu [7]



Obr. 23 Vliv tlaku kapaliny na hodnoty r/s [7]



Obr. 24 Vliv tlaku kapaliny na pružení Ti slitin při ohybu [21]



6.5 TAŽENÍ [6, 7, 14, 21]

Tažení je technologickým procesem, při němž se z rovinného plechu (přístříhu) v jedné nebo několika operacích (tzv. hluboké tažení plechu) vyrobí duté těleso. Tažením můžeme vyrábět součásti rotační, hranaté i složité nesymetrické tvary.

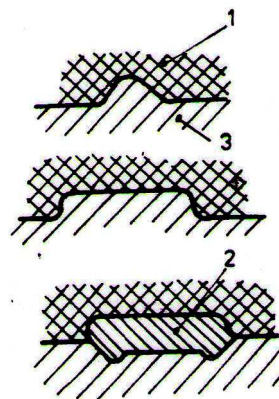
Tváření nepevným nástrojem (pryží, polyuretanem, kapalinou) nahrazuje tváření pevným nástrojem zejména z ekonomických důvodů a tvarové složitosti výtažků.

6.5.1 Tažení pomocí polyuretanu

Tváření pomocí polyuretanu je možno použít jak pro mělké, tak i pro hlubší tažení, tažení lemů atd.. Polyuretan má pro tažení velmi dobré vlastnosti (otěruvzdornost, životnost, a to i při opakovaném zatížení měrnými tlaky kolem 350 až 1000 MPa, což jsou hodnoty vyšší než mez kluzu běžných kovových materiálů, zpracovávaných plošným tvářením. S ohledem na odlišné vlastnosti polyuretanu oproti pryžím je nutno respektovat při konstrukci nástrojů některá doporučení. K přetvoření polyuretanu a k jeho přemístění do zúžených prostorů lisovacích nástrojů je nutná přítomnost vyšších měrných tlaků, než by vyžadovala pryž, proto polyuretan nesnadno zatéká do drážek a ostřejších dutin, prolisů. Těmto problémům lze předejít konstrukcí pevného nástroje. Nástroj by měl mít pozitivní (vypuklý) tvar, jak znázorňuje obrázek 25.

Obr. 25 Příklad vhodného uspořádání nástroje při tvoření prolisů polyuretanem [21]

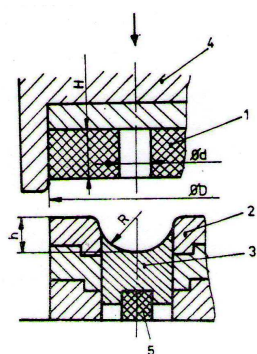
1. polyuretan
2. vložený pomocný lisovník
3. lisovník, pevný nástroj



Pokud je negativní tvar pevného nástroje nutný, lze přesného dotvarování prolisů dosáhnout pomocí vloženého lisovníku, aniž by bylo nutno neekonomicky zvyšovat měrný tlak. Při užití negativního pevného nástroje (tažnice) je vhodné opatřit polyuretanový blok centrálním odlehčením, jak je znázorněno na obrázku 26. Dosáhneme tím dostředné přemístění polyuretanu a tím jeho tok do dutiny tažnice. Polyuretan nese polotovar v důsledku rozdílných součinitelů tření mezi materiálem, polyuretanem a tažnicí.

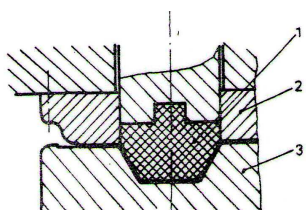
U hlubokých tahů je vhodné využít tvarových tažníků, účelný je také kovový přidržovač. Třecí poměry jsou z obou stran stejné. Tvarový tažník je znázorněn na obrázku 27.

Obr. 26 Schéma nástroje s centrálním odlehčením polyuretanového nástroje [21]



- 1 – polyuretan
- 2,3 – tažnice (pevná a pohyblivá část)
- 4 – pouzdro
- 5 – polyuretanová pružina

Obr. 27 Schéma nástroje s tvarovaným kusovníkem z polyuretanu [21]



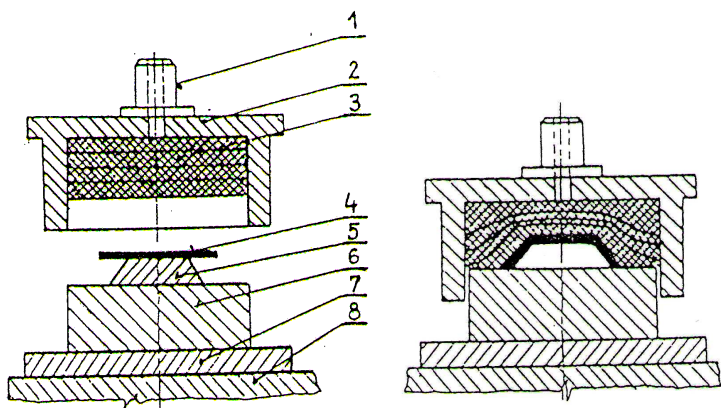
- 1 - lisovník, polyuretan
- 2 - přídržovač
- 3 - tažnice

6.5.2 Metoda Guerin

Tato metoda nalezne uplatnění v kusové a malosériové výrobě dílců ocelových a neželezných kovů (hliníkové slitiny). Je to univerzální metoda vhodná k použití pro různé druhy stříhání, ohýbání, děrování a mělkého tažení. Metoda Guerin je založena na elasticitě polyuretanu v ocelové skříni. Velkou výhodou je nízká pořizovací cena, jednoduchá konstrukce a výroba. Polyuretan nezanechává na výtažku žádné stopy (zvrásnění) z důvodu rovnoměrného rozložení měrného tlaku na dílec. Nevýhodou je potřeba velkých sil, omezená životnost elastického prostředí, omezená tloušťka tvářeného plechu například pro ocelový plech je to 0,1 až 0,5 mm pro hliník do 2 mm. Metoda je zobrazena na obrázku 28.

Obr. 28 Metoda GUERIN [6]

- 1 – stopka nástroje, 2 – pouzdro, 3 – polyuretanové desky, 4 – plech, 5 – kalená podložka, 6,7 – desky, 8 – stůl lisu

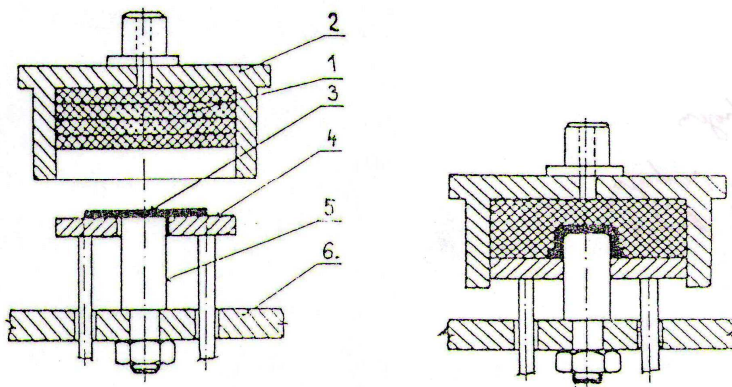


6.5.3 Metoda Marform

Tato metoda nalezne uplatnění v kusové a malosériové výrobě. Univerzální metoda, která je vhodná na rozdíl od metody Guerin i pro hluboké tažení ocelových i nezelezných plechů. Vrstva polyuretanu musí být alespoň třikrát větší než tloušťka plechu, aby nedocházelo k rychlému opotřebení a ztrátě elasticity polyuretanu. Výhodou je stejně jako u metody Guerin, že měrný tlak je rovnoměrně rozložen po povrchu dílce, působí účinně na stěny výtažku a tím je odstraněno nebezpečí vzniku vrásek. Nevýhodou je nutnost použití velkých sil. Metoda je znázorněna na obrázku 29

Obr. 29 metoda MARFORM [6]

1 – polyuretan, 2 – pouzdro, 3 – plech, 4 – přidržovač, 5 – tažník (vyměnitelný), 6 - stůl



7. ZÁVĚR

Polyuretanové elastomery se neustále vyvíjejí ruku v ruce s vývojem doby, průmyslu a s ním spojených inovačních procesů, zabývajících se novými technologiemi a postupy, díky nimž se mechanické a fyzikálně chemické vlastnosti polyuretanů stále zdokonalují.

Jejich význam neustále stoupá napříč celým průmyslovým spektrem. Polyuretany v technologii tváření jsou momentálně hojně využívány zejména v kusové a malosériové výrobě (letectví aj.), kde dobře nahrazují pevné nástroje, které jsou oproti polyuretanům drahé a jejich výroba je časově náročná.

Mnohé společnosti zabývající se využíváním nových technologií budují laboratoře pro výzkum, vývoj a testování polyuretanových směsí. Tím se zvyšuje efektivita vývoje a využití těchto materiálů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Bayer-BaySystem* [on line]. [cit. 2009-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.bayer-baysystems.com/BMS/BaySystems.nsf/id/19_CE_TS_Baynat>
- [2] *Czech Trade International* [on line]. [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://psp-izoterm.trade.cz/tepelne-izolace-potrubi-a-nadrzi>>
- [3] ČERNÁ, Břetislava, GREGOR, Radomil. *Syntetické polymerní hmoty*. 1. vyd. Brno : Masarykova univerzita, 1989. 122 s. ISBN 80-210-0129-1.
- [4] *Česká asociace pro polyuretan ve stavebnictví* [on line]. [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://sweb.cz/pur.asociace/purasociace.htm>>
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy*. 1. vyd. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, 1996. 56 s. ISBN 80-7080-265-0.
- [6] DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. 1. vyd. Brno : CERM, s.r.o., 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [7] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 1. vyd. Brno : WELCO, spol. s.r.o., 1996. 169 s. ISBN 80-214-0771-9.
- [8] FIBRO Werkzeugbau- Normalien. Fibro GmbH WNK. Hassmersheim. 1980
- [9] *Google* [on line]. [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: http://images.google.cz/imgres?imgurl=http://www.indiamart.com/solidwheels/pca-t-gifs/products-small/Polyurethane-Rollers.jpg&imgrefurl=http://catalogs.indiamart.com/products/industrial-rollers.html&usg=__B2hZT9xkrdvnmI7VxYO_86J-9I8=&h=240&w=240&sz=11&hl=cs&start=27&um=1&tbnid=ewLb3G2DU1WfCM:&tbnh=110&tbnw=110&prev=/images%3Fq%3Dpolyurethan%2Brollers%26ndsp%3D20%26hl%3Dcs%26rlz%3D1T4ADBF_enCZ238CZ242%26sa%3DN%26start%3D20%26um%3D1
- [10] MEISSNER, Bohumil, ZILVAR, Václav. *Fyzika polymerů : struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1987. 308 s. Celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty vysokých škol chemicko-technologických studijního oboru 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů .
- [11] MLEZIVA, Josef. *Polymery-výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Brno : Sobotáles, 1993. 528 s. ISBN 80-901570-4-1.

- [12] RŮŽIČKA, Kamil, ZAKIROV, Il'dus Muchametgalevič, MART'YANOV, Alexandr Genadjevič. *Rotačné tvárenie tenkých plechov elastickým prostredím*. 2. upr. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2001. 263 s. ISBN 80-227-1481-X.
- [13] ŠMEHLÍKOVÁ, Eva. *Příspěvek k radiálnímu vypínání osově symetrických dílců*. [s.l.], 2007. 23 s. VUT- Brno. Fakulta strojní. Vedoucí dizertační práce Prof. Ing. Radko Samek, CSc.
- [14] ŠPAČEK, Jindřich, ŽÁK, Ladislav. *Speciální technologie I a II-návody do cvičení-část: plošné tváření*. 1. vyd. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 109 s. ISBN 80-214-0259-8.
- [15] *Tanex Plasty* [on line]. [cit. 2009-02-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.tanexplasty.cz/pur-peny.html>>
- [16] VACÍK, Jiří, et al. *Přehled středoškolské chemie*. 4. vyd. Praha : SPN-pedagogické nakladatelství, 1999. 368 s. ISBN 80-7235-108-7
- [17] VESELÝ, Karel. *Polymery*. 1. vyd. Brno : Česká společnost průmyslové chemie, 1992. 178 s. ISBN 80-02-00951-7.
- [18] VM Plast, s.r.o. [on line]. [cit. 2009-03-12] Dostupný z WWW: <<http://www.vmplast.cz/?x=polyuretan-polytan>>
- [19] VSS, s.r.o. [on line]. [cit. 2009-03-12] Dostupný z WWW: <<http://www.vss-plasty.cz/plastove-polotovary/polytan.html>>
- [20] *Zemědělské obchodní družstvo-Slezská Hořina* [on line]. [cit. 2009-03-12]. Dostupný WWW: <<http://www.zod-brum.cz/vyrobkytp.html>>
- [21] ŽÁK, Jan, SAMEK, Radko, BUMBÁLEK, Bohumil. *Speciální letecké technologie I*. 1. vyd. Brno : Československá redakce VN MON, 1990. 220 s. ISBN 80-214-0128-1.

SEZNAM PŘÍLOH

TABULKA 1 [5]

Adiprene	polyuretanový kaučuk
Cyanaprane	polyuretanový kaučuk
Desmodur R	polyuretan (lepidlo)
Desmodur TH	polyuretan (lak)
Desmopan	polyuretanový kaučuk
Desmophen	polyesterová nebo polyetherová složka polyuretanů
Desmophen 800	lepidlo
Durethan U	polyuretan (vlákna a folie)
Eladur	polyuretanový elastomer na bázi Polyetheru
Elastothane	polyuretanový kaučuk
Estane	polyuretanový kaučuk
Flexane	polyuretany
Genthane	polyuretanový kaučuk
Kin-U-Thane	polyuretany
Molitan	polyuretan (pružná pěna)
Moltopren	polyuretan (pružná pěna)
Multrathene	polyuretanový kaučuk
Pellethane	polyuretan (termoplastický)
PU 1	polyuretan
Ren-Thane	polyuretanové elastomery
Reynosol	polyuretany
Rucothane	polyuretany
SKU	polyuretanový kaučuk
Solithane	polyuretanový kaučuk
Spengel	polyuretany
Texin	polyuretanový kaučuk
Tuftane	polyuretan
Urepan	polyuretanový kaučuk
Vibrathane	polyuretanové elastomery
Vithane	polyuretanové pryskyřice
Voranol	polyuretanová pryskyřice
Vulcaprene	polyuretanové kaučuky
Vulkollan (Polytan)	polyuretanový kaučuk

TABULKA 3 [12]

Výrobce VEITH K6 Spolková republika Německo

Typ	tvrdost °ShoreA	pevnost v tahu N/mm ²	E - modul N/mm ²	napětí při 100 % prodloužení N/mm ²	hustota g/cm ³	prodloužení při roztrhnutí %	odrazová pružnost %	deformace tlakem při 70 °C/24 hod %	koeficient tření ocel - ELADUR
ELADUR									
33	65±3	19	17	2,1	1,08	900	40	12	-
42	80±3	21	23	2,8	1,08	800	35	12	-
100	90±2	31,5	49	7,6	1,1	500	30	12	0,55
167	96±1	43	77	12,4	1,13	450	25	20	0,5
200	98±0,5	58,5	160	20,7	1,18	315	15	32	0,4
315	-	77,5	450	29,6	1,12	270	5	-	0,2

TABULKA 4 [12]

Fyzikálně – mechanické vlastnosti polyuretanů vybraných Ruských federací

typ	hustota g/cm ³	modul pružnosti při 300 % prodloužení MPa	pevnost v tahu Mpa	prodloužení %		odolnost proti oděru MPA	tvrdost °ShoreA
				poměrné	trvalé		
polyuretan							
SKU - PFL	1,2	30	40 – 50	350 – 400	6 - 10	9 - 10	92 – 95
SKU – PF - 15	-	-	35	500	2	4	80
SKU - 6	1,24	4	45 – 50	500 – 550	0 - 2	3	55 – 60
SKU - 7L	1,25	8 - 10	50 – 60	500 – 600	2 - 4	5 - 7	75 – 80
SKU - M	-	-	55	600	10	10	60
SKU - 7 - 85	1,26	15 - 18	50 – 60	500	2 - 5	5 – 6,5	81 – 89
SKU - 7 - 100	1,26	37	-	350 - 380	15 - 20	-	91 - 99

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
D	Průměr otvoru	[mm]
d	Průměr otvoru	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
F _E	Celková deformační síla	[N]
f	Třecí součinitel	[-]
G	Smykový modul	[MPa]
h	Vzdálenost válců	[mm]
K _T	Tvarový součinitel	[-]
p _D	Měrný tlak přípustný	[MPa]
q	Měrný tlak	[Mpa]
R	Poloměr	[mm]
R _i	Obrysový poloměr	[mm]
R _f	Obrysový poloměr	[mm]
V	Objem celkový	[mm ³]
v _e	Přemístěvaný objem	[mm ³]
σ _d	Deformační odpor	[Mpa]
σ _p	Přirozený deformační odpor	[Mpa]
σ _t	Napětí zpěchování	[Mpa]