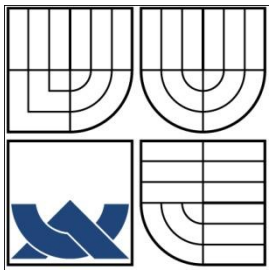
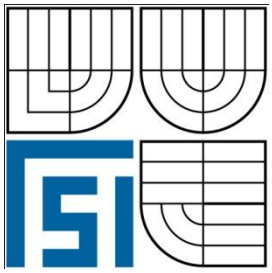


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TVÁŘENÍ ELASTOMERY

FORMING USING ELASTOMERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — PAVEL POLÍVKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Polívka

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:

Tváření elastomery

v anglickém jazyce:

Forming using elastomers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie možných způsobů využití pryže/polyuretanu při výrobě dílců ve tváření. Rešerše bude obsahovat základní rozdělení a principy.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na výrobu součástí prostřednictvím pryže/polyuretanu ve tváření se zhodnocením jejich vhodnosti či nevhodnosti a s ukázkami použití.

Seznam odborné literatury:

1. HOLUB, Josef. Pryž jako konstrukční materiál. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1965. 268 s. Redakce chemické literatury. DT 678.4:621.
2. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: RVO VA, 1994. 214 s.
3. SAMEK, Radko. Technologické problémy při tváření elastomery. In Sborník VA v Brně. 1. vyd. Brno: VA, [1990?]. s. 79-85.
4. SAMEK, Radko. Využití polytanu ke tvarování dílců leteckých motorů. [s.l.]: [s.n.]. s. 231-272.
5. 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.
6. Fibro. Elastomere - Desky a profily FIBROFLEXŽ [online]. Š 2004-2007. [cit. 2006-08-15]. Dostupný z WWW: <http://www.fibro.de/xdesk_neu/ximages/265/1217_teilg.pdf>. Http://www.gore.cz/index.php?view=article&catid=43%3Akatalogy-fibro-ke-staeni&id=87%3A12-elastomery&option=com_content&Itemid=70.
7. 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. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 16.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

ABSTRAKT

POLÍVKA Pavel: Tváření elastomery.

V bakalářské práci je provedena aktuální literární studie se zaměřením na výrobu součástí pomocí elastomerů v aplikacích tváření. Studie obsahuje vysvětlení jednotlivých speciálních metod, jejich porovnání s klasickými metodami ve tváření, zhodnocení jejich vhodnosti či nevhodnosti, a ukázky použití.

Klíčová slova: Tváření, elastomery, nekonvenční metody

ABSTRACT

POLÍVKA Pavel: Forming using elastomers.

The bachelor's thesis contains a current literary study with focus on the production of components by elastomers in applications forming. The study contains an explanation of each of the special methods, their comparison with classical methods in forming, the assessment of their propriety or impropriety, and demonstration of usage.

Keywords: Forming, elastomers, unconventional methods

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLÍVKA, P. *Tváření elastomery*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 20 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

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 21. 5. 2010

……
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

Str.

1 Úvod ..... - 10 -
1.1 Otevřený a uzavřený nástroj ..... - 11 -
1.2 Elastomery ..... - 11 -
2 Uplatnění elastomerů v technologických aplikacích ..... - 13 -
2.1 Guerin ..... - 13 -
2.2 Marform ..... - 15 -
2.3 Ohýbání ..... - 16 -
2.3.1 Výroba profilů ohýbáním ..... - 16 -
2.3.2 Ohýbání trubek ..... - 17 -
2.4 Zakružování ..... - 18 -
2.5 Radiální vypínání ..... - 18 -
3 Závěr ..... - 20 -
Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek

1 Úvod [1], [6], [7]

Tváření kovů patří k nejhospodárnějším metodám technologického zpracování vzhledem k minimálnímu odpadu materiálu. Cílem je dosáhnout požadovaného tvaru součásti a také zlepšit mechanicko-fyzikální vlastnosti výchozího polotovaru. Zhotovují se nejen polotovary určené k dalšímu zpracování tvářením, obráběním a jinými technologiemi, ale rovněž hotové výrobky rozmanitých tvarů a rozměrů.

Tváření se řadí do oblasti beztřískových technologií. Výhodami jsou vysoké využití materiálu, vysoká produktivita práce a dobrá rozměrová přesnost tvářených součástí. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů.

Jedno ze základních rozdělení technologií pro zpracování kovů je podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekrystalizace (0,35–0,4 teploty tání kovu). Rozlišuje se tváření za studena, poloohřevu a za tepla.

- Tváření za studena je tváření pod rekrystalizační teplotou. Dochází ke zpevňování materiálu a zrna se deformují ve směru tváření. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty jako mez pevnosti a mez kluzu, a klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevněním. Nevýhodou je nutnost používat velkých tvářecích sil, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu.
- Tváření za poloohřevu probíhá těsně pod rekrystalizační oblastí.
- Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou. Materiál se nezpevňuje a k tváření stačí síly až desetkrát menší než u tváření za studena. Nevzniká textura, ale povrch je nekvalitní vlivem okujení.

Tváření kovů se dělí na objemové a plošné. Objemové tváření je takové tváření, při kterém nastává přetvoření v celém objemu součásti. Patří sem protlačování, ražení, pěchování, kování a válcování. Plošné tváření je definováno jako technologický pochod, při kterém nastává změna tvaru mimo tloušťky. Patří sem operace dělení a tvarování. Mezi dělení patří prosté stříhání tabulí a pásů plechu, profilovaných tyčí a trubek, dále vystřihování rozvinutých tvarů a dělení, ostřihování, přistřihování výtvarků apod. Mezi tvarování patří tažení a kovotlačení. Získávají se prostorově členité výtvarky. Výchozími polotovary jsou ploché přístřihy nebo "rozvinuté tvary" profilů a trubek.

Aby se zvýšila efektivnost operací tváření a dosáhlo co nejvyššího přetvoření, bývají operace sdružovány nebo kombinovány.

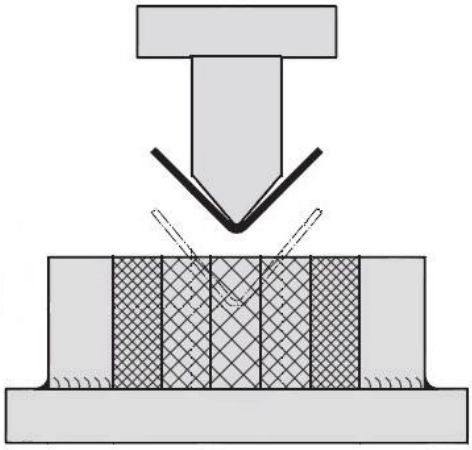
Pro operace tváření se volí vhodný tvářecí nástroj, který může být:

- Konvenční (pevný) nástroj, který se skládá z tažníku a tažnice vyrobených z pevného materiálu (nejčastěji ocel). Během tváření se ani u jedné z částí nástroje nemění tvar. Jedná se tedy o klasický, konvenční způsob tváření.
- Nekonvenční (nepevný, pružný) nástroj, který se skládá z tažníku a tažnice. Tažník je pevný (během tváření nemění svůj tvar) a tažnice je pružná, její tvar se vlivem napěťových poměrů v nástroji mění. Používá se např. elastomerový blok. Jedná se o nekonvenční způsob tváření a využití nachází zvláště v letecké výrobě při zpracování konstrukčních prvků stříháním (Guerin), tažením (Marform), ohýbáním a dalšími speciálními aplikacemi.

Mezi nekonvenční způsoby tváření patří tváření kapalinou, plynem, hliníkovým prachem atd., ale vzhledem k zaměření práce, jsou zmíněny pouze metody tváření elastomery.

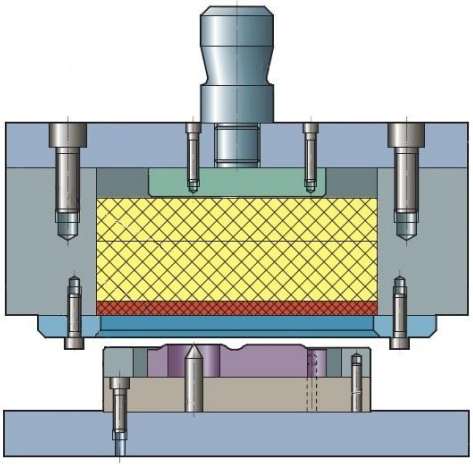
1.1 Otevřený a uzavřený nástroj [5]

Otevřený nástroj představuje kontejner, který leží na stole a uvnitř je vložený elastomerový blok. Razník upnutý na beranu lisu zajíždí do elastického prostředí elastomerového bloku a tvaruje polotovar, jak je znázorněno na obrázku 1.1. Může se použít také jako přídavné zařízení k hydraulickému lisu. Výhodou je jeho jednoduchost provedení, nízké náklady na zhotovení a z toho plynoucí nízká pořizovací cena. Jeho předností je také univerzálnost použití. Nevýhodou je, že nástroj pouze ohýbá. Je zaměřen na technologii ohýbání. Při tváření je zapotřebí vyšší síly, jak vyplývá ze vztahu (1), než při tváření konvenčním nástrojem. Proto se používají těžkotonážní lisy. Nastává odpružení 1–3°.



Obr. 1.1 Otevřený nástroj [5]

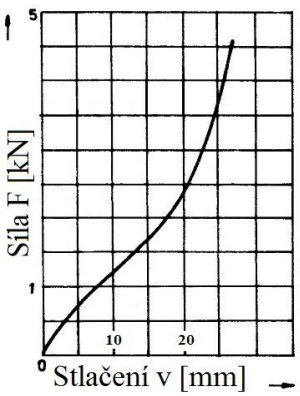
Uzavřený nástroj je na obrázku 1.2. Skládá se z kontejneru se stopkou, který je uchycen k beranu lisu. Uvnitř kontejneru se nachází elastomerový blok. Může být z jednoho dílce, tedy monoblok, nebo z několika na sebe naskládaných dílců elastomerů, jak je zobrazeno na obrázku. Polotovar se pokládá na ponornou desku umístěnou na stole. Kontejner vykonává pohyb směrem dolů a polotovar se tvaruje v elastickém prostředí, které je uzavřeno ponornou deskou. Výhodou tohoto nástroje je, že lze realizovat i jiné technologie než ohýbání, např. stříhání, tažení apod., a zvláště jejich kombinace. Náklady na zhotovení nástrojů jsou nízké, a tím i jejich pořizovací cena je nízká. Odpružení je velmi malé. Nevýhodou je nutnost vyvinout ještě vyšších sil pro tvarování součásti, a proto se používají těžkotonážní lisy o větších silách než u tváření otevřeným nástrojem.



Obr. 1.2 Uzavřený nástroj [5]

1.2 Elastomery [4], [3], [5], [2]

Základní surovinou pro výrobu elastomerů jsou kaučuky. Jsou to polymery, které mají ve svém molekulárním řetězci reaktivní místa, např. dvojné vazby, umožňující chemickou síťovací reakci nazývanou vulkanizace. Při vulkanizaci se plasticky tvárný kaučuk mění na elastomer. Výhodou elastomerů je schopnost velké elastické deformace (100 až 500% i více) při zatěžování v tahu. Elasticita se projevuje tím, že lze elastomery poměrně malou silou deformovat v tahu, tlaku, ohybu, kroucením apod. v daleko větších mezích, než je obvyklé u kteréhokoliv jiného materiálu. Po vymizení vnější síly elastomery rychle nabývají téměř beze zbytku rozměrů a tvarů, jaké měly před deformací. Jsou tedy schopny snášet bez poškození relativně velké opakované deformace a přeměňovat ve velké míře mechanickou energii v tepelnou (tlumení). Dynamicky namáhané elastomerové dílce nepraskají



Obr. 1.3 Deformační křivka elastomeru [2]

náhle, nýbrž své vnitřní "stárnutí" signalizují různými průvodními jevy (např. trhlinkami na povrchu), jež lze pozorovat podstatně dříve. Jsou chemicky stabilní a nepropustné pro plyny a vodu. Nevýhodou je použití v relativně úzkém teplotním intervalu a vliv času na všechny jejich vlastnosti je poměrně velký. Mechanické, chemické a dynamické vlastnosti mají relativně velké rozptyly číselných hodnot. Deformační křivka přetvoření vzorku elastomeru o průměru 22mm a výšce 95mm je zobrazena na obrázku 1.3. Z obrázku je vidět, že přetvoření má svou hranici, kterou lze považovat za projev nestlačitelnosti.

Celková síla při tváření v elastickém prostředí bývá větší než při tváření konvenčním nástrojem. Vyplývá to ze vztahu pro celkovou sílu ´ F_C ´.

$$F_C = F_{tv} + F_{tř} + F_{el} \text{ [N]} \quad (1)$$

F_{tv} ...složka síly čistého tváření materiálu [N]

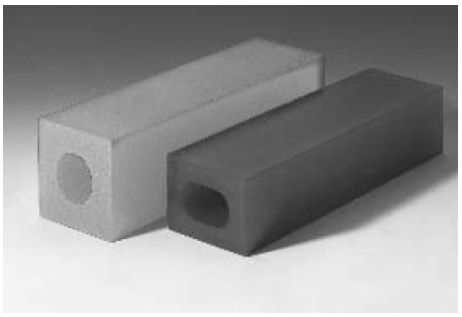
$F_{tř}$ ...složka síly třecí mezi formou a elastomerovým blokem [N]

F_{el} ...složka síly na přetvoření elastomeru [N]

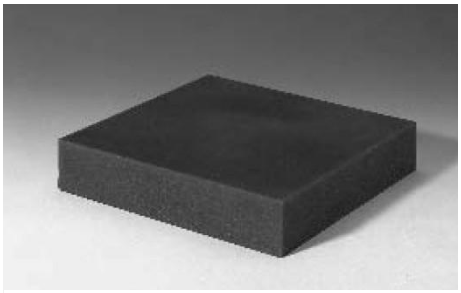
Obr. 1.4 Elastomerové válečky [5]

Elastomery určené pro tváření se dělí do tří skupin podle tvrdosti a z toho plynoucí vhodnost aplikace: Tvrdost 65Sh se používá pro operace tažení. Tvrdost 85Sh se používá převážně pro operace stříhání a ohýbání. Tvrdost 95Sh (nejtvrdší) se používá pro operace ražení. Obecně platí, čím "tvrdší" operace, tím tvrdší je potřeba elastomer. Uvedené rozdělení je pouze orientační.

Elastomerové bloky se vyrábí v různém provedení. Jako např. duté nebo plné válečky uvedené na obr. 1.4, hranoly (obr. 1.5) a desky (obr. 1.6) apod. Přesný popis se všemi mechanickými vlastnostmi, označením a rozměrovými údaji se nachází v katalozích výrobců. Mezi elastomery patří pryže a v současné době hodně používané polyuretany. Pryže snáší tlaky do 50MPa a jejich životnost je desetinásobně nižší než životnost polyuretanů, ale jsou laciné. Polyuretany vynikají oproti pryži značnou otěruvzdorností, životností, a to i při opakovaném zatěžování měrnými tlaky až 20-ti násobně vyššími než při tváření pryží. Jde o tlaky do 1000MPa, což jsou hodnoty vyšší než mez kluzu běžných kovových materiálů zpracovávaných plošným tvářením. Dnes již převládá použití polyuretanu.



Obr. 1.5 Elastomerové hranoly [5]



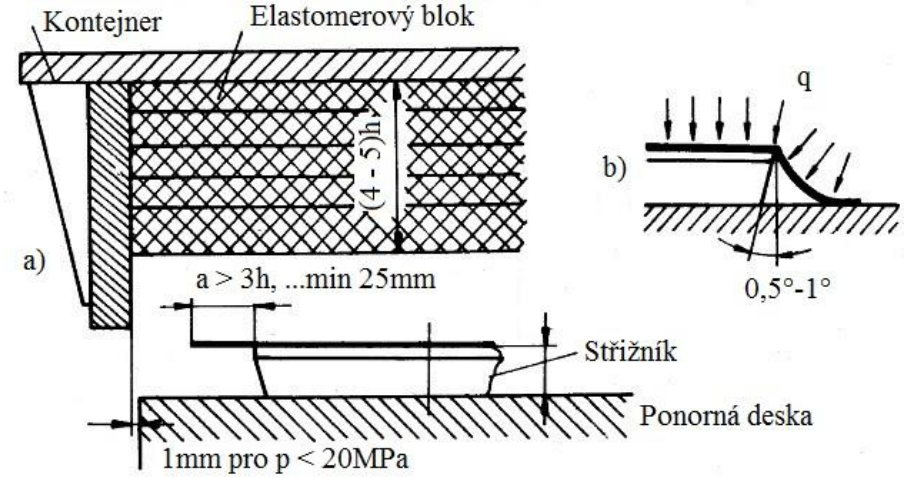
Obr. 1.6 Elastomerová deska [5]

2 Uplatnění elastomerů v technologických aplikacích [2]

Elastomery používané v technologických aplikacích mají široké uplatnění. Vzhledem k zaměření práce je zmíněno hlavně využití v tvářecích metodách. Jedná se o metody Guerin, Marform a další speciální využití elastomerů v aplikacích ohýbání, zakružování a vypínání. Mezi pružná média patří pryž a polyuretan. Kromě použití v tváření se využívají jako tzv. pružiny v tvářecích nástrojích, jako vyražeče, přidržovače v ohýbadlech, tažidlech, stříhadlech apod.

2.1 Guerin [1], [2]

Metoda Guerin se používá pro operace stříhání. Využívá se ale také pro operace ohýbání. Technologie stříhání je nejrozšířenější způsob zpracování plechu, ať už se jedná o finální výrobek nebo polotovary určené k dalšímu zpracování (např. rondely pro tažení atd.) Podstata stříhání spočívá v oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Přesnost a kvalita střižné plochy je ovlivněna mnoha faktory, z nichž k nejdůležitějším patří velikost střižné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání, kvalita střižného nástroje resp. lisu apod. Střižné nástroje jsou stříhadla a děrovadla. Hlavní částí stříhadla je střižník a střižnice. Mezi další doplňky patří ústrojí upevňovací, posuvové, vyhazovací aj. U klasické (konvenční) metody jsou střižník a střižnice vyrobeny z pevného materiálu (oceli). U nekonvenční metody je střižník vyroben z pevného materiálu, ale střižnici tvoří elastomerový blok a průběh střihu je proto odlišný od běžného stříhání dvěma noži. Nedochází k ustřižení, ale k utržení plechu. Metoda s použitím takovéhoto nekonvenčního nástroje se označuje jako metoda Guerin.



a) Schéma nástroje b) Přelomení materiálu na ostré hraně

Obr. 2.1 Princip stříhání metodou Guerin [2]

Princip stříhání metodou Guerin je na obr. 2.1a). Představuje kontejner, v němž je uložen elastomerový blok složený z několika desek tloušťky 25–30mm. Jeho tvrdost bývá (75–85)Sh. Střižník je upevněn na ponorné desce. Na jeho čelní ploše je uložen polotovar centrovaný fixačními kolíky. Při stříhání elastomery je polotovar přelomen (utržen) na ostré hraně střižníku, čemuž napomáhá intenzivní napětí v tahu. Schéma je na obrázku 2.1b). Přesahující okraj plechu je elastomerem silně přitlačen na ponornou desku, zvyšujícím se tlakem ´q´ je vytahován a zároveň ohýbán kolem střižné hrany. Aby došlo k přelomení, musí polotovar dostatečně přesahovat přes okraj střižníku, jinak dojde k ohybu polotovaru. Střižná plocha není dokonalá, může mít trhlinky, otřep nebo mikrotrhlinky. Proto se v řadě případů doporučuje přídavek 0,8–1mm pro obrysové frézování dílců.

S ohledem na přípustné měrné tlaky elastomeru je stříhání limitováno tloušťkou a pevností materiálu. Doporučují se obvykle tyto mezní tloušťky plechů: dural $s < 1.5$mm, hliník $s < 2$mm, ocel $s < 1$mm. Pro střižnou sílu platí vztah:

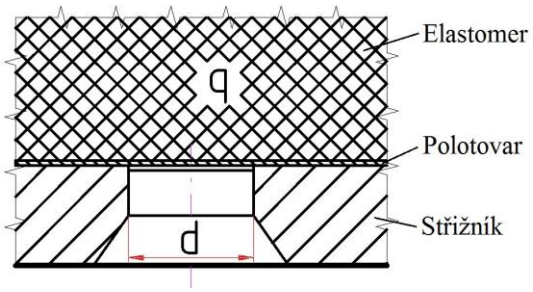
$$F_s = S \cdot q \ [\mathrm{N}] \tag{2}$$

S ... plocha elastického prostředí [mm^2]
q ...měrný tlak [MPa]

a je zřejmé, že velikost střižné síly nezávisí na délce střihu. Kromě toho v důsledku omezených hodnot měrného tlaku ´q´ není možno prostřihovat otvory malých průměrů. Plocha otvoru musí poskytnout náležitou střižnou sílu ´F_s´. Schéma prostřihování otvoru je na obr. 2.2. Musí být splněna podmínka:

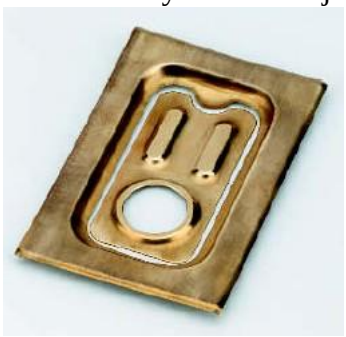
$$\frac{\pi d^2}{4} q \geq \pi d s \tau_s \tag{3}$$

d ...průměr otvoru [mm]
q ...měrný tlak [MPa]
s ...tloušťka materiálu [mm]
τ_s ...pevnost ve střihu [MPa]

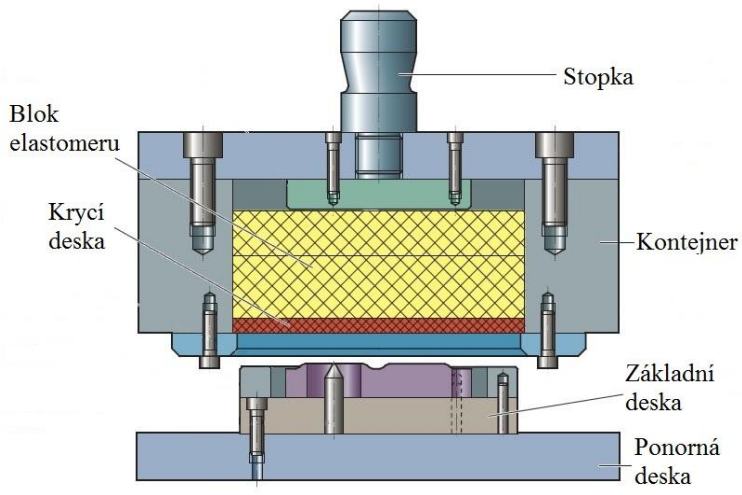


Obr. 2.2 Prostřihování otvoru

V leteckém průmyslu jsou používány těžké hydraulické lisy (150, 300, 450 i 800MN), které umožňují při stříhání dosáhnout měrných tlaků ´q´ hodnot 30 až 40MPa při ploše elastomerového bloku cca $6m^2$, na kterých se stříhá několik polotovarů najednou přímo z jedné tabule plechu. Tím se může dosáhnout optimálního rozložení výstřižků. Další výhodou metody Guerin je možnost kombinovat stříhání s ohýbáním a mělkým tažením. Toho se využívá pro tváření dílců nesymetrických a mělkých, jako jsou ploché desky opatřené výztužnými prolisy nebo zakřivenými lemy. Příklad takového dílce je na obr. 2.3. V průběhu tváření nedochází ke značným přesunům objemu materiálu. Nástroj je podobný jako v případě stříhání a je znázorněn na obr 2.4. Materiál je napěchován do dutiny tažnice tlakem elastomeru, který plní funkci tažníku a současně přidržuje (brzdí) i lem výtažku. Elastomer má tvrdost asi 50 až 65 stupňů Shore, tedy menší než pro samotné stříhání.



Obr. 2.3 Ukázka dílce [5]



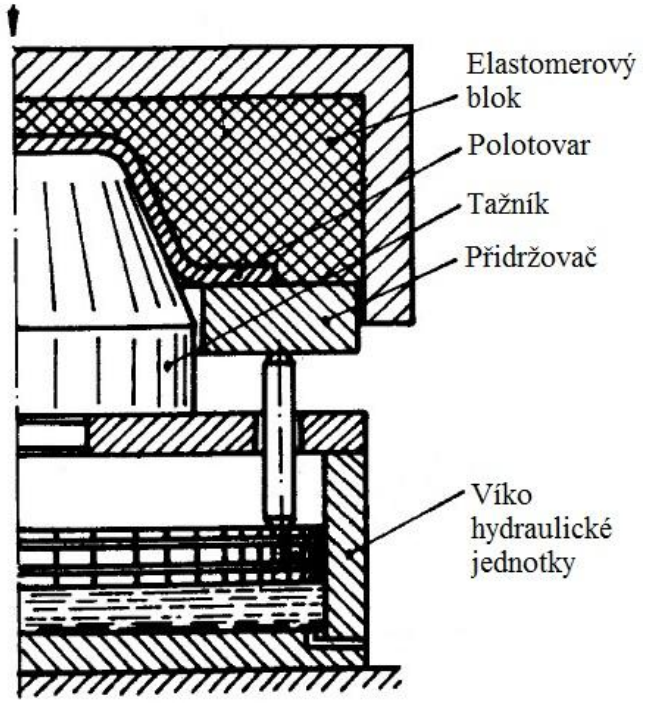
Obr. 2.4 Nástroj pro kombinaci stříhání a tažení [5]

Další výhodou je snadné seřízení nástroje, univerzálnost, jednoduchost. Dále nízká pořizovací cena a možnost získat nezvlněné a nezvrásněné rozměrné výstřižky. Nevýhodou je poměrně velký odpad vzhledem k značnému přesahu plechu při stříhání, omezení tloušťky stříhaného plechu, rychlé opotřebení elastomeru, relativně delší výrobní časy a nutnost použít těžkých hydraulických lisů.

2.2 Marform [1], [2], [6]

Metoda Marform je vhodná pro hluboké tažení ocelových i neželezných plechů a lze ji považovat za jednu z nosných technologií uplatňovanou především v leteckých závodech. Tažení je technologický proces tváření, při kterém se z rovinného přístřihu plechu zhotovují v jedné nebo více operacích výtažky jednoduchého rotačního tvaru, hranaté výtažky a složité nesymetrické tvary součástí. V průmyslové praxi se tímto způsobem vyrábí široký sortiment mělkých a hlubokých nádob, krytů, vík, součástí karoserií atd. Tažení je možné realizovat klasickou (konvenční) metodou nebo nekonvenční metodou, tedy metodou Marform.

Nástroj pro tažení je tažidlo a výrobkem je výtažek. Hlavní části tažidla jsou tažník a tažnice, popř. přidržovač. U klasického konvenčního způsobu je nástroj vyroben z pevného materiálu (oceli). U nekonvenčního způsobu tažení tvoří tažnici elastické prostředí elastomeru, tažník zůstává pevný a oproti metodě Guerin je zde i přidržovač. Tento princip je zobrazen na obr. 2.5. Elastomerový blok je uložen v kontejneru tažnice, který je stejného provedení jako kontejner pro stříhání. Pro tažení se však užívá monoblok o tvrdosti 45–60 stupňů Shore a výška musí být alespoň trojnásobná, než je výška výlisku, aby nedocházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity bloku. Tažník je upevněn na víku hydraulické jednotky, která je uložena na stole hydraulického lisu. Při pohybu beranu s kontejnerem směrem dolů se tažník ponoří do bloku elastomeru a polotovar je "nabalován" na jeho funkční část. Pohyb přidržovače ve směru dolů, který byl v počáteční fázi ve stejné rovině s čelem tažníku, se děje tlakem gumy, je ovšem regulován hydraulickým systémem. Tím je umožněno řídit velikost měrného tlaku gumy podle předem stanoveného programu. Tlak v elastomeru mívá počáteční hodnotu asi 5MPa a ke konci tvářecího procesu může dosáhnout hodnot až 45MPa. Jsou užívány hydraulické jednotky, které umožňují dosažení tlaků v hodnotách 100MPa.



Obr. 2.5 Tažení metodou Marform [2]

Obr. 2.6 Výtažek tvářený metodou Marform v kombinaci s ražením [5]

Výhodou metody Marform je, že měrný tlak je rovnoměrně rozložen po povrchu dílce a působí účinně i na stěny výtažku. Tím je odstraněno jednak nebezpečí vzniku vrásek, a navíc se mezi výtažkem a tažníkem realizují "aktivní" třecí síly přispívající k přenosu tažné síly. Z těchto důvodů lze volit nižší hodnoty součinitele tažení než při užití konvenčních nástrojů. Např. pro dural $m_o = 0{,}43$, pro měkkou ocel $m_o = 0{,}41$. V důsledku rovnoměrně rozloženého tlaku mají výtažky

kvalitní povrch, ztenčení stěn výtažku činí v průměru 5–10% původní tloušťky. Při tváření Mg slitin lze počet operací snížit ohřevem materiálu na 300 až 400°C. Styčná vrstva elastomeru musí být teplovzdorná. Ukázka výtažku tvářeného metodou Marform v kombinaci s ražením je na obr. 2.6. Nevýhodou je značná spotřeba energie pro přetvoření elastomeru, než je dosaženo potřebných měrných tlaků. Užívané hydraulické lisy musí mít až čtyřnásobně větší tonáž než v případě použití konvenční metody. Při vysokých tlacích dochází také ke značnému opotřebení elastomeru.

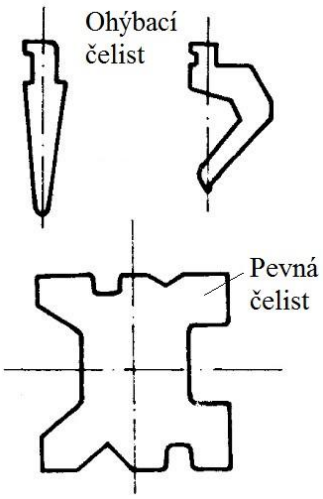
2.3 Ohýbání [1]

Ohýbání je trvalé deformování materiálu, při němž se materiál vzniklým napětím od působící síly buď ohýbá, nebo rovná. Ohýbání je velmi používaná technologická operace ve strojírenské výrobě. Je charakterizováno změnou tvaru plochy ohýbané součástky, tzv. neutrální plochy. Napětí v místě neutrální plochy mění skokem svoji velikost a znaménko (+ ,-). Důsledkem změny a průběhu napětí tahového a tlakového při ohýbání dílce je i deformace v příčném průřezu. Většinou se ohýbá za studena pomocí nástrojů a strojů pro ohýbání. Materiály tvrdé, křehké apod. se ohýbají za tepla.

2.3.1 Výroba profilů ohýbáním [2], [6]

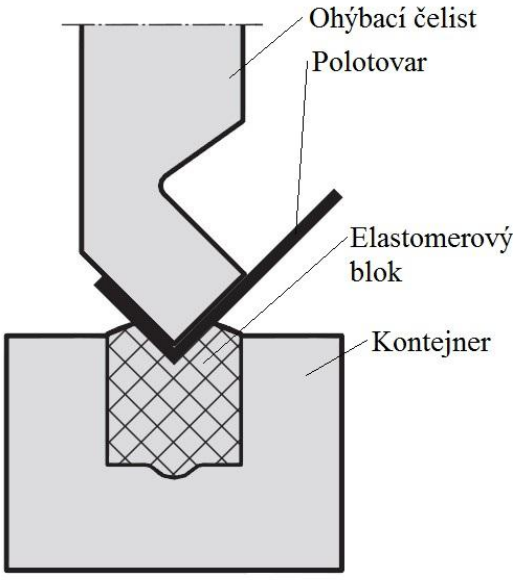
Nástroj pro ohýbání je ohýbadlo. Skládá se z ohybnice a ohybníku. Při ohýbání nepevným nástrojem je ohybnice tvořena elastomerovým blokem a ohybník tvoří pevný materiál, nejčastěji ocel. U klasického (konvenčního) způsobu ohýbání jsou obě části nástroje vyrobeny z pevného materiálu. Zařízení používaná pro ohýbání jsou různá a používají se podle způsobu ohýbání. Zejména s přihlédnutím k velikosti a množství ohýbaných součástí. Patří sem mechanické lisy, ohýbačky, ohraňovací lisy a další.

Profily přímé a tenkostěnné se vyrábí z pásů plechu ohýbáním. Z technologického hlediska jde o ohyb ostrý, tzn. $\frac{R}{s} \leq 3$ až 9, a různé profilové tvary se tvoří kombinací ohybu geometrie V nebo U.



Obr. 2.7 Konvenční ohýbadlo [2]

Konvenční způsob výroby představuje nástroj, který je zobrazen na obr. 2.7. Skládá se z pohyblivé ohýbací čelisti (ohybníku) upevněné k beranu lisu a pevné čelisti (ohybnice), což je v principu prismatická zápustka opatřená několika odlišnými výřezy. Ty umožňují ohýbat profil do různých průřezových tvarů a úhlů postupným ohybem. Používá se ohraňovací lis. Další klasickou metodou je použití ohýbačky. Plech je ohýbán kolem pevné čelisti opatřené výměnnou lištou - pravítkem, a to výkyvným pohybem otočné desky. Nekonveční způsob výroby profilů se používá hlavně v maloseriové výrobě. Pevná ohýbací čelist

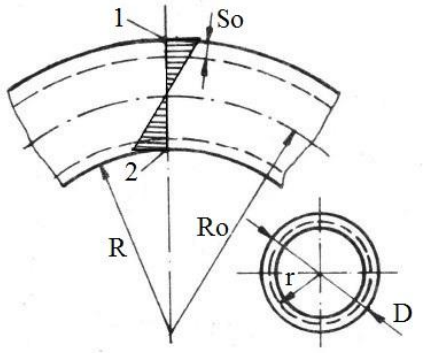


Obr. 2.8 Nepevný nástroj [5]

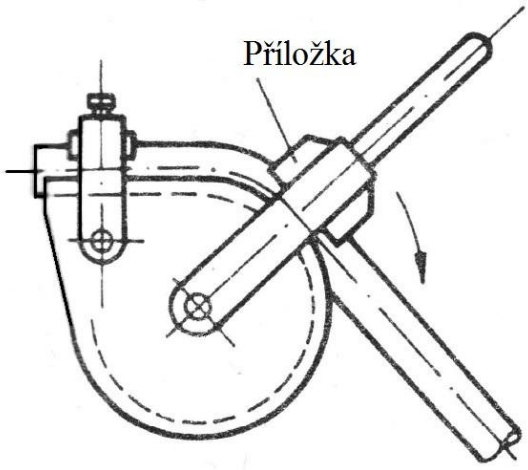
se nahrazuje nepevným nástrojem znázorněným na obr. 2.8. Pohyblivá čelist zaboří polotovar do prostoru nepevného nástroje, který tvoří elastomerový blok o tvrdosti 80 až 95 stupňů Shore a který se tvarově přizpůsobí. V tom spočívá jeho univerzálnost.

2.3.2 Ohýbání trubek [2]

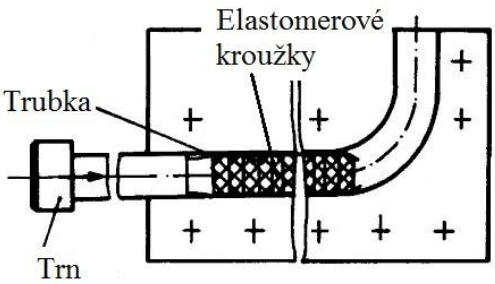
Ohýbání trubek má svoje speciální požadavky v leteckém průmyslu. Jedná se nejen o dílce duté, ale také o dílce tenkostěnné, u kterých bývá relativní tloušťka stěny výchozí trubky, tj. poměr tloušťky stěny s_o a vnějšího průměru D, tedy $\frac{s_o}{D} \leq \frac{1}{10}$. Schéma geometrie ohybu trubky je na obrázku 2.9. V oblasti vnějšího poloměru ohybu dochází k vypínání tenké stěny, u vnitřního poloměru R k jejímu zpěchování. Přetvoření v osovém směru dosahuje maxima v bodech 1 a 2, což jsou kritická místa vzniku defektů. Kromě osového přetvoření probíhá, a to zejména u ostrých ohybů, i obvodové přemístění materiálu, které se projevuje průběžnou změnou tloušťky stěny. Mezi defekty patří ztenčení stěny trubky v oblasti vnějšího poloměru ohybu, zploštění kruhového průřezu a zvlnění stěny v oblasti vnitřního poloměru ohybu. Vznik defektů lze do určité míry potlačit použitím výplní, které stabilizují kruhový průřez a zabraňují nadměrnému zploštění nebo vzniku vln na vnitřním poloměru. Jako výztuže se používají různá "plnidla", a to tuhá, tekutá, mechanická, elastická a sypká. Klasické metody ohýbání trubek jsou např. nabalování a navíjení. Nabalování je ruční metoda. Do kladky se vloží trubka a utáhne se upínka. Pákou s příložkou se trubka ohne na požadovaný úhel. Schéma je na obr. 2.10. Metoda je vhodná pro jednoúčelovou výrobu. Navíjení je strojní metoda. Trubka se vsune přes lištu do kotouče a utáhne se upínka. Motor navíjí trubku na kladku. Výhodou je možnost předehřevu a možnost vsunout do trubky trn, který stabilizuje vnitřní stěnu trubky. Použití je vhodné i u větších sérií. Speciální metoda ohýbání zvláště krátkých trubek tenkostěnných, a to na velmi ostrý poloměr, se provádí protlačováním za studena do dělení zápustky, a to s využitím elastické výplně ve formě kroužků, jak je znázorněno na obr. 2.11. Konec trubky je zčásti uzavřen, zakroužen. Trn působí pouze na elastomerové kroužky, které se rozpěchují. V důsledku třecích sil je trubka kroužky "nesena" ve směru pohybu trnu a její průřez je zatěžován tlakovým napětím. Dochází k napěchovávání stěny. Proto je v ohnisku deformace kompenzováno její



Obr. 2.9 Geometrie ohybu trubky a průběh přetvoření v osovém směru [2]



Obr.2.10 Schéma ohýbání trubky nabalováním [2]



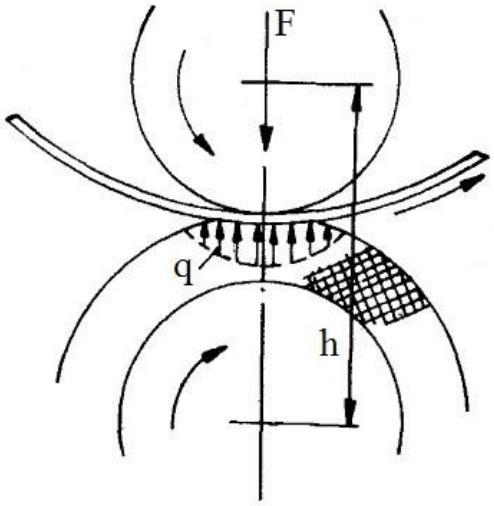
Obr. 2.11 Schéma protlačení trubky pomocí elastomerových kroužků [2]

ztenčování a naopak dochází k zvětšení tloušťky o 4 až 30 procent. Vznik zvlnění na vnitřním poloměru je potlačen vysokým tlakem kroužků.

2.4 Zakružování [1], [2]

Zakružování je technologie, při které se z rovinného plechového přístřihu (polotovaru) získají válcové nebo kuželové součásti, a to postupným a plynulým ohýbáním přístřihu mezi hladkými válci. Podle vzájemné polohy válců se zakružovačky dělí na symetrické a nesymetrické. Podle počtu válců se dělí na dvou-, tří- a čtyř- válcové. Při použití tříválcových zakružovaček zůstává část u okraje na jedné nebo obou stranách nezakroužena. U čtyřválcové zakružovačky jsou konce již zakrouženy. Plechy nad tloušťkou 40mm se zakružují za tepla.

Speciální metoda zakružování je metoda pomocí dvouválcové zakružovačky, zobrazené na obr. 2.12, u které je spodní válec pokryt vrstvou elastomeru tloušťky asi 40mm. Tlakem horního válce je materiál vtlačen do pružného povrchu a ohýbá se působením měrného tlaku ´q´. Poloměr zakroužení závisí na hloubce vtisku, tedy změně osové vzdálenosti obou válců ´h´. Výhodou zařízení je možnost snadného NC řízení, což je důležité při výrobě dílců s proměnnou křivostí v příčném řezu a zakroužení plechu během jednoho průchodu. Nevýhodou těchto zařízení je robustnost (průměr spodního válce bývá 250–300mm), značná tlaková síla, protože je třeba přemáhat i deformační odpor elastomeru, což způsobuje průhyby, které u zakružovaček délky cca 1,5–2m činí 1–1,5mm.



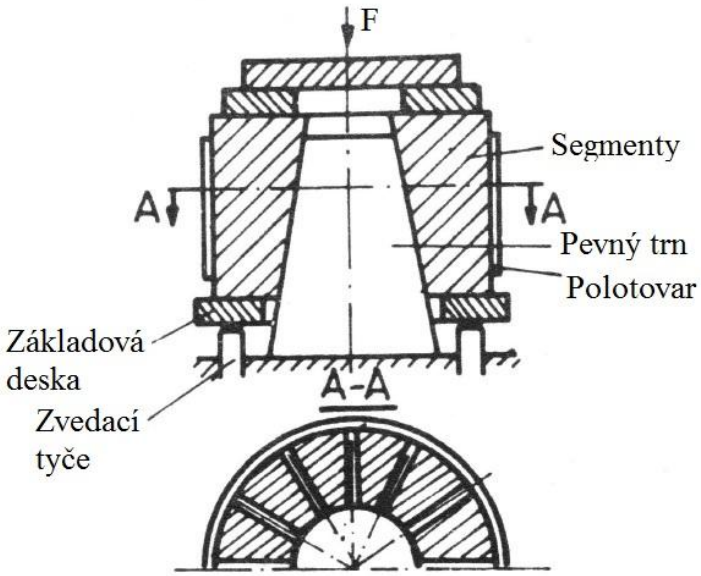
Obr. 2.12 Schéma speciální dvouválcové zakružovačky [2]

2.5 Radiální vypínání [2]

Radiální vypínání se používá pro dílce typu nádob a prstenců, jejichž geometrický tvar v meridiálním řezu má více či méně složitou křivost. Příklad je na obr. 2.13. Výchozí polotovary jsou plechy nebo profily stočené na zakružovačkách v kruhový tvar, výtažky nebo trubky. Cílem je dosáhnout na vnitřním povrchu polotovarů potřebné hodnoty rovnoměrně rozloženého tlaku ´q´. Používá se buď pevný nebo nepevný nástroj. Technologie radiálního vypínání pevným nástrojem se využívá zejména pro tvarování dílců ze žárupevných a vysokopevných slitin, a zajišťuje vysokou přesnost. Spočívá v expanzi segmentů, které představují lisovník. Princip je znázorněn na obr. 2.14. Polotovar je vypínán do žádaného tvaru tlakem segmentů, které se radiálně rozevírají a posunují v důsledku toho, že jsou tlakem síly ´F´ nasouvány na pevný trn. Mezera mezi segmenty, které spočívají na základové desce, se zvětšuje. Vertikální posuv segmentů a desky ovládá síla ´F´ realizovaná např. beranem hydraulického lisu, a dále zvedací tyče spodního hydrosystému lisu, který není na obrázku uveden. Používají se speciální jednoúčelová zařízení a tvářet lze také v přípravcích ovládaných beranem hydraulických lisů. Nevýhodou této

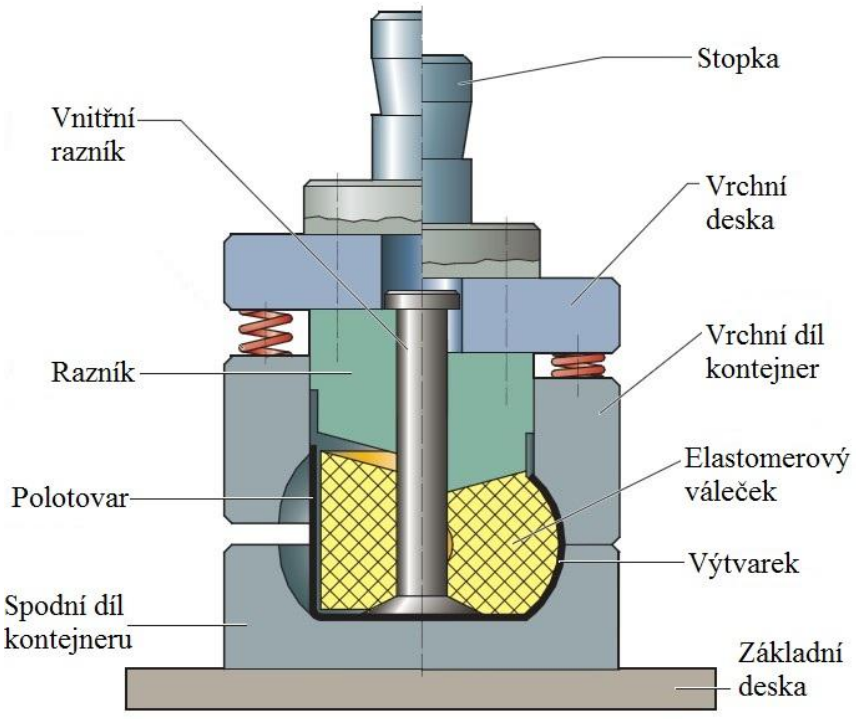
Obr. 2.13 Příklad výtvarku tvářeného radiálním vypínáním [5]

metody je vznik hran na dílcích, a to podél okrajů jednotlivých segmentů. Výskyt hran je tím větší, čím větší je průměr výrobku a mezera mezi segmenty. Další nevýhoda je nerovnoměrné ztenčení materiálu, které je větší v mezeře mezi segmenty než v úsecích, kde polotovar přilehne na jejich plochu, kde se vytahuje méně v důsledku třecích sil. Proto je nutné povrch segmentů dobře mazat.



Obr. 2.14 Radiální vypínání pevným nástrojem [2]

Radiální vypínání nepevným nástrojem je metoda, při které se místo kovových segmentů používá elastomerový blok. Schéma je na obr. 2.15. Nástroj se skládá z kontejneru, do kterého se vloží polotovar a dutý elastomerový váleček. Vypínání se docílí působením tlakové síly ve směru osy válečku. Je dobré dodržovat určitá doporučení, jejichž cílem je usnadnit radiální přemisťování elastomeru, zvýšit přesnost výtvarku a snížit konečnou hodnotu zatěžovací síly. Z toho důvodu se někdy používají místo válečku elastomerové desky opatřené otvorem a případně i tvarované. Plochy nástroje, které jsou ve styku s elastomerem, mají být leštěny. Pro usnadnění radiálního toku elastomeru se také používá zešikmení ploch razníku a vnitřního čepu. Výhodou metody je odstranění hran a ztenčení materiálu, které se děje u pevného nástroje. Nástroj je jednoduchý a levný.



Obr. 2.15 Radiální vypínání nepevným nástrojem [5]

3 Závěr

Nekonvenční metody, jako jsou metody tváření elastomery, kapalinou, plynem apod., se používají v případech, kdy už nejsou klasické (konvenční metody) schopny dosáhnout požadovaných výsledků nebo jsou ekonomicky nevýhodné a složité.

Tváření elastomery nachází uplatnění hlavně v aplikacích plošného tváření, a to zejména v leteckém průmyslu, pro který byly postupně vyvinuty metody Guerin, Marform a další speciální technologie. Většinou jde o maloseriovou nebo kusovou výrobu. Médiem jsou pryž a polyuretan. Jejich hlavní výhodou je univerzálnost a nízké náklady na zhotovení nástrojů, které jsou až desetinásobně nižší oproti konvenčním nástrojům. Nevýhodou je skutečnost, že tváření se děje v elastickém prostředí, a proto potřebné výpočty jsou složitější a také je nutné počítat s větší tvářecí silou.

Tváření elastomery bude ještě řadu let vyhledávanou technologií právě pro speciální aplikace, a to hlavně z důvodu své podstaty - tváření v elastickém prostředí a využití elasticity nástroje, což je klíčová vlastnost, které klasické kovové materiály nemají.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. 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.

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

3. HOLUB, Josef. *Pryž jako konstrukční materiál*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1965. 268 s. Redakce chemické literatury. DT 678.4:621.

4. MACEK, Karel, ZUNA Petr a kolektiv. *Strojírenské materiály*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 204 s. ISBN 80-01-02798-8.

5. *FIBRO* [online]. 2010 [cit. 2010-05-22]. FIBROFLEX® and FIBROELAST®-sheets and profiles. Dostupné z WWW: <www.fibro.de>.

6. DVOŘÁK, Milan, a kolektiv. *Technologie II*. Brno: Nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.

7. *Katedra vozidel a motorů* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Úvod do strojírenství. Dostupné z WWW: <www.ksd.tul.cz>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Vzdálenost přesahu plechu	[mm]
d	Průměr	[mm]
m_o	Součinitel tažení	[-]
q	Měrný tlak	[MPa]
R	Poloměr	[mm]
R_0	Poloměr ohybu	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
s_o	Tloušťka stěny trubky	[mm]
F_C	Celková síla	[N]
F_{tv}	Složka síly čistého tváření materiálu	[N]
$F_{tř}$	Složka síly třecí mezi formou a elastomerovým blokem	[N]
F_{el}	Složka síly na přetvoření elastomeru	[N]
S	Plocha	[mm^2]
τ_s	Pevnost ve střihu	[MPa]