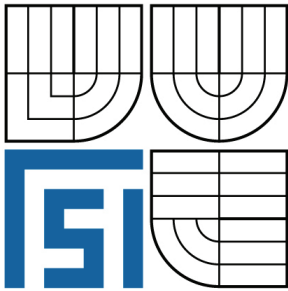


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ NEŽELEZNÝCH MATERIÁLŮ

FORMING TECHNOLOGIES OF NON-FERROUS MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL ZUHLA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAELA MAREČKOVÁ

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Zuhla

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:

Technologie tváření neželezných materiálů

v anglickém jazyce:

Forming technologies of non-ferrous materials

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na technologii plošného tváření neželezných kovů. V práci by měla být uvedena problematika stříhání, ohýbání a tažení, včetně výrobních postupů, odlišnosti od technologií plošného tváření ocelí. Dále zde budou uvedeny příklady součástí a jejich využití v praxi spolu s popisem metody.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu moderních metod pro zhotovení součástí z neželezných kovů. Zhodnocení výhod a nevýhod oproti tváření ocelí.

Seznam odborné literatury:

TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.

FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Marečková

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 29.10.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na plošné tváření zejména neželezných kovů. Jsou zde popsány metody stříhání, tažení a ohýbání. U každé z těchto metod je uvedena stručná charakteristika a její problematika. Dále jsou zde uvedeny jednotlivé výrobní technologie stříhání, tažení a ohýbání spolu s příklady výrobků a jejich využitím. Práce je doplněna přehledem nejdůležitějších neželezných kovů. U těchto kovů jsou popsány jejich vlastnosti, vhodnost pro tváření a případně jejich slitiny.

Klíčová slova

Stříhání, tažení, ohýbání, neželezné kovy.

Abstract

This work is focused on the surface forming, in particular, non-ferrous metals. There are described methods of cutting, drawing and bending. For each of these methods are listed and summarized the issues. There are also given individual production technologies cutting, drawing and bending, along with examples of products and their use. The work is complemented with an overview of the most important non-ferrous metals. For these metals are described their properties, suitability for molding and their alloys.

Keywords

Cutting, drawing, bending, non-ferrous metals.

Bibliografická citace

ZUHLA, M. *Technologie tváření neželezných materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Marečková.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a na základě literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

V Brně dne

podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí práce Ing. Michaele Marečkové za odborné rady a cenné připomínky.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. Úvod	11
2. Stříhání	12
2.1. Problematika stříhání	12
2.1.1. Pásma na střížné ploše	12
2.1.2. Kvalita stříhu a střížná mezera.....	13
2.1.3. Nástřihový plán	13
2.2. Technologie stříhání	14
2.2.1. Prostý stříh	14
2.2.2. Přesné stříhání	15
2.2.3. Stříhání nepevným nástrojem	16
3. Tažení	17
3.1. Problematika tažení	17
3.1.1. Proces tažení.	17
3.1.2. Velikost a tvar přístřihu.	17
3.1.3. Součinitel tažení a počet tahů	17
3.1.4. Napjatosti při tažení	18
3.1.5. Síla a práce	18
3.1.6. Defekty při tažení.....	19
3.1.7. Poloměr hran nástroje	20
3.1.8. Tažná mezera	20
3.2. Technologie tažení.....	20
4. Ohýbání	23
4.1. Problematika ohýbání	23
4.1.1. Napětí a deformace průřezu	23
4.1.2. Výpočet poloměru neutrální plochy.....	24
4.1.3. Stanovení délky polotovaru	24
4.1.4. Odpružení	24
4.1.5. Výpočet maximálního a minimálního poloměru ohybu	25
4.1.6. Vady způsobené ohýbáním	26
4.2. Technologie ohýbání	26
5. Neželezné kovy	29
5.1. Titan	30
5.1.1. Vlastnosti titanu	30
5.1.2. Tváření titanu	30
5.1.3. Slitiny titanu.....	31
5.2. Hořčík	32
5.2.1. Vlastnosti hořčíku	32
5.2.2. Tváření hořčíku	32
5.2.3. Slitiny hořčíku.....	33
5.3. Hliník	34
5.3.1. Vlastnosti hliníku	34

5.3.2. Tváření hliníku	34
5.3.3. Slitiny hliníku	35
5.4. Měď	36
5.4.1. Vlastnosti mědi	36
5.4.2. Tváření mědi	36
5.4.3. Slitiny mědi	36

6. Závěr

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých zkratk a symbolů

1. ÚVOD

Neželezné kovy mají v dnešní době nezastupitelnou roli. První zmínky o neželezných kovech pochází již z doby bronzové. Na našem území se tehdy kromě mědi zpracovávalo už i zlato.

Po příchodu Slovanů prakticky splynula metalurgie neželezných a drahých kovů se šperkařstvím a se zlatnictvím.

V počátcích feudálního období (10.-13.století) se u nás vyrábělo zejména zlato a cín, zatímco stříbro se získávalo spíše obchodem.

Těžba stříbra začala vzrůstat až o pár století později, kdy se stříbro stalo předmětem nového hospodářství.

Ve 14. století začalo rýžování kovů nahrazovat hlubinné dolování. Hutnictví drahých a barevných kovů mělo velký význam. To ovšem vyžadovalo znalost základních vlastností jednotlivých kovů a chemických pochodů při jejich zpracování. Důležitým výrobkem našich hutí byl v této době hlavně cín.

Metody hutnictví neželezných kovů zůstávaly téměř beze změny až do poloviny 19. století. Teprve s rozvojem analytické chemie se začaly provádět úplné analýzy rud, tavných přísad a hutných produktů a podle jejich výsledků se stanovily vyspělejší hutní procesy. Od 60. let 19. století začal postupně vzrůstat zájem o měď, olovo, cín, rtuť a později se zvýšila i spotřeba zinku, wolframu a niklu. Rozsah výroby drahých a barevných kovů byl však omezen kapacitou ložisek českých zemí, která nebyla příliš příznivá. Rovněž stoupla i těžba rud s obsahem zinku, antimonu a uranu. Ložiska českých zemí poskytovala i menší množství dalších barevných kovů jako například kobalt, nikl, bismut, wolfram a mangan.

Ve 20. století se začali k výrobě kovů používat vysoké šachtové pece či konvertory. Novou metodou byla elektrolýza, která byla používána k výrobě zlata, mědi ze stříbrných rud i přímo z měděných rud, cínu, antimonu, niklu i bismutu.

V současné době je základním nosným programem v oboru hutnictví neželezných kovů výroba polotovarů a hotových výrobků z mědi, hliníku, olova, zinku, niklu, drahých kovů a jejich slitin. Základními výrobky jsou válcované polotovary a fólie z hliníku a jeho slitin, ze slitin niklu a mědi, pásy, dráty, olovené a cínové polotovary. Převážná část hutních výrobků jsou polotovary a výrobky určené pro výrobní spotřebu.

Jednou z nejrozšířenějších metod zpracování polotovarů z neželezných kovů je v současné době plošné tváření. Výrobky z neželezných kovů zhotovené tažením, stříháním či ohýbáním nalézají široké uplatnění například i v domácnostech (kuchyňské nádobí), dále se využívají u elektronických spotřebičů nebo částí automobilů či letadel.

2. STŘÍHÁNÍ

Jedná se o nejrozšířenější operaci tváření. Stříhání je oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Používá se na přípravu polotovarů, na vystřihování součástek z plechu a na dokončovací a pomocné operace. Přesnost a kvalita střížné plochy je ovlivněna několika faktory - velikostí střížné mezery, vlastnostmi stříhaného materiálu, způsobem stříhání, kvalitou střížného nástroje apod. Kromě klasického stříhání existují i další operace pojmenované podle způsobu oddělování materiálu. Jedná se o děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, atd. Stříhání se dělí podle teploty na stříhání za studena (měkká oceli, plechy) a za tepla (materiály tvrdší a materiály větší tloušťky).

2.1. Problematika stříhání

2.1.1. Pásma na střížné ploše (obr. 1)

1. pásmo zaoblení

I. fáze - oblast pružných deformací - vzniklá vnikáním střížníku do materiálu, který se ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice

- představuje (5 až 8) % tloušťky stříhaného materiálu

2. pásmo vlastního stříhu

II. fáze - oblast plastických deformací - napětí zde překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti, dochází k plastické deformaci a vzniká hladká a lesklá část střížné plochy

- představuje (10 až 25) % tloušťky stříhaného materiálu, v závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu

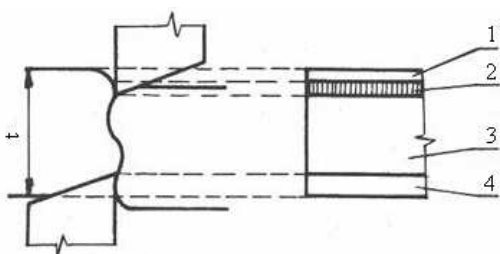
3. pásmo utržení

III. fáze - oblast lomu - dochází ke vzniku a šíření trhlinek a probíhá samovolné oddělování stříhané části pod smykovým napětím

- jde o nejširší oblast na střížné ploše, šířka pásma přibývá s tvrdostí a křehkostí stříhaného materiálu.

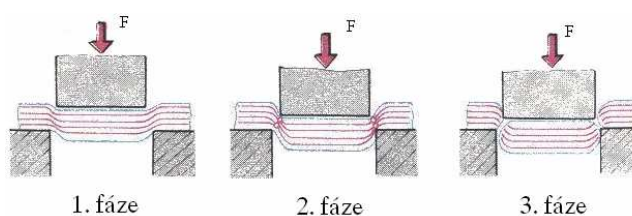
4. pásmo otláčení od spodního nože

- v závislosti na vlastnostech stříhaného materiálu a střížné vůli může dojít v pásmu otláčení k výskytu ostřiny v důsledku vytažení materiálu tahovými složkami napětí



Obr.1 Deformační pásma při stříhání [4]

- 1 – pásmo zaoblení,
- 2 – pásmo vlastního stříhu,
- 3 – pásmo utržení,
- 4 – pásmo otláčení



Obr.2 Fáze stříhání [5]

2.1.2. Kvalita stříhu a střížná mezera

Kvalita střížné plochy - závisí především na vlastnostech stříhaného materiálu (tvrdošti), velikosti střížné mezery (z), způsobu stříhání a kvalitě střížného nástroje.

Hodnota střížné mezery (z) - závisí zejména na druhu materiálu a jeho tloušťce. Obvykle se stanovuje v procentech tloušťky stříhaného materiálu:

$$z = (0,05 \div 0,1) \cdot t \text{ [mm]} \quad (1)$$

$$\text{pro plechy tloušťky } t \leq 3 \text{ mm} \quad z = c \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \text{ [mm]} \quad (2)$$

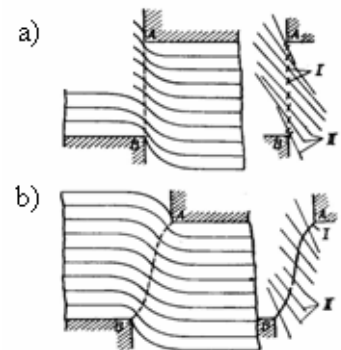
$$\text{pro plechy tloušťky } t > 3 \text{ mm} \quad z = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \text{ [mm]} \quad (3)$$

kde t ... tloušťka materiálu [mm]
 c ... součinitel závislý na druhu stříhání [-]
 τ_s ... pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

Pro uzavřené stříhy v nástrojích (dle ČSN 226015) je hodnota střížné mezery pro tloušťku materiálu $t = (0,1 \div 12)$ mm:

- u měkkých ocelí, mosazi a hliníku ... $z = (2,5 \div 7,5) \% \cdot t$
- pro ocel s R_m kolem 480 MPa ... $z = (3 \div 8) \% \cdot t$
- pro ocel s $R_m = 600$ MPa a více ... $z = (3,5 \div 10) \% \cdot t$

Hodnota střížné vůle ($2 \cdot z$) - má vliv na jakost střížné plochy i na velikost střížné síly. Je to nejdůležitější parametr nutný pro dosažení správných výsledků. Větší vůle způsobuje namáhání stříhaného materiálu ohybem a zhoršuje tak jeho jakost. Pokud není vůle nastavená správně, plochy budou špatně ostříženy a při následném ohýbání nebo svařování může plech prasknout. Jednou z metod přesného stříhání je stříhání bez vůle (obr. 3 a).



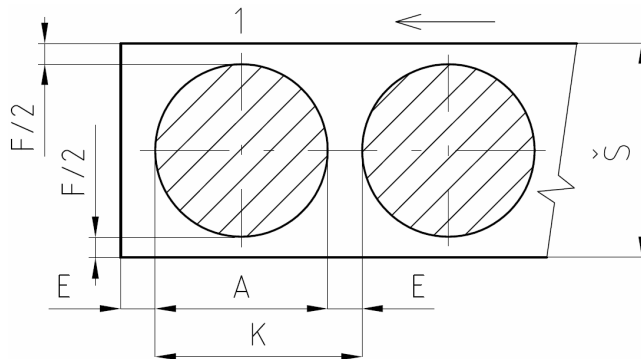
Obr. 3 Ukázka stříhání a) bez vůle, b) s vůlí [5]

2.1.3. Nástřihový plán

Aby byl odpad při stříhání co nejmenší, je velmi důležité správně rozmístit výstřížky na pásu plechu. Toto rozmístění se nazývá nástřihový plán (obr. 4). Volba nástřihového plánu závisí na minimálních vzdálenostech mezi výrobky a od okraje pásu, tvaru a konstrukci výrobku a na dodržování zásad konstrukce. Nástřihový plán může být kusový nebo skupinový. Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu:

$$\eta = \frac{S_0}{S_p} \text{ [-]} \quad (4)$$

kde S_0 ... celková plocha výstřížků [mm²]
 S_p ... plocha pásu plechu [mm²]



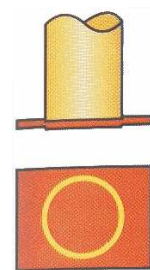
Obr. 4 Příklad jednoduchého nástřihového plánu: E – velikost můstku [mm], K – velikost kroku [mm], F/2 – velikost okraje [mm], A – průměr výstřižku [mm], Š – šířka pásu plechu [mm]

2.2. Technologie stříhání

2.2.1. Prostý stříh

Stříhání rovnoběžnými noži

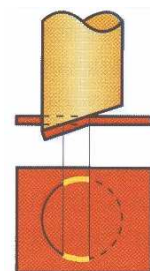
K ustřížení dochází v jednom okamžiku po celé délce stříhu (obr. 5). Důležité je stanovení optimální vůle mezi střižníkem a střižnicí. Náhon horního nože může být hydraulický nebo mechanický. Stroje bývají většinou vybaveny přidržovači plechu.



Obr. 5 Příklad stříhání rovnoběžným nožem [5]

Stříhání šikmým horním nožem

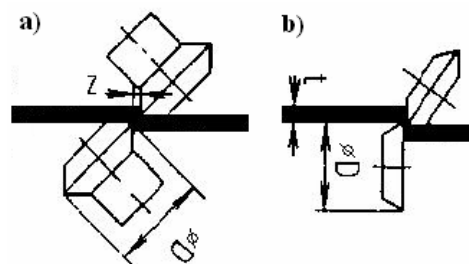
Při stříhání šikmým nožem vniká břit do materiálu postupně (obr. 6). Potřebná střižná síla je tudíž o poznání menší než při stříhání rovnoběžnými noži. Nevýhodou je ohyb odstříhované části plechu, která se musí následně rovnat.



Obr. 6 Příklad stříhání skloněným nožem [5]

Stříhání kruhovými noži

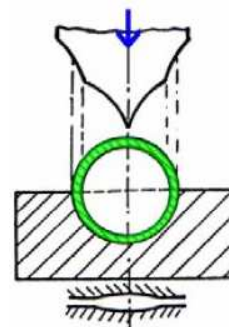
Stříhání probíhá postupně se otáčejícími noži plynule a bez rázů, ale prodlužuje se čas stříhu. Stříhání se dělí na okružní (a), k přímočarému stříhání a křivkové (b), kterým lze vystříhat i různé tvarové součásti (obr. 7).



Obr. 7 Uspořádání nožů kotoučových nůžek [6]

Stříhání noži na profily a tyče, trubky

Pro stříhání profilů tj. kruhových tyčí, úhelníků, profilů U, I, obdélníkového a čtvercového průřezu materiálu, dutých profilů apod. se používá speciálně tvarovaných skloněných nožů (obr. 8). Stříhaná tloušťka by měla být v každém okamžiku téměř stejná. Pohyblivá část nástroje pro stříhání trubek má tvar oblouků zakončených špičkou, která trubku propíchne a boky poté trubku stříhají.



Obr. 8 Stříhání trubek tvarovým nožem [5]

Vystřihování

Vystřihováním se vyrábí součástky k přímému použití nebo polotovary k dalšímu zpracování.

Děrování

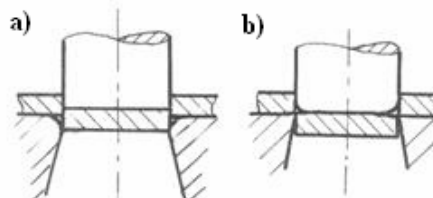
Děrováním se zhotovují otvory kruhové a zejména profilové. Těmito otvory se opatřují výlisky, výstřižky i např. svařence. Střížná plocha obsahuje mikrotrhliny, popř. otřepy.

2.2.2. Přesné stříhání

Používá se k výrobě velmi přesných výstřižků nebo otvorů, které se dále neopracovávají. Kvalita povrchu je srovnatelná s obráběnými plochami ($R_a = 0,8 \div 1,6 \mu\text{m}$).

Stříhání bez vůle

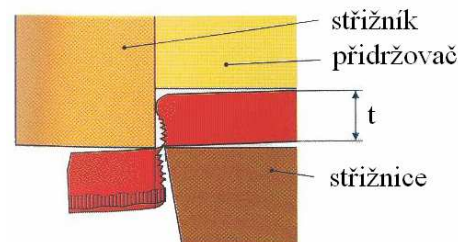
Při tomto způsobu stříhání je jedna funkční část nástroje (střížník nebo střížnice) zhotovena bez břitu, se zaoblením střížné strany a druhá část je nabroušena (obr.9). Vliv zaoblení na jakost střížné plochy je tím větší, čím je menší střížná mezera (z). Doporučené zaoblení je $R = (0,15 \div 0,20) \cdot t$, kde t je tloušťka stříhaného materiálu.



Obr. 9 Stříhání bez vůle: a) uspořádání pro kvalitní povrch díry, b) uspořádání pro kvalitní povrch výstřižku [5]

Stříhání s přidržovačem

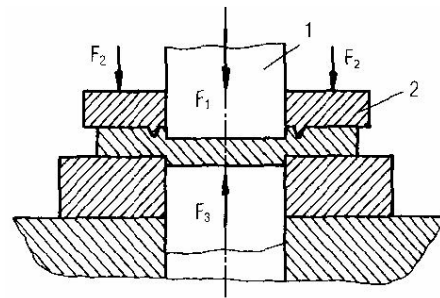
Použitím přidržovače se zamezí ohýbání okrajů výstřižku a docílí se lepšího povrchu střížných ploch (obr. 10). K tahové složce napjatosti přibývá složka tlaková zlepšující stav napjatosti v místě stříhu.



Obr. 10 Stříhání s přidržovačem [5]

Stříhání s nátláčnou hranou

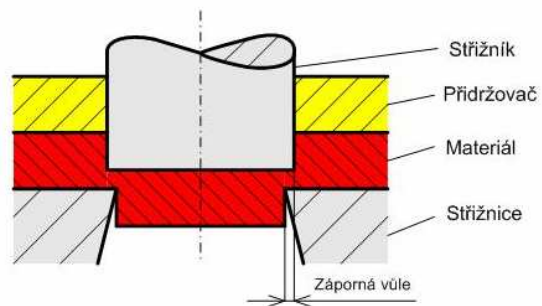
Tímto způsobem lze dosáhnout hladkého přesného stříhu s kvalitou povrchu $R_a = (0,4 \div 0,8) \mu\text{m}$. Nátláčná hrana způsobí ve střížné ploše změnu napjatosti na trojosou a vyvolá navíc složku tlakovou usnadňující přiblížení k čistému smyku. Protitlak je zajištěn odpruženým spodním lisovníkem (obr. 11). Je možno stříhat i poměrně tlusté materiály, pokud je však tloušťka plechu 5 mm a více, zhotovuje se nátláčná hrana i u střížnice. Tato metoda vyžaduje použití speciálních vícečinných lisů.



Obr. 11 Stříhání s nátláčnou hranou: 1 - střížník, 2 - nátláčná hrana [6]

Stříhání se zápornou vůlí

Střížník nemůže proniknout do otvoru střížnice a zůstává v dolní úrovni ve vzdálenosti $(0,2 \div 0,5) \text{ mm}$ nad rovinou střížnice (obr. 12). Průměr střížníku musí být o $(0,1 \div 0,2) \text{ mm}$ větší, než je průměr střížnice.

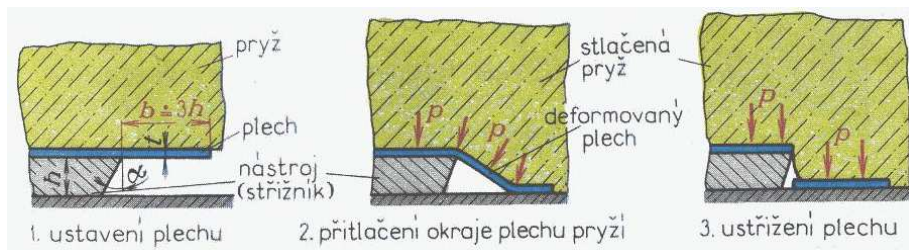


Obr. 12 Stříhání se zápornou vůlí [5]

2.2.3. Stříhání nepevným nástrojem

Stříhání pomocí pryže

Používá se pro stříhání výstřížků z tenkého plechu. Nástrojem je ocelová deska o tloušťce 6 až 10 mm, která má obrys totožný s obrysem konečného výrobku. Protinástrojem je pryž uzavřená v rámu nebo je volně položená na polotovaru (obr. 13). Tímto způsobem lze stříhat více součástí najednou a je možná i kombinace s tažením. Dají se provádět operace ostříhování, děrování otvorů a sloučené operace ostříhování a děrování. Pryžová deska je složena z více kusů a má tloušťku zhruba 150 mm. Ocelová střížná deska musí být hladká, aby nezanechala stopy na výstřížku. Nevýhodami této metody jsou zejména nízká životnost pryže a velký odpad.



Obr. 13 Stříhání pomocí pryže [5]

3. TAŽENÍ

Tažení je takový technologický způsob tváření, při kterém se vyrábí z rovného plechu při jedné nebo více operacích duté těleso - polouzavřená nádoba, která může být rotačního, hranatého nebo nesymetrického tvaru. Tímto způsobem se vyrábí množství mělkých i hlubokých nádob, vík, krytů, součástí karoserií apod. Jako tvářecí stroje se používají nejčastěji mechanické lisy - dvojčinné i vícečinné, lisy postupové, hydraulické a speciální zařízení. Nástrojem je tažidlo, výrobkem je výtažek.

3.1. Problematika tažení

3.1.1. Proces tažení

Jedná se o posunování plechu přes tažnou hranu, při zatlačování tažníku do tažnice. Důležitá je podmínka pevnosti (válcové části nádoby), ze které se kontroluje síla potřebná k tažení. Při tažení válcových nádob vzniká z původního přístříhu o průměru D_0 válec s průměrem d a výškou h .

3.1.2. Velikost a tvar přístříhu

Vychází se ze zákona rovnosti objemu kovu před a po tváření $V_1 = V_2$ [mm³]. Za předpokladu, že se tloušťka materiálu při tváření nemění, platí také rovnost ploch $S_1 = S_2$ [mm²] a plocha výrobku bez odstřížení okraje se rovná ploše polotovaru. Vypočtená plocha se zvětšuje o (5 ÷ 10) % tzv. přídavek na odstřížení nerovných okrajů.

Rotační tělesa

K určení přístříhu se používá tabulek nebo grafických metod. Vypočte se plocha tělesa (součásti) a z té následně průměr přístříhu D_0 .

- *jednoduchá rotační tělesa* - celková plocha se zjistí rozdělením výtažku na jednotlivé úseky a výpočtem jejich ploch
- *složitější rotační tělesa* - pokud je nelze rozložit na tvarově jednoduchá tělesa, používá se k výpočtu plochy Guldinova věta

Nerotační tvary

K určení tvaru přístříhu se používají výpočtové i grafické metody, případně jejich kombinace.

3.1.3. Součinitel tažení a počet tahů

Většinou se provádí první tah mělký s velkým průměrem. Následují další tahy vždy o menším průměru se současným růstem výšky výtažku. Z daného přístříhu plechu lze v jedné tažné operaci zhotovit pouze výtažek o určitých minimálních rozměrech. Pokud má mít finální výrobek rozměry menší, je třeba víceoperačního tažení. Potřebný počet tažných operací se stanoví pomocí součinitele tažení m_i . Ten určí, na kolik tahů lze výtažek zhotovit, aniž by byla vyčerpána plasticita materiálu.

Součinitel tažení představuje nejmenší možný poměr průměru výtažku d_i k průměru rondelu D_0 v první tažné operaci nebo k průměru výtažku d_{i-1} v předcházející operaci tažení.

Součinitel tažení m_i je dán vztahem:

$$\text{pro 1.tah} \quad m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad [-] \quad (5)$$

$$\text{pro i-tý tah} \quad m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad [-] \quad (6)$$

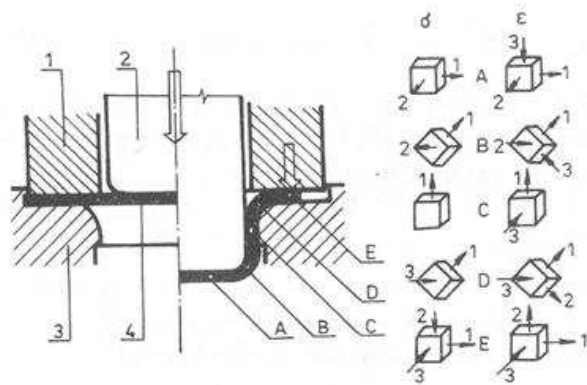
3.1.4. Napjatosti při tažení

Napjatost výtažku se v jednotlivých místech liší a dochází zde také k odlišnosti mechanických vlastností plechu, jak je uvedeno na obr.14. Nejkritičtějším místem je místo ohybu u dna výtažku a u příruby.

Dovolené napětí δ_{dov} v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti R_m . Největší tažná síla musí být menší, než síla, která by způsobila utržení dna výtažku od bočních stěn. Tažná síla vyvolává v polotovaru také tahové napětí v plášti výtažku.

Napjatosti ve výtažku:

- A - dno se vytahuje nepatrně a stejnoměrně do dvou směrů
- B - u dna vzniká dvoj nebo trojosá napjatost
- C - válcová část je natahována v jednom směru
- D - materiál přecházející přes tažnou hranu je namáhán radiálním ohybem a tangenciálním tlakem
- E - materiál pod přidržovačem je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby



Obr. 14 Napjatosti ve výtažku: 1) přidržovač, 2) tažník, 3) tažnice, 4) materiál [4]

Výsledné tahové napětí se skládá z:

- radiálního tahového napětí, které vzniká v oblasti příruby výtažku
- napětí, vyvolané třením od tlaku přidržovače na zesilující se okraj příruby
- napětí vyvolané třením na zaoblené hraně tažnice
- napětí vyvolané ohybem přístřihu na zaoblené hraně tažnice

3.1.5. Síla a práce

Tažná síla pro výtažek rotačního tvaru se pro nástroj s přidržovačem zjednodušeně vypočte podle vztahu

$$F_c = L \cdot t \cdot R_m + S_p \cdot p \quad [N] \quad (7)$$

- kde
- L ... délka obvodu výrobku [mm]
 - S_p ... plocha přidržovače [mm²]
 - p ... specifický tlak přidržovače (od 0,8 do 3 MPa) [MPa]
 - R_m ... mez pevnosti materiálu

Přidržovač je jednou z hlavních částí tažného stroje. Jeho funkcí je zamezit vzniku vln na výtažku a zároveň ustředuje výtažek proti tažnici u druhého a dalších tahů. Síla přidržovače musí být zvolena tak, aby plnil svou funkci, ale aby nedošlo k utržení dna výtažku.

Pro jednoduchou válcovou nádobu platí:

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) [-] \quad (8)$$

Pokud:

$$k_p \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad \text{nutno táhnout s přidržovačem} \quad (9)$$

$$k_p < \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad \text{lze táhnout bez přidržovače} \quad (10)$$

kde k_p ... součinitel určující nutnost použití přidržovače [-]
 D_0 ... průměr přístříhu [mm]
 d_i ... vnitřní průměr výtažku [mm]
 Z ... materiálová konstanta [-]

Tab.1 Doporučené hodnoty měrných tlaků přidržovače [2]

Materiál	MPa
ocelový hlubokotažný plech	2-3
nerozový plech	2-5
měděný plech	1,2-1,8
mosazný plech	1,5-2
hliníkový plech	0,8-1,2

Práce při tažení:

$$A = C \cdot F_c \cdot b \text{ [J]} \quad (11)$$

kde b ... výška výtažku [mm]
 C ... koeficient zaplnění plochy [-]
 F_c ... tažná síla [N]

3.1.6. Defekty při tažení

Při tažení se přesouvá značný objem materiálu, který se vytlačuje, mění tloušťku a zvětšuje výšku nádoby. V místě příruby proto dochází ke vzniku vln. Tomuto problému lze zabránit použitím přidržovače. Je však nutné znát velikost měrného tlaku p přidržovače, který závisí na tloušťce plechu, jakosti plechu, součiniteli tažení a poměru výchozí tloušťky plechu k průměru nádoby. Celková síla přidržovače je součinem měrného tlaku a činné plochy přidržovače. Dále mohou vznikat přeložky, nerovný okraj výtažku nebo cípatost.

3.1.7. Poloměr hran nástroje

Poloměr hran, zejména tažnice, značně ovlivňuje proces tažení. Pro 1. či 2. tah je optimální hodnota $r_t = (6 \div 10) \cdot t$. Vyšší hodnoty způsobují zvlnění a přidržovač ztrácí svou funkci. Malé hodnoty r_t zvyšují tažnou sílu a vzniká nebezpečí utržení dna. Poloměr tažníku r_k pro 1. operace bývá shodný s r_t .

3.1.8. Tažná mezera

Velikost tažné mezery z_m se volí větší, než je tloušťka plechu, aby se přebytečný materiál mohl při vytahování přemístit a nepěchoval se. Jen při kalibraci je tažná mezera stejná jako tloušťka taženého materiálu. Pro stanovení velikosti tažné mezery se používá následujících vztahů:

$$z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t_0 \quad \text{pro první tah}$$

$$z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t_0 \quad \text{pro poslední tah}$$

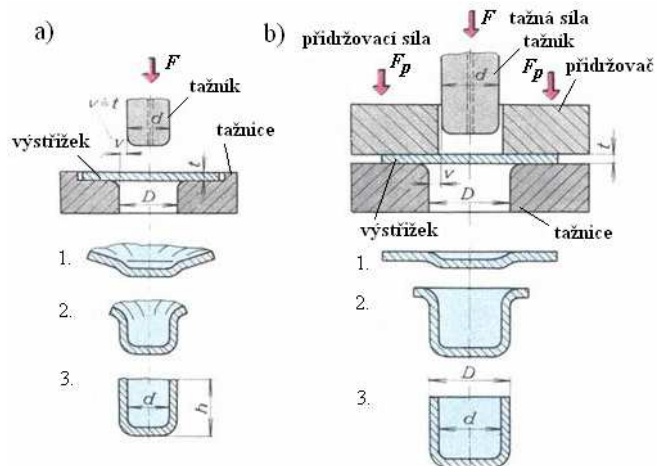
3.2. Technologie tažení

Prosté tažení

Při prostém tažení nedochází k podstatné změně tloušťky materiálu. Dělí se na:

a) tažení bez přidržovače (obr. 15 a)

Používá se u tvarově jednoduchých a nízkých výtažků tažených z poměrně tlustého materiálu. Redukce musí být malá, aby nedošlo ke zvlnění okrajů taženého přístříhu. Tažidla bez přidržovače jsou z hlediska konstrukce jednoduchá, levná a provozně spolehlivá.



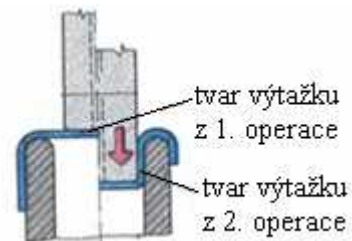
b) tažení s přidržovačem (obr. 15 b)

Tažený materiál je v průběhu tažné operace přidržován přidržovačem. Tím se zabrání zvlnění okraje a lze dosáhnout větších redukcí. Vhodné jsou jednočinné a dvojitě činné lisys.

Obr. 15 Prosté tažení [5]

Zpětné tažení

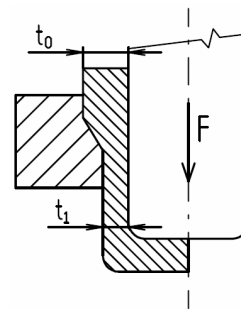
V prvním tahu se vytáhne válcový výtažek prostým tažením a ve druhé operaci se provede tažení v obráceném směru (obr. 16). Při tomto způsobu lze dosáhnout až o 25 % větší redukce, než u prostého tažení. Většinou nedochází ke zvlnění okrajů výtažku a materiál je při tomto způsobu tažení méně namáhán. Používá se především pro výrobu kulovitých nebo elipsovitých tvarů.



Obr. 16 Zpětné tažení [5]

Tažení se ztenčením stěny

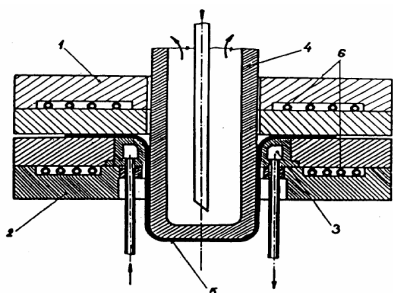
Používá se většinou až v dalších tazích. Při tažení se ztenčením stěny se mění nejen původní rozměry, ale i tloušťka stěny výtazku (obr. 17). Tloušťka stěny t_0 je redukována v mezeře mezi tažníkem a tažnicí na tloušťku stěny t_1 , tím se získá delší výtazek. Tloušťka dna zůstává nezměněna.



Obr. 17 Tažení se ztenčením stěny

Tažení s ohřevem příruby

Celá deformace se v podstatě odehrává v přírubě taženého polotovaru. Ohřevem materiálu mezi vyhřívanými plochami tažnice a přidržovače se sníží jeho přetvárný odpor. Ve stěně kalíšku musí mít materiál naopak vysokou únosnost a proto tam musí být chlazen (obr. 18). Používá se pro hořčíkové slitiny, které mají špatnou tvařitelnost za studena (ale i pro jiné slitiny, např. Ti). Ohřev se provádí na teplotu (300 až 350)°C.



- 1) přidržovač,
- 2) tažnice,
- 3) chladicí kanál,
- 4) tažník,
- 5) výtazek,
- 6) ohřívací články

Obr. 18 Tažení s ohřevem příruby [7]

Protahování

Jedná se o protažení materiálu otvorem (obvykle kruhovým), přičemž dojde k vytvoření válcové stěny. Používá se při vytváření lemů po okraji dutých součástí nebo kolem otvorů. Při protahování se ostré hrany zaoblují a dochází rovněž k jejich zpevnování.

Zužování a rozšiřování

Používá se většinou ke zúžení či rozšíření konců válcových a trubkovitých polotovarů. Tvářecí síla působí tlakem na volné čelo polotovaru a zasouvá jej do dutiny matrice, která má potřebný tvar.

Vypínání – (přetahování)

Je to tváření rovinného polotovaru v prostorovou plochu napínáním přes šablonu (tažník). Přístřih plechu je pevně upnut na protilehlých koncích. Vypínáním se plech značně oslabuje a zpevňuje. Nevýhodou této technologie je nízká produktivita způsobená dlouhými výrobními časy a velká spotřeba materiálu díky odstřihování části materiálu upnuté v kleštinách. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady nástrojů a lze vyrábět výtazky s dvojitou křivostí.

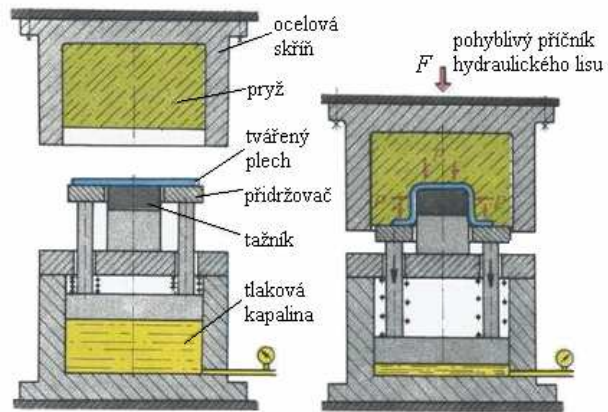
Tváření pryží

a) metoda Guerin

Technologie vhodná pro jednoduché tažení. Princip je založen na elasticitě pryže, která nezanechává na povrchu žádné stopy.

b) metoda Marform (obr. 19)

Je vhodná i pro hluboké tažení ocelových i nezelezných plechů. Vrstva pryže musí být nejméně trojnásobná, než je výška výlisku, jinak by mohlo docházet ke ztrátě elasticity pryže a rychlému opotřebení.



Obr. 19 Tváření pryží - metoda Marform [5]

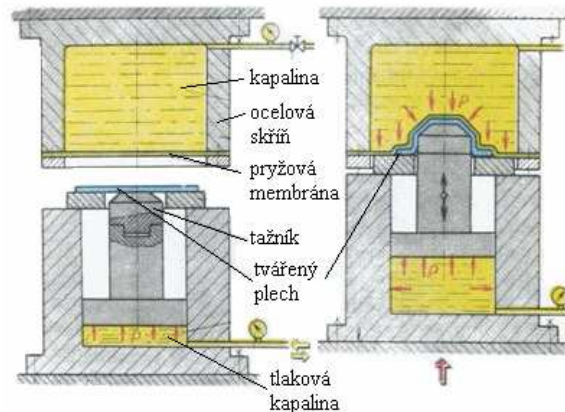
Tváření kapalinou

a) metoda Wheelon

Pracuje na stejném principu, jako metoda Guerin. Místo pryže se však používá kapalina umístěná v pryžovém vaku. Tato technologie je vhodná pro mělké tažení.

b) metoda Hydroform (obr. 20)

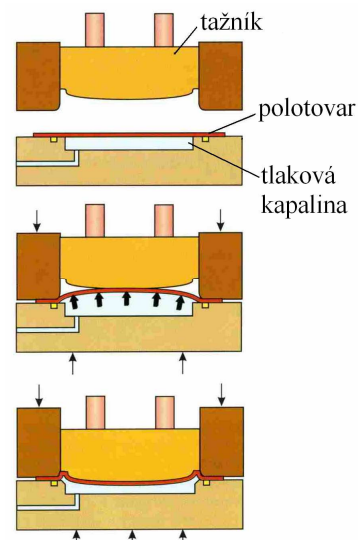
Používá se pro hluboké tažení. Při tomto způsobu tváření se používá nádoba s kapalinou uzavřená deskou z gumy. Nejprve se přitlačí přidržovač, aby nedocházelo ke nezvlnění okrajů a potom se tažník vtláčuje do nádrže. Přebytečná voda se vypouští ventilem a hydrostatický tlak lze regulovat.



Obr. 20 Tváření kapalinou-metoda Hydroform [5]

Hydromechanické tažení (HMT)

Rovinný přístřih plechu je sevřený mezi přidržovačem a tažnicí, může se však pohybovat. Tažník tlačí plech do tažné komory vyplněné kapalinou (obr. 21). Tlak se řídí speciálním ventilem. Důležité je kvalitní těsnění, aby se zamezilo úniku kapaliny. Tření a ztenčení tvářeného materiálu je nepatrné. Pomocí HMT lze zhotovit hlubší duté nádoby z plechu, rotačního i nerotačního tvaru, většinou s přírubou. Používá se speciálních nástrojů a lisů. Výhodami HMT je zejména snížení počtu tažných a mezižhacích operací, dosažení vysoké přesnosti výtažků a kvality jejich povrchů. Vhodné materiály pro tváření pomocí HMT jsou uhlíkové oceli tř.11, nerezavějící oceli tř.17, měď a slitiny mědi, hliník a jeho slitiny.



Obr. 21 Hydromechanické tažení [5]

4. OHÝBÁNÍ

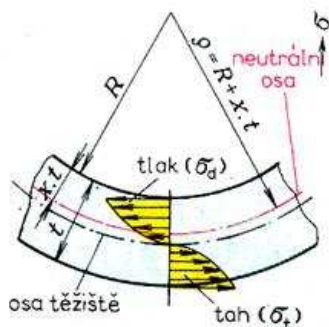
Ohýbání je trvalé deformování materiálu vlivem působení ohybového momentu. Na velikost deformace má vliv kvalita materiálu a jeho tloušťka v místě ohybu, poloměr ohybu, velikost ohybových momentů a orientace ohybu vzhledem ke směru válcování. Charakteristickým znakem ohýbání je změna tvaru plochy ohýbané součástky tzv. neutrální plochy. Tvary těles vzniklé ohýbáním jsou rozvinutelné. Jedná se o často používanou technologickou operaci, při které se požadovaný tvar získá z plechů, drátů nebo tyčí i několika ohyby. Nástrojem je ohýbadlo. Většinou se ohýbá za studena, pouze materiály tvrdé a křehké za tepla. Ohýbání spočívá v překročení meze kluzu a dosažení oblasti plastické deformace (stejně jako u ostatních způsobů tváření), která je doprovázena deformací elastickou.

4.1. Problematika ohýbání

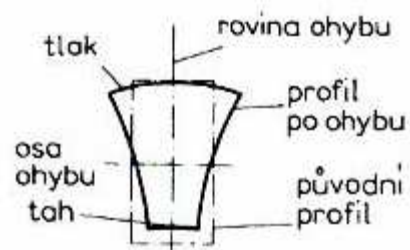
4.1.1. Napětí a deformace průřezu

Při ohybu dochází k deformaci průřezu, přičemž vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány a zkracovány (obr. 22) a naopak roztahovány v příčném směru (obr. 23). Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se roztahují a prodlužují v podélném a stlačují se v příčném směru. V přechodu těchto dvou pásem jsou vlákna bez deformace a napětí. Toto místo se nazývá neutrální osa. Neutrální osa při ohýbání nemění svoji délku, pouze se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Posun neutrální plochy napětí se značí x .

Rozlišuje se ohýbání úzkých polotovarů ($b < 3 \cdot t$) a širokých polotovarů ($b > 3 \cdot t$), kde b je šířka polotovaru a t tloušťka polotovaru v mm . Při ohýbání úzkých polotovarů se příčný průřez deformuje více, než při ohýbání polotovarů širokých, kde sice dochází k zeslabení tloušťky materiálu v místě ohybu, ale příčný průřez se téměř nedeformuje.



Obr. 22 Rozložení a velikost napětí v materiálu [5]



Obr. 23 Deformace průřezu během ohýbání [5]

Při ohybu jsou napětí v krajních vláknech materiálu opačného smyslu - tah, tlak (obr. 24). Vzroste-li napětí nad hodnotu meze kluzu, vyvolá to růst plastické deformace.



Obr. 24 Napětí v krajních vláknech [5]

4.1.2. Výpočet poloměru neutrální plochy (ρ)

a) Při ohýbání s velkými poloměry zaoblení, kde $R_0 \geq 12 \cdot t$ se předpokládá, že neutrální plocha je uprostřed tloušťky t . Její polohu lze spočítat podle vztahu:

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

kde R_0 ... vnitřní poloměr ohybu [mm]
 t ... tloušťka materiálu [mm]

b) Při ohýbání s malými poloměry zaoblení, kde $R_0 \leq 6$ se poloměr určí s uvažováním deformace průřezu podle vztahu:

$$\rho = \left(R_0 + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

kde z_z ... součinitel ztenčení [-]
 z_r ... součinitel rozšíření [-]

c) Při ohýbání širokých pásů plechu se poloměr určí pomocí součinitele x podle vztahu:

$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

kde x ... součinitel posunutí neutrální osy [-]

4.1.3. Stanovení délky polotovaru

Celková délka rozvinutého polotovaru je rovna součtu úseků přímých a ohnutých. Velikost poloměru neutrální plochy slouží zejména pro určení délky l_0 ohnuté části, kterou lze spočítat dle vztahu:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

kde α ... úhel ohybu [°]

Celková délka výlisku se pak spočítá dle vztahu:

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_{0j} \quad [\text{mm}] \quad (16)$$

kde l_i ... délka přímého úseku [mm]
 l_{0j} ... délka ohnutého úseku [mm]

4.1.4. Odpružení

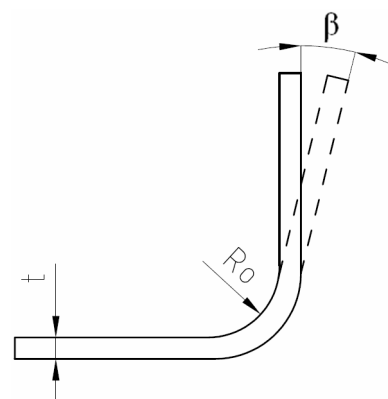
Odpružení při ohybu není zanedbatelné. Vlivem pružných napětí se materiál po ukončení ohybu snaží vrátit o určitou velikost, úhlovou odchylku β (obr. 25), do původního tvaru. Výsledný tvar výrobku tudíž nesouhlasí s tvarem ohýbadla. Odpružení se pohybuje v rozmezí (3 až 15)^o v závislosti na vlastnostech materiálu, způsobu ohýbání a poloměru ohybu.

Odpružení lze však omezit několika způsoby:

- pokud materiál ohneme více a to o hodnotu úhlu odpružení β - úhel odpružení se určí z tabulek nebo vypočte pomocí empirických vzorců
- použitím kalibrace, tj. zvýšením lisovací síly ke konci lisovacího cyklu (2 ÷ 3 násobek lisovací síly), což způsobí místní plastickou deformaci v místě ohybu, čímž se hodnota odpružení snižuje, popřípadě vymizí, nevýhodou je ztenčení plechu v místě ohybu
- použitím prolisů

Tab. 2 Hodnoty úhlů odpružení dle druhu použitého materiálu [5]

Materiál	R/t	
	0,8 až 2	> 2
ocel δ_{Pt} 320 MPa	1°	3°
320 až 400 MPa	3°	5°
400 MPa	5°	7°
mosaz měkká	1°	3°
mosaz tvrdá	3°	5°
hliník	1°	3°



Obr. 25 Odpružení při ohýbání

Velikost odpružení lze stanovit pomocí diagramů nebo výpočtem dle vzorce:

$$\text{ohyb do tvaru V:} \quad \operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \text{ [}^\circ\text{]} \quad (17)$$

$$\text{ohyb do tvaru U:} \quad \operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \text{ [}^\circ\text{]} \quad (18)$$

kde: β ... úhel odpružení [°]
 l ... vzdálenost ohýbacích částí [mm]
 l_m ... rameno ohybu [mm]
 k ... součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_0/t (dle ČSN z diagramu) [mm]

4.1.5. Výpočet maximálního a minimálního poloměru ohybu

Minimální poloměr

Při překročení minimálního poloměru by došlo na vnější tahové straně ohybu k porušení materiálu. Minimální poloměr závisí na plastičnosti materiálu, úhlu ohybu, tloušťce a šířce ohýbaného materiálu, způsobu ohýbání a kvalitě povrchu. U méně plastických materiálů dochází ke vzniku trhlin v důsledku deformačního zpevnění, proto je nutné použít vhodné tepelné zpracování (žihání). V praxi se hodnoty R_{\min} používají jen zřídka, většinou se volí hodnoty zhruba o 20 % vyšší.

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = e \cdot t \text{ [mm]} \quad (19)$$

kde ε_c ... mezní prodloužení \rightarrow při jeho překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu (napětí přesáhne mez pevnosti v tahu R_m) [mm]

e ... koeficient závislý na druhu materiálu [-]:
 měkká ocel $e = 0,4 \div 0,8$
 měkká mosaz $e = 0,25$
 hliník $e = 0,35$
 dural $e = 3 \div 6$
 měkká měď $e = 0,25$

Maximální poloměr

Maximální poloměr ohybu je takový úhel, při kterém se velikost ohýbací síly pohybuje těsně nad mezí kluzu R_e . Po odlehčení se materiál nevrátí se do původního stavu a zůstane deformován.

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

kde E ... modul pružnosti v tahu [MPa]
 R_e ... mez kluzu materiálu [MPa]

4.1.6. Vady způsobené ohýbáním

Praskání materiálu (vznik trhlin na vnější straně)

Nastane pokud dojde k překročení kritické hodnoty poloměru ohybu R/t . Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu nebo minimálně pod úhlem 30° . U dvojitého ohybu mají být vlákna materiálu k ose ohybu v úhlu kolem 45° . Poloměr ohybu musí být alespoň takový, aby se v krajních vláknech překročila hodnota meze kluzu a došlo tak k plastické deformaci a naopak nesmí být ani příliš malý, aby deformace krajních vláken nepřekročila hodnotu tažnosti.

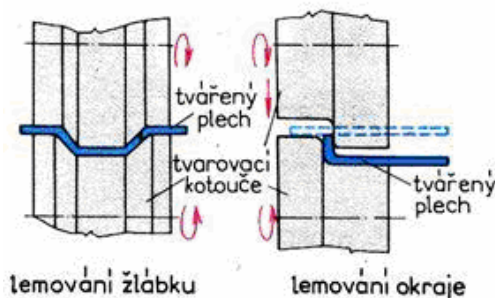
Tvoření vln

Vzniká hlavně u tenkých stěn, čemuž se dá zabránit bočním přitlačováním materiálu k nástroji nebo použitím dodatečné tahové síly při ohýbání.

4.2. Technologie ohýbání

Lemování

Jde o ohýbání rovinné nebo prostorové plochy. Využívá se především k vyztužení okrajů, odstranění ostrých hran, získání lepšího vzhledu, výrobě žlábků nebo k přípravě polotovaru na dodatečné vytvoření spoje. Lze vytvořit přímý, vydutý nebo vypuklý lem. Provádí se na lemoadle (obr. 26).



Obr. 26 Lemování [5]

Prosté ohýbání

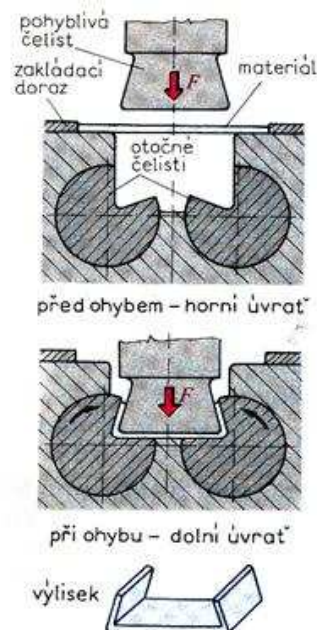
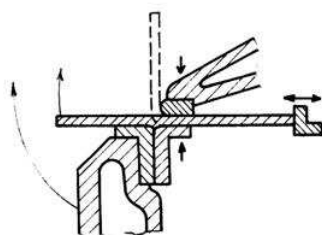
Používá se především u dílců s menšími rozměry. Vznikají ostré nebo zaoblené hrany a výsledný tvar je většinou kombinací ohybů do tvaru U a V. Ohýbadla mohou být jednoduchá, sdružená nebo postupová.

a) Ohýbání ruční (obr. 27)

Používá se pro ty operace, které není možné nebo vhodné provádět na lisu. Provádí se na speciálních ohýbacích strojích ovládaných ručně.

b) Ohýbání na lisech (obr. 28)

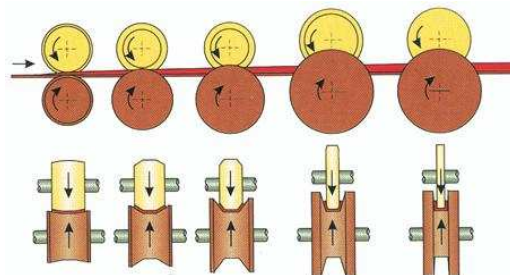
K ohýbání dochází v ohýbacím nástroji. Používá se mechanických nebo hydraulických lisů popřípadě speciálních strojů.



Obr. 27 Ruční ohýbání [5] Obr. 28 Ohýbání na lisech [5]

Ohýbání na válcích

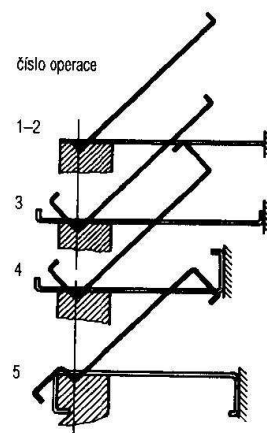
Nástrojem jsou samotné válce, které konají otáčivý pohyb (obr. 29).



Obr. 29 Profilování pásu plechu ohýbáním na válcích [5]

Ohraňování

Jedná se o tváření pásů plechů do tvaru různých profilů, většinou tenkostěnných o malých poloměrech zaoblení. Většinou se uplatňuje postupný ohyb (obr. 30). Provádí se na mechanických ohraňovacích lisech



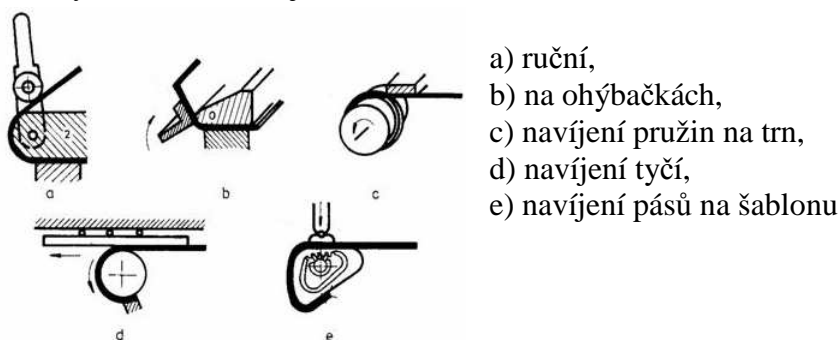
Obr. 30 Ohraňování [6]

Rovnění

Používá se pro odstranění nežádoucí deformace plechů. Rovnění plechů se provádí mezi rovnacími válci na rovnačkách. Rovnačky mají dvě řady válců, jejichž vzdálenost se postupně zvětšuje a po průchodu rovnačkou je plech po odpružení rovný. Pro rovnění menších polotovarů se používají rovnačky s rovnými nebo rýhovanými čelistmi.

Navíjení

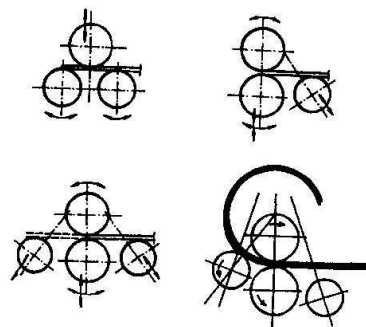
Tvářený materiál se navíjí postupně na válec a tím dostává požadovaný tvar, který je shodný s tvarem nástroje (obr. 31).



Obr. 31 Navíjení [5]

Zakružování

Provádí se pomocí válců na různých tří a víceválcových zakružovacích strojích (obr. 32). Slouží k výrobě válcových nebo kuželových plášťů nádob a trubek. Je možno použít i silné plechy a to až 30 mm, které se zakružují za tepla. Tenké plechy se mohou zakružovat i na strojích s ocelovým a pryžovým válcem, přičemž se poloměr zakružování mění podle stlačení pryže.



Obr. 32 Příklady způsobů zakružování [6]

Drápkování

Je to pevné spojení přehnutých okrajů plechu. Ke spojení dojde vzájemným zaklesnutím a společným ohnutím (obr. 33).



Obr. 33 Drápkování [6]

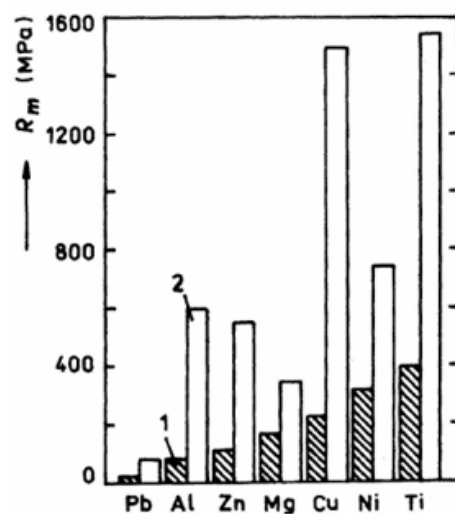
Mezi další používané technologie patří profilování a stáčení (spojité ohýbání plechů, trubek, profilů na profilovacích strojích), zkrucování (natáčení materiálu vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel), osazování (ohnutí plechu promáčknutím na okraji nebo uvnitř rovinné plochy) a obrubování (vyztužování okrajů rovinné nebo prostorové plochy ke zvýšení jakosti okraje).

5. NEŽELEZNÉ KOVY

Neželezné kovy jsou poměrně drahé vzhledem k nedostatku rud nebo obtížné výrobě. Používají se v případech, kdy lze plně využít jejich specifických vlastností. Do této skupiny zařazujeme všechny kovy mimo železa a jejich slitiny, u nichž není železo nejdůležitějším prvkem. Slitiny neželezných kovů poskytují materiály velmi dobrých vlastností, dobré slévateľnosti a obvykle jsou zcela odolné proti korozi. Nejznámější slitinou je dural, je to slitina hliníku, hořčíku a mědi s malým přídatkem některých dalších kovů. Slitiny mědi jsou především bronz a mosaz.. Vyrábějí se cínové, hliníkové, křemíkové, manganové a jiné bronzy. Mosaz je slitina mědi a zinku v různých poměrech.

Mechanické vlastnosti neželezných kovů a slitin lze ovlivnit v zásadě třemi způsoby nebo jejich kombinacemi:

- **legováním přísadovými prvky**
Substituční nebo intersticiální zpevnění.
- **mechanickým tvářením za studena**
Dislokační zpevnění – tímto způsobem lze většinu kovů zpevnit až dvojnásobně. Se změnou průřezu plynule stoupá mez kluzu a zároveň mez pevnosti. Tažnost klesá nejprudčeji v první části zpevnění. Zpevnění závisí na struktuře a teplotě tvářením (rekrytalizace).
- **tepelným zpracováním**
Zpevnění transformační nebo precipitační - využití strukturních změn nebo rozpustnosti kovů - vytvoření nerovnovážných stavů struktury



Obr. 34 Pevnost některých kovů (1) a jejich slitin (2) [11]

Rozdělení neželezných kovů :

1. kovy s nízkou teplotou tání : Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Bi
2. lehké kovy : Al, Mg, Be, Ti
3. kovy se střední teplotou tání : Cu, Ni, Mn, Co
4. ušlechtilé kovy : Au, Ag, Pt, Rh, Pd, Ir, Os
5. kovy s vysokou teplotou tání : Cr, W, V, Mo, Ta, Nb

5.1. Titan

5.1.1. Vlastnosti titanu

Titan je nemagnetický polymorfní kov. Hlavními výhodami titanu jsou nízká měrná hmotnost a zároveň vysoká pevnost (měrná pevnost je stejná nebo i vyšší než u ocelí), dobrá vrubová houževnatost i za nízkých teplot a dobrá odolnost proti korozi. Naopak nevýhodou je obtížné zpracování titanu, způsobené zejména jeho vysokou reaktivitou za teplot nad 700° C. Titan má i horší obrobiteľnosť, slévateľnosť a svařitelnosť. Titan má oproti oceli menšiu hustotu, menší modul pružnosti, vyšší bod tání, menší kujnosť, vyšší náchylnosť k odíraniu a vyšší citlivosť na znečistenie pri svařovaní.

5.1.2. Tváření titanu

Titan a jeho slitiny jsou snadno tvařitelné i za pokojové teploty pomocí technologií a zařízení vhodných pro ocel. Tvárnost při pokojové teplotě je však obecně nižší, než u běžných konstrukčních materiálů.

Povrch titanu je pro tváření obvykle přijatelný takový, jakého bylo dosaženo při válcování. Případné povrchové vady vzniklé manipulací lze odstranit například pískováním. Při tažení je nutno výchozí polotovary očistit od otřepů a jeho okraje pečlivě vyhladit. Povrch nástroje by měl být vyleštěn a zcela bez nečistot. Vzhledem k velkému odpružení titanu je potřeba v některých případech upravit tvaru tažníku. Tažení by mělo probíhat velmi pomalu. Počáteční redukce pro první tahy lze zvolit kolem 40 % a pro další tahy musí být redukce nižší zhruba kolem 20 %.

Protože při tváření titanu a jeho slitin za studena dochází k výraznému zpevňování, je nutno po každé tažné operaci provést žíhání při teplotě 700° C. Žíháním se vrátí kovu jeho původní schopnost k tváření. Doba žíhání se odvíjí z tloušťky materiálu.

Tvárnost titanu se zvyšuje s teplotou. Tudíž operace, které nelze provést za pokojové teploty, lze uskutečnit za teploty zvýšené. Ohřev při tváření za tepla může být zajištěn pomocí pece, sálavého topení nebo působením přímého plamene (mírně oxidační plamen). Je důležité vyhnout se místům ochlazením.

Při tažení titanu je třeba brát v úvahu jeho zvýšenou tendenci k zadírání. Titan má větší náchylnost k zadírání než nerezové oceli. Částečky titanu ulpívají na povrchu tažnice a přidržovače. Tím se postupně zhoršuje povrch pracovních ploch tažidla a po několika tazích se výtažky zadírají a kov se trhá. Je tudíž nutno věnovat pozornost mazání při jakékoliv tvářecí operaci, při které je titan v kontaktu s kovovou maticí či jinou částí tvářecího zařízení. Snížení schopnosti zadírání lze docílit pomocí vysoce vyleštěných činných částí, případně zhotovením tažidel ze slinutých karbidů nebo z epoxidových pryskyřic. Snížit zadírání lze také fosfátováním výtažků před nanášením maziva či elektrolytickým nanášením některých kovů na povrch titanu např. mědi.

Modul pružnosti je u titanu zhruba poloviční než u oceli, což způsobuje značné odpružení po tváření 15° až 25°. Čím vyšší je pevnost slitiny, tím vyšší lze očekávat hodnotu odpružení. Titanové trubky jsou ohýbány na běžných ohýbacích zařízeních. Ohýbání s jádrem se doporučuje zejména při krátkých ohybech. Ohýbání by mělo probíhat pomale a matrice a jádro formy by měli být hladké a dobře mazané, aby se minimalizovala tendence k odírání. Ohyby provedené bez trnu vyžadují větší poloměr ohybu. Pokud jsou požadovány rádiusy menší, je nutno ohýbat při teplotách (204 ÷ 316)° C. Zřetel musí být brán také na ztenčení stěn při ohybech silnějších trubek.

5.1.3. Slitiny titanu používané pro tváření

TITAN Grade 1

Komerčně čistý titan s vysokou tažností a tvařitelností za studena. Vyznačuje se vysokou houževnatostí, velmi dobrou svařitelností a vynikající korozní odolností. Materiál lze také odlévat. Používá se zejména v chemickém průmyslu, ve zdravotnictví a všude tam, kde je požadována vysoká tažnost (např. výroba nádobí, architektura apod.).

TITAN Grade 2

Komerčně čistý titan s vyváženou kombinací vysoké tažnosti za studena spolu s dostatečnou pevností, velmi dobrou svařitelností a vynikající korozní odolností. Nejpoužívanější druh titanu s nejširším sortimentem hutních výrobků. Široké použití v chemickém průmyslu, zdravotnictví, strojírenství, šperkařství apod.

TITAN Grade 3

Méně obvyklý druh titanu. Jeho střední tažnost je kompenzována zvýšenou pevností a velmi dobrou svařitelností. Dentální implantáty, letecký průmysl.

TITAN Grade 4

Méně obvyklý druh titanu s nejnižší tažností, ale nejvyšší pevností a velmi dobrou svařitelností. Dentální implantáty, letecký průmysl.

TITAN Grade 5

Nejpoužívanější titanová slitina s obsahem 6 % Al a 4 % V (Ti-6Al-4V) s velmi vysokou pevností, ale nižší tažností. Slitinu je možno tepelně zpracovat a lze ji použít do teploty 400° C. Letecký a automobilový průmysl, medicína, průmysl volného času.

TITAN Grade 5 ELI

Slitina má podobné vlastnosti jako TITAN grade 5 (mírně nižší pevnost avšak vyšší tažnost). Vyznačuje se mimořádnou bio-kompatibilitou a je dobře přijímána lidským tělem, to ji předurčuje pro použití ve zdravotnictví a šperkařství.

TITAN Grade 7

Méně obvyklý druh titanové slitiny odvozen od TITANU Grade 2 s přidavkem 0,2 % Pd. Paládium zvyšuje korozní odolnost, přičemž mechanické hodnoty zůstávají stejné jako u TITANU Grade 2. Velmi dobrá svařitelnost. Chemický a farmaceutický průmysl.

TITAN Grade 9

Slitina podobná TITANU Grade 5 s menším obsahem příměsí. Potrubní hydraulické systémy v letectví, voštinové konstrukce, rámy horských kol apod.



Obr. 35 Příklad součásti z titanu pro letecký průmysl, zhotovené tažením [12]

5.2. Hořčík

5.2.1. Vlastnosti hořčíku

Hořčík má nejmenší hustotu ze všech konstrukčních kovů ($1\,774\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a je tudíž nejlehčí, dokonce o zhruba 30 % lehčí, než hliníkové slitiny. Hustota slitin se pohybuje v závislosti na stupni legování od (1350 do 1830) $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Hořčík je velmi reaktivní a to zejména při vyšších teplotách, jeho výroba a zpracování jsou tedy obtížné. Dále se vyznačuje špatnou tvárností za studena (za tepla lepší rozvoj skluzových systémů v šesterečné mřížce), dobrou slévateľností (hlavně u slitin s Al), výhodným poměrem mezi hustotou a pevností, nízkým modulem pružnosti, vyšší délkovou roztažností a nižší korozní odolností. Hlavním konstrukčním nedostatkem je nižší vrubová houževnatost.

5.2.2. Tváření hořčíku

Hořčík má hexagonální těsně uspořádanou mřížku, která obecně vede k horší tvařitelnosti. Hořčíkové slitiny se proto netváří tak snadno jako například slitiny hliníku.

Nejčastějším způsobem zpracování hořčíkových slitin je tažení. Tažením za studena lze díky jejich špatné tvařitelnosti dosáhnout pouze mělkých tvarů, proto jsou rozvíjeny různé varianty tváření za tepla. Optimální teplota pro tažení hořčíku je přibližně 300°C . Při této teplotě je dosažena jeho nejnižší pevnost a nejmenší odpor vůči tažení. Při tažení hořčíku za zvýšené teploty lze dosáhnout v jediném tahu až trojnásobku hloubky, dosažitelné za normální teploty u oceli či hliníku. Optimální tloušťka hořčíkových plechů pro tažení je 0,5 až 15 mm. Hořčíkové slitiny lze běžně táhnout do hloubky 1,5 až 2 násobku průměru výtažku, to odpovídá redukci zhruba 64 %. Při tažení hořčíku musí být tažné rychlosti velmi nízké. Pro hluboké tažení jsou optimální tažné rychlosti kolem $250\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Tažná vůle by neměla být menší než tloušťka materiálu.

Jedním z problémů při tažení hořčíku je růst zrna materiálu. Ten se může projevit při opakovaném zahřívání součástí, které nelze vytáhnout jediným tahem. Růstu zrna lze předejít udržováním konstantní teploty kolem 290°C .

Ohřev plechu se většinou provádí přímo v nástroji v oblasti příruby na teplotu v rozmezí ($250 \div 400$) $^\circ\text{C}$ (u plechů do tloušťky 0,5 mm) a to buď přímým ohřevem nebo speciálně konstruovanými ohřevanými nástroji, které jsou s tvářeným materiálem v přímém kontaktu. V případě silnějších plechů se používá ohřev v peci nebo indukční ohřev a v nástroji se teplota pouze udržuje. Tváření za tepla má však svá úskalí. Hlavními problémy jsou ohřev materiálu a udržení vhodného rozmezí tvářecích teplot po celou dobu tváření (Mg slitiny mají dobrou tepelnou vodivost, proto je nutné zkrátit vedlejší časy tvářecích operací a tím udržet materiál na tvářecí teplotě), vlastní konstrukce tvářecího nástroje a dodržení technologických podmínek tažení (mazání, rychlost tažníku, tažná vůle atd.). V oblasti dna výtažku v průběhu tažení dochází k intenzivnímu ochlazování, čímž se zajistí jeho nejvyšší pevnost a zabrání se tak nadměrnému zeslabování popřípadě trhání. Jako ochlazovací médium se nejčastěji používá voda. Využívání numerické simulace pro návrh a ověření konstrukce nástroje či technologických podmínek je pro úspěšné řešení nezbytnou podmínkou.

Tažnice, tažník i přidržovače se většinou vyrábí z nekalitelné žáruvzdorné oceli, v případě menšího počtu výtažků z běžné nekalitelné oceli. Tažníky lze také zhotovit z litiny, nebo z hliníkových či hořčíkových slitin. Součinitel roztažnosti hořčíkových slitin je větší, než u hliníku a oceli. Proto v případě, že součásti tažidla nejsou zhotoveny také z hořčíku, je třeba všechny rozměry tažidla ovlivňující velikost výtažku násobit součinitelem C. Tento součinitel se určí z teploty, při které má tažidlo pracovat. Kromě pevného tažníku je možné tvářet i tlakem plynu, který je nutno přehřívát. Poloměr tažníku by měl mít velikost minimálně

desetinásobku tloušťky taženého materiálu a poloměr tažnice pěti až desetinásobku taženého materiálu.

5.2.3. Slitiny hořčíku používané pro tváření

Slitiny Mg-Al-Zn

Obsah hliníku se pohybuje od 3 do 9 hm. %, zinku do 1,5 hm. %. Slitiny se používají pro výrobu tvarově složitých výkovek a vylisků. Použitelnost Mg-Al-Zn slitin za vyšších teplot je omezená. Nejpoužívanější slitiny této skupiny pro tváření jsou: AZ61, AZ31 a AZ91. Tažnost se pohybuje kolem 6 %. Vyšší obsah přísad např. u slitiny AZ80A zhoršuje její svařitelnost a zmenšuje její odolnost proti korozi. Používají se dva typy slitin se složením:

a) Al = 6,7÷8,0 %, Zn = 3,3÷4,0 %

b) Al = 10÷12 %, Zn = 6÷8 % Zn.

Pevnostní vlastnosti se pohybují kolem 360 MPa.

Slitiny Mg-Mn

Mangan příznivě působí na zjemnění zrna. Mechanické vlastnosti těchto slitin jsou ve srovnání s ostatními slitinami velmi nízké, lze je částečně zvýšit tvářením za studena, příp. precipitačním vytvrzováním. Pevnost se pohybuje v rozmezí (230 ÷ 245) MPa, při tažnosti 7 až 17 %. Tato slitina má z hořčíkových slitin nejlepší odolnost proti korozi.

Slitiny Mg-Zn-Zr

Zinek se zirkoniem (Zn = 4,8 až 6,2 %; Zr = 0,6 až 0,9 %) výrazně zvyšují mechanické vlastnosti hořčíku. Po tváření a tepelném zpracování se dosahuje pevnosti (305 ÷ 345) MPa. Tažnost se pohybuje v závislosti na stavu slitiny mezi 11 až 16 %.

Slitiny Mg-Li

Slitiny hořčíku a lithia dosahují velmi nízkých měrných hmotností (1350 ÷ 1500) kg · m⁻³. Krystalická stavba mění ve značném rozsahu mechanické vlastnosti jednotlivých slitin i technologické vlastnosti, zejména pak svařitelnost. S růstem obsahu Li se jejich pevnost snižuje. Modul pružnosti a mez kluzu v tlaku je vyšší než u většiny ostatních hořčíkových slitin.

Slitiny Mg-Th

Jsou to slitiny odolné proti křehkému lomu a přednostně se používají pro aplikace za zvýšených teplot. Slitiny se vyznačují velmi dobrou svařitelností a nalézají uplatnění v letecké technice a kosmonautice.



Obr. 36 Příklad předního a zadního dílu krytu z hořčíku, zhotoveného tažením [13]

5.3. Hliník

5.3.1. Vlastnosti hliníku

Hliník je stříbrobílý, tvárný a lehký kov. Je to nejrozšířenější kov v zemské kůře a spotřebou druhý nejvýznamnější po Fe. Je tomu tak zejména díky jeho velmi výhodné kombinaci fyzikálních, mechanických, chemických a technologických vlastností, které umožňují použití hliníkových materiálů ve většině oblastí lidské činnosti. Za normálních podmínek je Al velmi stálý, při zahřátí se však stává silně reaktivním a slučuje se zejména s O₂. Hliník se dále vyznačuje dobrou slévateľností, nízkou teplotou tavení, dobrou chemickou stabilitou (odolností vůči korozi), nízkou náchylností k tvorbě trhlin za tepla a dobrou vodivostí elektrického proudu a tepla. Pro výrobu hliníku je nejvýznamnější ruda je bauxit.

5.3.2. Tváření hliníku

Pro tváření se využívá široké palety Al slitin. Jejich tvařitelnost se mění s jakostí a s tepelným zpracováním, všeobecně je však nižší než u nízkouhlíkových ocelí.

Při tažení se nejčastěji zpracovává válcovaný hliníkový plech. Pokud není tváření při tažení příliš velké, lze použít nevyžíhaný plech. Pokud je tomu naopak, je nutno výchozí stav plechu vyžít. Při tváření za studena se značně zvýší pevnost, tvrdost a mez kluzu materiálu. Pokud dosáhne hodnota meze kluzu až hodnoty pevnosti v tahu, materiál již není možno dále tvářet. Toto zpevnění se odstraňuje vyžítáním, při kterém se rekrystalizací kovu odstraní vliv tváření za studena. Žítání probíhá při teplotách (350 ÷ 400)° C. Kov rekrystalizuje tím rychleji, čím více byl tvářením za studena zpevněn.

Při tažení hliníku lze používat stejných lisů, jako pro tažení ostatních kovů. Pro obtížné tahy se používají lisy dvoučinné. Volba lisu závisí zejména na hloubce výtažku, druhu a tvrdosti slitiny, tloušťce materiálu a velikosti součásti.

Tážná rychlost by měla být opět velmi nízká a neměla by překročit hodnotu (25 ÷ 30) m · min⁻¹. Při vyšších rychlostech může docházet k trhání hliníku. Při stanovení správné rychlosti je nutno přihlédnout k hloubce výtažku a jeho tvaru.

Poloměr tažnice pro hliníkové slitiny má hodnotu čtyřnásobku až patnáctinásobku tloušťky taženého materiálu. Větší tažný poloměr se volí při obtížném tažení, při tažení nerotačních výtažků a také pokud je pevnost taženého materiálu ve stříhu nižší, než pevnost v tahu. Zaoblení tažníku by mělo být rovno minimálně čtyřnásobku tloušťky taženého materiálu. Tažná vůle mezi tažníkem a tažnicí by měla být o něco větší, než tloušťka výchozího materiálu, protože tloušťka kovu se tažením zvětšuje.

Tažidla pro tažení hliníku mohou být zhotovena z šedé litiny, z legované litiny, z legovaných i nelegovaných ocelí, popřípadě s použitím vložek ze slinutého karbidu. Dá se použít i bukové dřevo nebo plasty. Materiál nástroje významně ovlivňuje výslednou jakost povrchu a tvar výtažku. Šedá litina se používá většinou u velkých výtažků zejména pro svou nízkou cenu, avšak povrch výtažku má nižší kvalitu. K docílení vyšší jakosti se používá tedy litina legovaná nebo ocel. Kalená a broušená ocel je vhodná pro tažení tvrdších slitin hliníku a vyhovuje vysokým nárokům na jakost povrchu.

Velikost přídržného tlaku musí být pouze tak velká, aby se zabránilo tvoření vlněk. Zvlnění nastává hlavně při tažení tenkých plechů a může mít za následek vznik trhlinek v kovu při další operaci. Pro tažení hliníku jsou vhodnější dvojčinné lisy, u kterých lze přídržný tlak velice přesně seřídit. Příliš velký tlak přídržovače způsobuje vytrhávání dna výtažku.

Jako maziva při tažení hliníkových výtažků se používají minerální oleje, mýdlové roztoky a emulze, popřípadě živočišné či rostlinné tuky pro obtížnější tahy.

5.3.3. Slitiny hliníku používané pro tváření

Většina slitin je poměrně málo legována. Obsah legujících prvků zpravidla nepřekročí 10 %. Pro pevnostně nenáročné aplikace, jako je například výroba nádobí se používá technicky čistý hliník nebo slitiny s asi 1 % Mn. Vyšší pevnost mají slitiny s (2 ÷ 5) % Mg, které se vyznačují dobrou tvařitelností. Slitiny ve stavu po válcování za studena mají vyšší pevnost, ale jsou méně tvárné. Vysokých pevností a uspokojivé tvařitelnosti dosahují vytvrzované hliníkové slitiny legované Cu, Mg nebo Si. Slitiny hliníku s lithiem jsou užívány k tváření leteckých dílů. Byly také vyvinuty i superplastické Al slitiny.

Slitiny Al-Mg

Tyto slitiny mají výbornou odolnost proti korozi, zejména v mořské vodě a jsou významným konstrukčním materiálem ve strojírenství a chemii.

Slitiny Al-Mg-Si

Jsou dobře tvárné a svařitelné, mají dobrou korozní odolnost a schopnost povrchových úprav, používají se zejména v letectví a stavebnictví.

Slitiny Al-Cu-Mg

Dosahují značné pevnosti po vytvrzení, jejich předností je přirozené stárnutí, nevýhodou je malá odolnost proti korozi.

Slitiny Al-Zn-Mg-Cu

Jsou to nejpevnější slitiny hliníku, mají velmi dobré mechanické vlastnosti a dobrou stálost na vzduchu. Jejich nedostatkem je sklon ke korozi pod napětím, nižší lomová houževnatost a vyšší vrubová citlivost.

Slitiny Al-Li

Lithium je vysoce radioaktivní prvek, snadno oxidující na vzduchu, proto jsou tyto slitiny taveny a odlévány v ochranné atmosféře argonu nebo ve vakuu. Hlavní přínos spočívá v jejich o (5 ÷ 10) % nižší hmotnosti a zvýšeném modulu pružnosti v tahu, pevnost v tahu je srovnatelná s pevností duralů.



Obr. 37 Příklad použití děrovaného hliníkového plechu – kancelářská skříňka [15]



Obr. 38 Příklad hliníkové podpěry vyrobené z lišty o tloušťce 9,5mm ohybem ve třech místech [14]

5.4. Měď

5.4.1. Vlastnosti mědi

Měď je po železe a hliníku třetí nejpoužívanější kov načervenalé barvy s výbornou tepelnou i elektrickou vodivostí (6x vyšší než Fe). Měď se dále vyznačuje velmi dobrou tvárností za tepla i za studena (tvárnost si zachovává i při záporných teplotách), velmi dobrou korozní odolností (jak vůči atmosférickým vlivům tak i vůči řadě chemikálií) a svařitelností a špatnou slévateľností. Ryzí měď se v přírodě nachází vzácně a vyskytuje se tedy převážně ve sloučeninách. Na vzduchu je měď málo stálá. Ve vlhkém prostředí se působením kyslíku, oxidu uhličitého a vzdušné vlhkosti pokrývá tenkou vrstvičkou, která se nazývá měděnka. Při žíhání v atmosféře obsahující vodu nebo uhlovodíky, je nebezpečí vzniku vodíkové nemoci, která způsobuje trhliny při tváření i svařování.

5.4.2. Tváření mědi

Slitiny mědi jsou velmi dobře tvařitelné. Tažná rychlost může dosahovat až $66 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Výtažky ze slitin mědi se musí opět žíhat. Pokud jsou výtažky taženy v několika po sobě následujících operacích bez mezižíhání, dojde ke zpevnění materiálu do takové míry, že další tváření je již neekonomické. Navíc se zvyšuje nebezpečí vzniku mikroskopických trhlinek na výtažcích. Vyšší žíhací teploty způsobují korozi povrchu výtažku a současně zhoršení kvality jeho povrchu, proto probíhá žíhání při nejnižších možných teplotách. Je-li měděný plech žíhán po 80 % deformace, vede textura k nízkým hodnotám R_m a vysokým hodnotám normálové anisotropie, což následně vede k cípovitosti ve směrech 0 a 90° ke směru válcování. Mosaz je náchylná ke vzniku koroze pod zbytkovým napětím, zejména v atmosféře obsahující čpavek a proto musí být tvářené díly také žíhány.

Studené výtažky se vkládají do pece předehřáté pouze na požadovanou teplotu. Při vyšších teplotách může dojít k přehřátí hran součástí, zatímco se ostatní části teprve zahřívají.

U tažidel používaných pro slitiny mědi je požadován vysoký lesk. Tažníky se naopak většinou neleští, aby se udržela kontrola pohybu kovu při tažení. Jedním z problémů může být vytrhávání dna výtažku. Tomu lze předejít zaoblením a zdrsněním spodní plochy tažníku. Zabrání se tak nadměrnému zeslabování taženého kovu.

5.4.3. Slitiny mědi používané pro tváření

Mosazi

Mosazi tvoří asi 80 % všech slitin mědi. Obsahují (5 ÷ 40) % zinku. Slitiny s obsahem mědi nad 80 % se nazývají tombaky. Zvláštním druhem mosazi je pak niklová mosaz (pakfong) s 58 až 60 % mědi a s 8 až 20 % niklu, zbytek tvoří zinek. Mosazi pro tváření jsou určeny na výrobu plechů, tyčí, trubek, profilů, výrobu bižuterie apod.

- Dvousložkové mosazi

K tváření se používají slitiny s obsahem zinku max. 42 %. S rostoucím obsahem zinku se zvyšuje pevnost i tažnost. Maximum pevnosti dosahují tyto mosazi při 46 % obsahu zinku. Maximum tažnosti ovšem mosaz dosahuje při 30 % obsahu zinku. Vliv příměsí na vlastnosti mosazí je podobný, jako u samotné mědi. Například olovo snižuje tvařitelnost, ale zlepšuje obrobiteľnost. Železo zjemňuje zrna při rekrystalizaci, ale snižuje odolnost proti korozi. Na vzduchu korodují tyto mosazi pomalu a koroze ve vodě je závislá na jejich složení. Naopak velmi rychle působí na mosaz HCl a HNO₃.

- **Vícesložkové mosazi**

Přísada dalších prvků může vést ke zlepšení mechanických vlastností (pevnosti), technologických vlastností (slévatelnost, obrobitelnost) nebo odolnosti proti korozi. Vícesložkové mosazi se nazývají buď dle přísady, která má největší vliv, nebo dle použití. Přísady Al, Si a Sn zvyšují pevnostní vlastnosti mosazí (legováním, zjemněním zrna), ale i odolnost proti korozi (ochranná oxidická vrstva). Přísady Mn a Ni také mosaz zpevňují a zvyšují korozní odolnost, ale Mn zhoršuje tvařitelnost, proto se jej nepřidává více jak 3 %. Naproti tomu Ni ji zvyšuje, proto se jej může přidávat až 20 %.

Bronzy

Bronzy jsou slitiny mědi s cínem, olovem, hliníkem a dalšími prvky, přičemž zinek není nikdy v bronzu hlavní přísadou. Název bronzu je odvozen od hlavního přísadového prvku.

- **Cínové bronzy**

Vyžadují zejména při nízkých teplotách silné tváření, po kterém následuje dlouhá prodleva na určité teplotě. Nejvyšší pevnosti dosahují slitiny s obsahem (10 ÷ 15) % cínu.

- **Hliníkové bronzy**

Hliníkové bronzy obsahují do 10 % Al, ale většinou mají ještě (2 ÷ 8) % přísad (Mn, Ni a Fe). Mangan zvyšuje tvařitelnost a korozní odolnost. Nikl zpevňuje. Železo zjemňuje zrna a tím bronz zpevňuje. Díky ochranné povrchové vrstvě tvořené oxidy hliníku a mědi mají hliníkové bronzy lepší odolnost proti korozi než mosazi nebo cínové bronzy. Tváří se v rozmezí teplot (750 ÷ 850)° C.

- **Manganové**

Obsahují (3 ÷ 4) % Mn. Mají velmi dobré mechanické a antikorozi vlastnosti.

- **Niklové**

Mají vysokou pevnost a odolnost proti korozi. Při obsahu 14 % Ni se jedná o bílou niklovou mosaz, která je zvláště vhodná k hlubokému tažení.

- **Křemíkové**

Obsahují okolo 3 % Si. Jsou dobře tvářitelné za tepla i za studena a mají dobrou odolnost proti korozi.

- **Olověné**

Vyznačují se dobrou obrobitelností, ale nízkou tvárností a houževnatostí.



Obr. 39 Pokrývka varny minipivovaru (D = 800mm) zhotovená tažením a stříháním [16]

6. ZÁVĚR

Plošné tváření je v současnosti jednou z nejprogressivnějších metod zpracování kovových materiálů a to převážně plechů. Podstatou plošného tváření je dosažení požadovaného tvaru součásti bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu. Mezi technologie plošného tváření se řadí stříhání, tažení a ohýbání. Těmito technologiemi se zhotovuje celá řada výrobků. Výrobky zhotovené plošným tvářením nachází uplatnění téměř ve všech oblastech lidské činnosti, ať už od pouhých dekorativních předmětů přes výrobky každodenní potřeby, až po části strojů či různých zařízení.

Používá se celá škála materiálů, z nichž každý vyžaduje speciální zpracování. Materiály se liší svou schopností ke tváření, velikostí přípustné redukce, žhacími intervaly apod. Z těchto hodnot se poté odvíjí například počet tahů, rychlost tváření a způsob mazání.

Mezi nepoužívanější neželezné kovy patří titan, hořčík, hliník a měď. Titan se používá pro svou vynikající korozní odolnost zejména v chemickém průmyslu (vystýlka chemických reaktorů), pro svou bio-kompatibilitu ve zdravotnictví (k výrobě nástrojů, šroubů a kloubních implantátů), díky své nízké hmotnosti a vysoké pevnosti ve strojírenství, a to zejména v automobilovém a leteckém průmyslu a v kosmonautice (družice, sondy). Hořčík a jeho slitiny nabízí jako konstrukční materiál celou řadu výhod. Hořčík je nejlehčí ze všech konstrukčních materiálů a má mimořádnou rozměrovou stabilitu. Tyto vlastnosti jej předurčují také zejména k výrobě součástí pro automobilový a letecký průmysl (interiérové prvky, rámy sedaček, bloky motorů, části trupů letadel). Slitiny hořčíku se dále používají například i jako žáruvzdorné hmoty. Dalším z významných kovů je hliník. Hliník nachází pro svou dobrou vodivost uplatnění v energetice a elektrotechnickém průmyslu (elektrovodný materiál, kondenzátory) a díky své zdravotní nezávadnosti a odolnosti proti korozi v kyselém prostředí v chemickém a potravinářském průmyslu (obalové materiály,lobal). Pro svou velmi nízkou hmotnost se hliník dále používá v dopravním, stavebním (střešní krytiny, architektura), strojírenském (části automobilů, lodí a letadel) a rekreačním průmyslu (jízdní kola, sportovní nářadí). Měď je také vynikajícím vodičem, používá se proto opět hlavně v elektrotechnice a elektronice (elektrovodný materiál, cívky, transformátory), pro svou dobrou antikorozi odolnost ve stavebnictví (střešní krytina, okapové žlaby a svody) a v potravinářském průmyslu (různé nádoby). Slitiny mědi nacházejí také široké uplatnění. Z mosazi se vyrábí například kování a z bronzu ozubená kola, ložiska, zvony, sochy, mince apod.

Neželezných kovů existuje celá řada a každý z nich má své specifické uplatnění. Chrom je stříbrolesklý, křehký, tvrdý a velmi stálý kov, používaný hlavně v metalurgii, v chemickém průmyslu a při ochraně železa proti korozi. Zinek je křehký, modrobílý kov, který se používá především na antikorozi povlaky (pozinkování plechu, drátů a lan), výrobu elektrod galvanických článků, karburátorů aut apod. Olovo je měkký modrobílý kov k výrobě akumulátorů, odpařovacích pánví na výrobu kyseliny sírové a předmětů na ochranu před rentgenovým a radioaktivním zářením. Cín je krystalický, stříbrolesklý, měkký a velmi kujný kov. Pro svou odolnost proti korozi a zdravotní nezávadnost nachází největší uplatnění v potravinářském průmyslu (pocínování železného plechu na výrobu konzerv). Nikl je bílý, lesklý, kujný a tažný kov. Slouží jako katalyzátor při tuzování tuků a jako materiál k výrobě akumulátorů a baterií. Z jeho slitin se například razí mince a vyrábí chemické aparatury.

Nejpoužívanějším materiálem je však stále běžná ocel, zejména kvůli nižší pořizovací ceně a obecně lepším tvářecím vlastnostem než u ostatních materiálů. Neželezné kovy se ale pořád více posouvají do popředí a výše pořizovací ceny není díky jejich jedinečným vlastnostem tím nejdůležitějším faktorem při rozhodování o jejich užití. I když přirozený zdroj těchto kovů postupně mizí, díky recyklaci, vhodné konstrukci součástí a slitinám, lze uspokojit poptávku na trhu.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	[J]	práce
b	[mm]	výška výtažku
c	[-]	součinitel závislý na druhu stříhání
C	[-]	koeficient zaplnění plochy
d	[mm]	průměr tažníku
d _i	[mm]	vnitřní průměr výtažku
D ₀	[mm ²]	průměr přístříhu
e	[-]	koeficient závislý na druhu materiálu
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F _c	[N]	tažná síla
k	[mm]	součinitel určující polohu neutrální plochy
k _p	[-]	součinitel určující nutnost použití přidržovače
l	[mm]	vzdálenost mezi opěrami ohybnice
l _{0j}	[mm]	délka ohnutého úseku
l _i	[mm]	délka přímého úseku
l _m	[mm]	rameno ohybu
L	[mm]	délka obvodu výrobku
m _i	[-]	součinitel tažení
n	[-]	koeficient závislý na součiniteli tažení m
p	[MPa]	specifický tlak přidržovače
r _k	[mm]	poloměr hran tažníku
r _t	[mm]	poloměr hran tažnice
R ₀	[mm]	vnitřní poloměr ohybu
R _e	[MPa]	mez kluzu materiálu
R _m	[MPa]	mez pevnosti materiálu
S	[mm ²]	plocha materiálu, který je namáhán na tah
S _o	[mm ²]	celková plocha výstřížků
S _p	[mm ²]	plocha pásu plechu
S _{př}	[mm ²]	plocha přidržovače
t	[mm]	tloušťka materiálu
x	[-]	součinitel posunutí neutrální osy
z _m	[mm]	velikost tažné mezery
z _z	[-]	součinitel ztenčení
z _r	[-]	součinitel rozšíření
Z	[-]	materiálová konstanta
α	[°]	úhel ohybu
β	[°]	úhel odpružení
ε _c	[mm]	mezní prodloužení
τ _s	[MPa]	pevnost materiálu ve stříhu

Seznam použitých zdrojů

- [1] TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
- [2] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření – plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [3] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
- [4] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [5] LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. 2005 [cit. 2009-04-19]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm>.
- [6] DVOŘÁK, Milan, MAREČKOVÁ, Michaela. *Technologie tváření* [online]. 2006 [cit. 2009-04-19]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_4.htm>.
- [7] PETRUŽELKA, Jiří , BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava, 2001. 115 s. Dostupný z WWW: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf>.
- [8] *Bibus : Titan a slitiny titanu* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.bibus.cz/cz/?pg=vypis-produktu&id=276>>.
- [9] JIRÁSEK, Jakub, SIVEK, Martin. *Ložiska nerostů*. 1. vyd. Ostrava : Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1276-2.
- [10] LOUDA, Petr. *Neželezné kovy* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://www.spsostrov.cz/projekty/tep1/Nezelezne_kovy.pps>.
- [11] *Neželezné kovy* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/nezelez2.pdf>>.
- [12] *Aeromet international PLC* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.aeromet.co.uk/index.html>>.
- [13] *AMTS* [online]. 2007 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.magnesium-technologies.com/>>.
- [14] *Jorgenson metal rolling and forming* [online]. c2008 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.jorgensonrolling.com/customfab.html>>.
- [15] *Mevaco* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.mevaco.cz/Domovska-stranka.3.0.html?&L=7>>.
- [16] *Hradecký J. spol s.r.o. Pacov* [online]. c2008 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://www.hradeckypacov.cz/medikovectvi_med.html>.
- [17] *Měď a její slitiny* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://www.benjamin.ic.cz/Cu_slitiny.pdf>.
- [18] *Maturita.cz* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://referaty.cz/referaty/referat.asp?id=4395>>.