



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÝ NÁVRH RÁMOVÉ ZÁKLADNY TECHNOLOGY OF THE FRAME BASE PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ HAVLIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PAVEL RUMÍŠEK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Havlíš

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:

Technologický návrh výroby rámové základny

v anglickém jazyce:

Technology of the frame base production

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Zpracujte literární rešerši z oblasti výroby zadaného dílce technologií tváření (operace stříhání, děrování, ohýbání a kalibrace)
2. Navrhněte možné způsoby výroby zadaného dílce a proveďte výběr materiálu a zhodnocení optimální varianty výroby

Cíle bakalářské práce:

Řešením základních bodů zadání, zahrnujících mimo literární studii i rozbor problematiky a návrh možných způsobů řešení bude vytvořen zájem studenta o danou specializaci.

Seznam odborné literatury:

Odborná literatura z oblasti technologie tváření

Odborná literatura z oblasti technologického projektování

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Brno: VUT – FSI . 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4

DVOŘÁK, Milan., GAJDOŠ, František., NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření (Plošné a objemové tváření). Brno: VUT – FSI. 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7

FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. Brno: VUT – FSI .1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6

FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: VUT – FSI . 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: VUT – FSI .1992.186 s. ISBN 80-214-0401-9

RUMÍŠEK, Pavel. Technologické projekty. Brno: VUT – FSI.1991. 185 s. ISBN 80-214-0385-3

HLAVENKA, Bohumil. Projektování výrobních systémů. Brno: VUT – FSI.1987. 201 s.

MILO, Peter. Technologické projektovanie v praxi. Bratislava: Alfa. 1990. 399 s. ISBN 80-05-00103-7

FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukční oceli. Brno: VUT – FSI.1996. 261 s. ISBN 80-85967-95-8

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

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

V Brně, dne 12.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

HAVLIŠ LUKÁŠ: Technologický návrh výroby rámové základny

V bakalářské práci je řešen technologický návrh výroby rámové základny. Vzhledem k tomu, že společně s touto základnou je vyráběna rovněž součást, označena jako základna křídelní, je v této práci řešena současně i výroba této součásti.

V teoretické části jsou rozebrány metody plošného tváření, jenž jsou použity při výrobě výlisků - jedná se o technologie stříhání, ohýbání, děrování a kalibrování.

Praktická část práce obsahuje popis vyráběných dílců a jejich umístění a funkci v sestavě, volbu materiálu, návrh střížného plánu, výběr tvářecího stroje a na závěr bylo provedeno ekonomické zhodnocení výroby dílců.

Po volbě materiálu (vzhledem k nízkým požadavkům na sestavy byl zvolen materiál 11 343), následoval výpočet střížné a ohýbací síly. Z výsledků potřebných tvářecích sil, po zhodnocení střížného plánu a nároku na plechový svitek byl zvolen tvářecí stroj (jako nejvhodnější se jevil lis LE 250). V ekonomickém zhodnocení byly srovnány dvě varianty výroby součástek, kde jako ekonomicky výhodnější vyšla metoda výroby ve společném nástroji.

Klíčová slova: tváření, stříhání, ohýbání, děrování, kalibrace

ABSTRACT

HAVLIŠ LUKÁŠ: Technological Project of Frame Base Production

The bachelor's thesis deals with technological project of frame base production. Since a component designated as a wing base is produced together with this base, the thesis is also concerned with production of this part.

Methods of sheet metal forming are analyzed in the theoretical part. Methods used during production pressings - such as cutting, bending, punching and calibrating – are concerned.

Practical part of the thesis comprises description of produced segments and their location and function within the assembly, choice of material, shearing layout and choice of forming machine. Economic evaluation of segments production has been performed in conclusion.

As soon as material has been chosen (11 343 material has been chosen with regard to low requirements for assemblies), calculation of cutting and bending force has followed. Forming machine (LE 250 has been found the most suitable one) has been chosen based on results of the necessary forming forces, after evaluation of cutting layout and demand on the sheet metal coil. Two options of components production have been compared in the economic evaluation. Method of production in a common tool has been found more cost-effective.

Keywords: forming, cutting, bending, punching, calibrating

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVLIŠ, L.: Technologický návrh výroby rámové základny. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 10.5.2010

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Pavlu Rumíškovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Poděkování patří také Ing. Aloisovi Vršovi za nemalou pomoc při řešení této práce.

OBSAH:

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1. Úvod	10
2. Popis technologií tváření použitých při výrobě zadaného dílce	11
2.1 Stříhání	11
2.1.1 Definice a princip stříhání	11
2.1.2 Střížná vůle	12
2.1.3 Tvary střížných nožů	13
2.1.4 Střížná síla	14
2.1.5 Střížná práce	15
2.1.6 Děrování	16
2.1.7 Přesné stříhání	16
2.1.8 Technologické zásady při stříhání	17
2.2 Ohýbání	18
2.2.1 Definice a princip ohýbání, schéma napjatosti	18
2.2.2 Plocha nulového prodloužení, rozvinutá délka = délka polotovaru	19
2.2.3 Zpevnění při ohybu	22
2.2.4 Odpružení při ohybu	23
2.2.5 Síla a práce při ohybu	24
2.2.6 Minimální a maximální poloměr ohybu	27
2.2.7 Ohyb do tvaru U a V	28
2.2.8 Technologické zásady při ohýbání	28
2.3 Kalibrování	29
3. Technologický postup výroby základny rámové a základny křídelní	30
3.1 Popis zadaných dílců	30
3.2 Volba materiálu pro zadané dílce	31
3.3 Návrh střížného plánu	33
3.4 Výběr tvářecího stroje	33
3.5 Ekonomické zhodnocení výroby zadaných dílců	35

4. Závěr	37
-----------------------	-----------

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů a značek

Seznam příloh

Přílohy

1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá technologickým návrhem výroby rámové základny a literární rešerší technologií plošného tváření, jenž jsou při výrobě zadaného dílce použity. Jedná se o stříhání, děrování, ohýbání a kalibrování. Společně se základnou rámovou se bude v nástroji vyrábět i základna křídelní. Z tohoto důvodu jsou v bakalářské práci řešeny oba výlisky zároveň. Technologický návrh výroby základen obsahuje popis funkce základen a jejich umístění v sestavě výklopného ramene, výběr materiálu, návrh střížného plánu, výběr tvářecího stroje, a je zakončen ekonomickým porovnáním dvou možných variant výroby základny rámové a základny křídelní. První variantou je výroba obou základen společně v jednom nástroji, druhou variantou je výroba každé základny ve vlastním nástroji, s tím že bude třeba investovat do nového nástroje. Na závěr jsou shrnuty všechny výsledky a volby, které byly v této práci spočteny a učiněny.

Technologie tváření jsou beztržskovou metodou zpracování materiálu. Pomocí těchto technologií můžeme zhotovovat polotovary určené k dalšímu zpracování, ale můžeme zhotovovat také hotové výrobky přesných rozměrů. Z ekonomického hlediska se technologie tváření využívají hlavně v sériové a hromadné výrobě.

Dělení tváření dle [5] : Tváření dělíme na plošné a objemové.

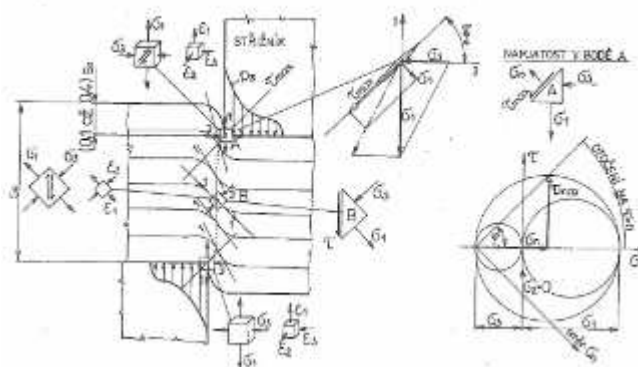
Plošné tváření:

- stříhání
- tažení
- ohýbání
- tvarování

Objemové tváření:

- pod rekrystalizační teplotou (tzv. tváření za studena) zahrnuje např.
 - ražení
 - pēchování
- nad rekrystalizační teplotou (tzv. tváření za tepla)
 - volné kování
 - zápusťkové kování

Technologiemi plošného tváření plechu můžeme vyrábět výlisky malých hmotností, které zároveň splňují požadavky na výrobky z hlediska dostatečné pevnosti a tuhosti. Toho využijeme v této práci a pro výrobu zadaných součástí zvolíme operace stříhání, děrování, ohýbání a kalibrování.

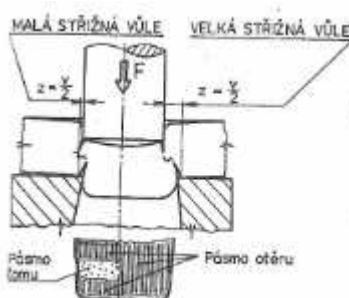


obr. 3 Schéma napjatosti a přetvoření při běžném uzavřeném stříhání

V bodě A těsně u střížné hrany je největší tahové napětí σ_1 a tlakové napětí je přibližně rovno $\sigma_3 = \sigma_1/2$. Poměr napětí σ_1 a σ_3 směrem do středu se mění a právě uprostřed v bodě B platí $\sigma_1 = -\sigma_3$.

2.1.2 Střížná vůle [1], [2], [3], [6], [7]

Střížnou vůlí je ovlivněna přesnost a kvalita střížné plochy, trvanlivost břitů, střížná síla atd. Při stříhání s normální vůlí se trhliny v okamžiku stříhu setkají (viz obr.1). Nástřih při malé i velké střížné vůli (viz obr.4) má za následek rozšíření pásma otěru na větší část střížné plochy.

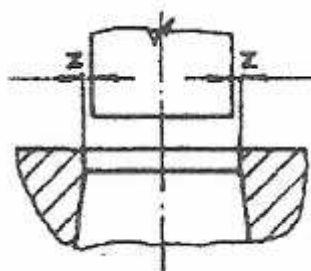


obr. 4 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli

Střížnou vůli můžeme určit výpočtem nebo pomocí diagramu.

$$v = 2 \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

kde: z – střížná mezera [mm]



obr. 5 Střížná mezera při stříhání

výpočtem :

a) plechy $t \leq 3 \text{ mm}$

$$v = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

kde: t - tloušťka materiálu (plechu) [mm]

c - součinitel závislý na druhu stříhání [-]

τ_{ps} - pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

b) plechy $t > 3 \text{ mm}$

$$v = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

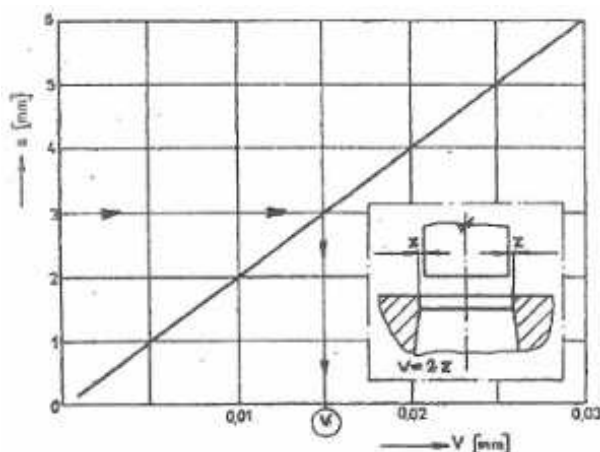
kde: τ_{ps} - pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

z - střížná mezera [mm]

t - tloušťka materiálu (plechu) [mm]

c - součinitel závislý na druhu stříhání [-]

pomocí diagramu -



obr. 6 Velikost střížné vůle při přesném stříhání

2.1.3 Tvary střížných nožů [5]

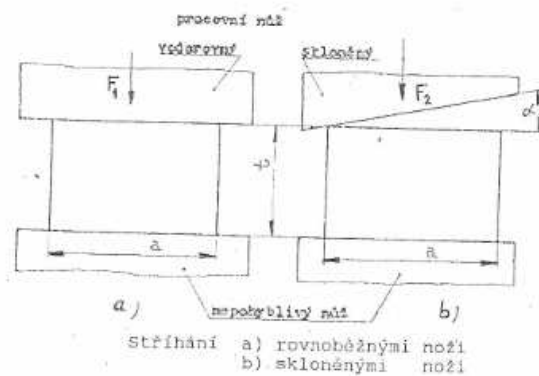
Ke stříhání můžeme použít tři druhy nožů. Nože se dělí dle konstrukce a pohybu.

a) rovnoběžné nože – ostří nožů jsou rovnoběžná

b) skloněné nože – ostří nožů jsou k sobě skloněna pod určitým úhlem

c) kotoučové nože

Při stříhání s rovnoběžnými noži je nevýhodou velká střížná síla působící rázem.

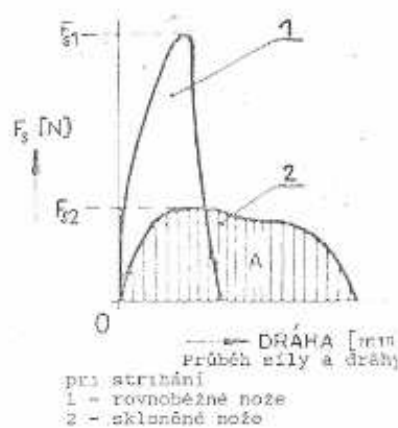


obr. 7 Tvar střížných nožů

2.1.4 Střížná síla [1], [2], [5], [6]

Střížná síla je síla, kterou musí působit nože na materiál, aby došlo ke stříhu.

Střížná síla je rozdílná při stříhání rovnoběžnými a skloněnými noži.



obr. 8 Průběh síly a dráhy při stříhání

Z diagramu plyne, že při stříhání plechu o stejné tloušťce potřebujeme při stříhání rovnoběžnými noži větší sílu, která působí po menší dráze.

a) stříhání rovnoběžnými noži

teoretická střížná síla

$$F_s = s \cdot \tau_{ps} \cdot n \quad [N] \quad (4)$$

kde: n - součinitel otupení (1,1 - 1,5) [-]

s - plocha původního průřezu a . t v střížné rovině [mm²]

a - délka stříhu [mm]

t - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_{ps} - pevnost ve stříhu ($\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

Ve skutečnosti při stříhání ale nevzniká čistý smyk nýbrž kombinované namáhání. Kvůli částečnému ohybu materiálu se mění průřez směrem k vyšším hodnotám. S přihlédnutím k otupení nožů se skutečná maximální střížná síla vypočítá

$$F_{Smax} = (1,15 \text{ až } 1,30) \cdot t \cdot \tau_{ps} \quad [N] \quad (5)$$

kde: s - plocha původního průřezu a . t v střížné rovině [mm²]

a - délka stříhu [mm]

t - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_{ps} - pevnost ve stříhu ($\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

b) stříhání se skloněnými noži

Stříhání se skloněnými noži je výhodné z důvodu menší střížné síly.

Maximální střížná teoretická síla

$$F_{Steor} = \frac{1}{2} \cdot \frac{t^2}{\tan \alpha} \cdot \tau_{ps} \quad [N] \quad (6)$$

kde: t - tloušťka materiálu [mm]

α - úhel sklonu nožů [°]

2.1.5 Střížná práce [2], [5], [6]

Střížná práce je práce, kterou vykoná nůž při oddělení materiálu.

Střížná práce se liší při stříhání rovnoběžnými a šikmými noži.

a) střížná práce při stříhání s rovnoběžnými noži

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{F_{Smax} \cdot t}{2} \cdot \lambda \quad [J] \quad (7)$$

kde: F_{Smax} - maximální střížná síla [N]

t - tloušťka materiálu [mm]

λ - součinitel plnosti [-]

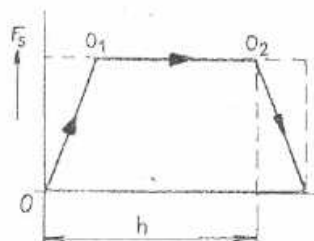
b) střížná práce při stříhání se skloněnými noži

$$A = F_{Steor} \cdot h_s \quad [J] \quad (8)$$

kde: F_{Steor} - maximální teoretická střížná síla [N]

h_s – dráha při stříhání [mm]

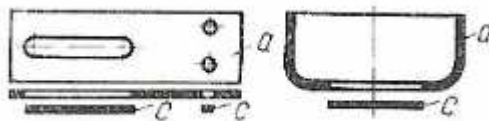
Pracovní diagram při stříhání skloněnými noži



obr. 9 Pracovní diagram při stříhání skloněnými noži

2.1.6 Děrování [3], [4], [6]

Děrování je proces zhotovování otvorů různých tvarů. Otvory můžeme zhotovovat jednotlivě či ve skupinách. Výstřížek je odpad.



obr. 10 Schéma děrování

Střížná síla při děrování:

$$F_s = n \cdot l \cdot t \cdot \tau_{ps} \quad [N] \quad (9)$$

kde: F_s - střížná síla [N]

l - délka stříhu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

τ_{ps} - pevnost ve stříhu ($\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

Celková síla při děrování se skládá ze tří sil. Síly střížné, stírací a vysouvací.

2.1.7 Přesné stříhání [4], [5], [7]

Technologie přesného stříhání je souhrn metod stříhání plechů a pásů ve stříhadlech, které využijeme tam, kde střížná plocha je zároveň funkční plochou, na kterou jsou kladeny značné požadavky jak na přesnost tvarů a rozměrů, tak na hladkost a kolmost povrchu. Můžeme dosáhnout rozměrové přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT6 až IT9. Technologie přesného stříhání je ekonomicky náročná a vyplatí se při minimální výrobní sérii 40 000 kusů.

Princip přesného stříhání spočívá ve způsobu rozšíření pásma plastického stříhu na celou tloušťku stříhaného materiálu. Toho dosáhneme vytvořením prostorové tlakové napjatosti (trojosá napjatost), či lze použít metodu, jenž spočívá v dodatečném přistřížení malého množství konce ze střížné plochy.

Metody přesného stříhání:

- stříhání se zaoblenou hranou
- stříhání za působení bočního tlaku
- stříhání s tlačnou hranou

a) Stříhání se zaoblenou hranou

Princip metody je v zabránění vzniku střížné trhliny ve stříhaném materiálu zaoblením na hraně střížnice. Vliv zaoblení na jakost střížné plochy je tím větší, čím menší je mezera.

Zaoblení střížnice:

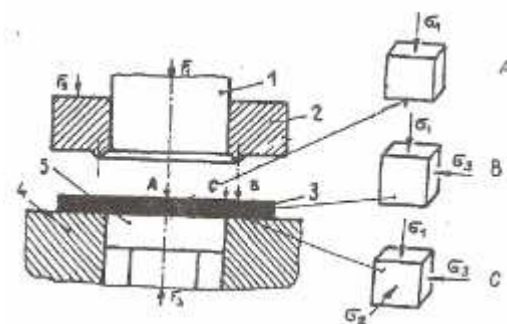
$$r = 0,2 \cdot t \quad [mm] \quad (10)$$

kde: t – tloušťka plechu [mm]

b) *Stříhání za působení bočního tlaku:*

Při této metodě musíme ovlivnit napjatost ve střížné oblasti tak, aby nedošlo k vytvoření střížné dutiny.

c) *Stříhání s tlačnou hranou:*



obr. 11 Schéma přesného stříhání

Při přesném stříhání máme nejvýhodnější rozložení hlavních napětí σ_1 , σ_2 , σ_3 a v místě stříhu nám vzniká trojosá napjatost, což nám podporuje průběh čistě plastického stříhu.

Nevýhodami stříhání s tlačnou hranou je větší spotřeba materiálu a některá omezení ve tvaru stříhané součásti (například nelze vystříhovat ostré rohy).

2.1.8 Technologické zásady při stříhání [4], [5], [7]

Při stříhání vzniká tzv. technologický odpad (závisí na tvaru a uspořádání výstřížku na pásu) a konstrukční odpad (závisí na vnějším a vnitřním tvaru součásti). Důležité je správné uspořádání výstřížků na pásu, tak aby byl pás co nejhospodárněji využit. Hospodárné využití pásu (materiálu) se určuje výpočtem stupně využití materiálu, který má být větší než 70%.

Při stříhání bychom měli dodržovat následující pravidla:

- výstřížek by měl mít tvar, který se dá vyrobit při nejnižších výrobních nákladech a přitom splňoval svoji funkci,
- neděrovat otvory menších průměrů než je tloušťka děrovaného materiálu,
- tolerance vnějších rozměrů by neměly být menší než je desetina tloušťky materiálu,
- vzdálenost mezi otvory nebo vzdálenost otvorů od okraje součásti má být rovna alespoň šířce plechu
- tolerance při děrování by neměly být menší než $\pm 0,01$ mm a vždy větší než setina tloušťky materiálu,

- drsnost střížné plochy, není-li bezpodmínečně nutná, nemá být předepisována. Střední drsnost střížné plochy je $R_a = 3,2 \mu\text{m}$
- nejmenší šířka výstřížku má být 1,5násobek tloušťky plechu
- kolmost střížné plochy předepisovat pouze v případě, že požadovaná tolerance je menší než $\pm 1^\circ$

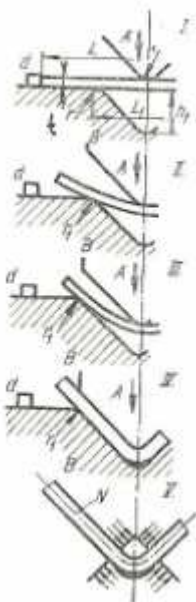
Pro určení minimálního průměru stříhaného otvoru, šířky drážky v plechu, minimální vzdálenosti mezi otvory a minimální mezi otvorem a hranou součásti se v praxi využívají diagramy.

2.2 Ohýbání

2.2.1 Definice a princip ohýbání, schéma napjatosti [1],[3], [5], [6], [7]

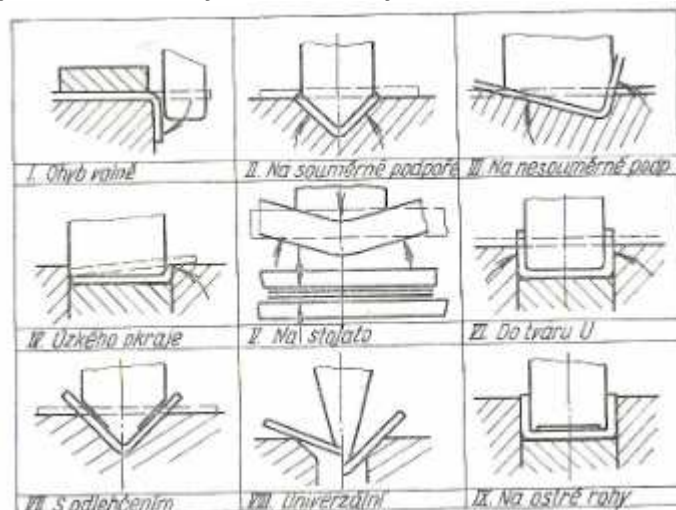
Ohýbání je technologická operace, při které vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Při ohýbání dochází k pružně-plastické deformaci materiálu. U ohýbání jsou rozhodující tahová napětí, která musí být menší než pevnost v tahu. Při ohybu vznikají nehomogenní plastická přetvoření v místech maximálního ohybového momentu. Ve většině případů se ohýbá za studena, materiály tvrdé, křehké apod. ohýbáme za tepla.

Průběh ohýbání je znázorněn na obrázku.



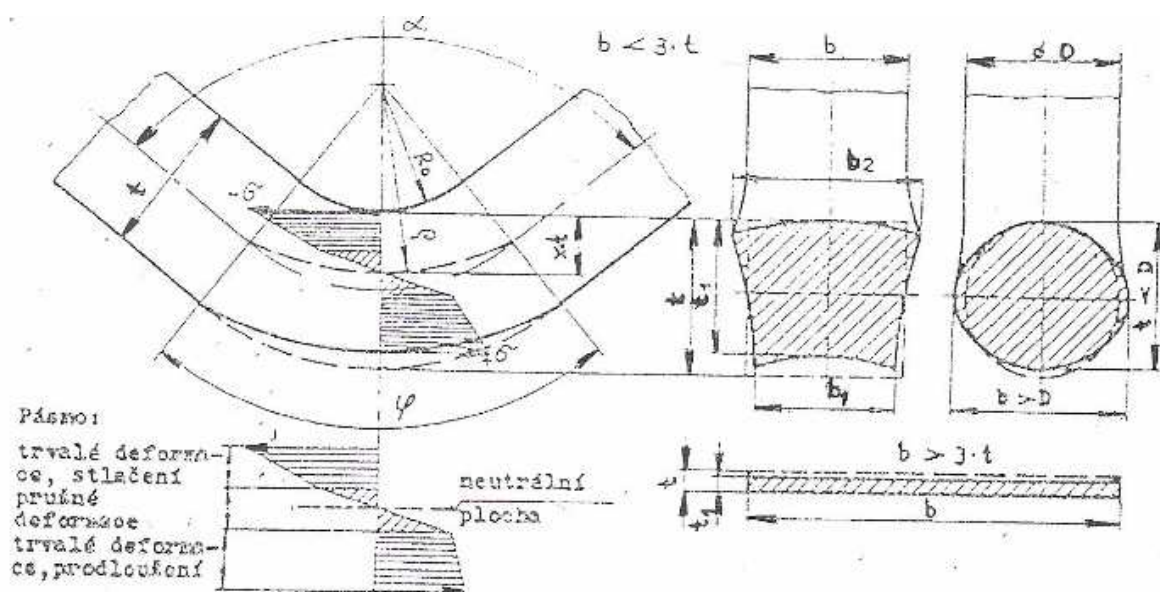
obr. 12 Průběh ohýbání

Způsoby ohýbání jsou ilustrovány na následujícím obrázku



obr. 13 Způsoby ohýbání

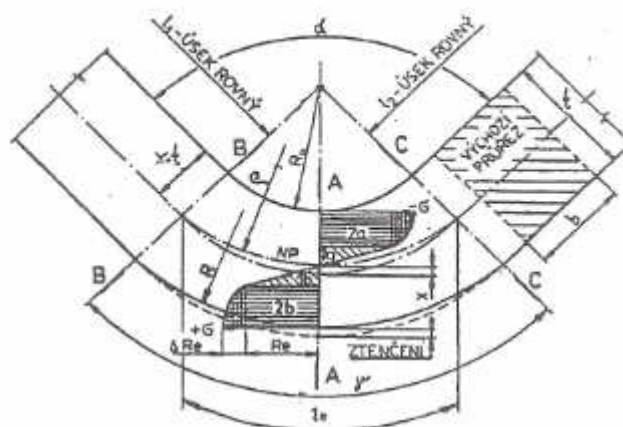
Schéma napjatosti a přetvoření při prostém ohybu tyčí a pásů.



obr. 14 Schéma napjatosti a přetvoření při prostém ohybu tyčí a pásů.

2.2.2 Plocha nulového prodloužení, rozvinutá délka = délka polotovaru [5], [7]

Neutrální plocha je plocha, která je bez napětí a bez deformace. Neutrální plochu využíváme při výpočtu délky výchozího polotovaru ohýbané součásti.



- 1a, 1b - oblast pružné deformace
 2a, 2b - oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe
 x - velikost posunutí neutrální plochy (NP) od původní osy průřezu
 R_0 - poloměr ohybu
 l_0 - délka ohnutého úseku v neutr. ploše
 ρ - poloměr neutrální plochy (NP)
 β - úhel ohnutého úseku ($\beta = 180 - \alpha$)
 α - úhel ohybu

obr. 15 Schéma ohýbání a plocha nulového prodloužení

Výpočet poloměru neutrální plochy

a) při ohýbání s velkými poloměry zaoblení, kdy $R_0/s \geq 12$

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \quad [mm] \quad (11)$$

kde: R_0 - poloměr ohybu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

b) při ohýbání s malými poloměry zaoblení, kdy $R_0 \leq 6$

$$\rho = \left(R_0 + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [mm] \quad (12)$$

kde: $z_z = s_1/s$ - součinitel ztenčení [-]

$z_r = b_1/b$ - součinitel rozšíření původního průřezu [-]

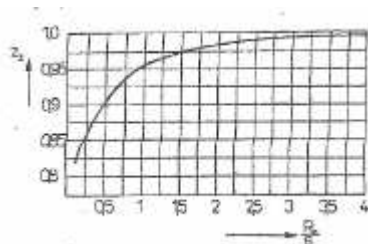
b, t - šířka a tloušťka výchozího materiálu [mm]

b_1, t_1 - šířka a tloušťka materiálu po ohnutí [mm]

R_0 - poloměr ohybu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

Součinitel ztenčení (z_z) závisí na tvárnosti materiálu, stupni deformace, tření materiálu a úhlu ohybu. Velikost součinitele ztenčení pro ohýbání měkké oceli o 90° můžeme odečíst z grafu.



obr. 16 Graf velikosti součinitele ztenčení pro ohýbání měkké oceli o 90°

Velikost součinitele rozšíření (z_r) původního průřezu můžeme odečíst z tabulky.

Šířka ohýb. dílce b [mm]	$b = 0,5 \cdot s$	$b = s$	$b = 1,5 \cdot s$	$b = 2 \cdot s$	$b = 2,5 \cdot s$	$b \geq 3 \cdot s$
Součinitel rozšíření z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

tab. 1 Tabulka součinitele rozšíření

c) při ohýbání širokých pásu plechů $b > 3 \cdot s$

$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

kde : x - součinitel posunutí neutrální plochy [mm]

R_0 - poloměr ohybu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

Velikost součinitele posunutí neutrální plochy (x) určíme z tabulky, ve které máme zaznamenáno také z_z (součinitel ztenčení). Tato tabulka platí pro ohyb širokých polotovarů pravoúhlého průřezu z měkké oceli o 90°.

R_0/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486
z_z	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

tab. 2 Tabulka součinitele posunutí neutrální plochy

Výpočet délky polotovaru

Délku polotovaru pro ohýbanou součást dostaneme součtem délek rovných úseků finálního výrobku a délek oblouků v místě ohybu.

Stanovení délky polotovaru

$$l_c = l_1 + l_2 + \dots + l_n + l_{o1} + l_{o2} + \dots + l_{o(n-1)} \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

kde: l_i - délka přímého úseku [mm]

l_{oi} - délka ohnutého úseku [mm]

Stanovení délky oblouku

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [mm] \quad (15)$$

kde : γ - úhel ohnutého úseku [°]

R_o - poloměr ohybu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

x - součinitel posunutí neutrální plochy [mm]

$$\gamma = 180^\circ - \theta^\circ \quad [^\circ] \quad (16)$$

kde : θ - sevřený úhel ramen ohnuté součásti [°]

Výpočet ztenčení plechu a deformace průřezu drátů a tyčí

Pokud je $R_o < 1,5 \cdot d$ - dochází k deformaci průřezu drátů a tyčí. Pokud je $R_o \geq 1,5 \cdot d$ - k deformaci kruhového průřezu drátů a tyčí prakticky nedochází.

Stanovení ztenčení plechu

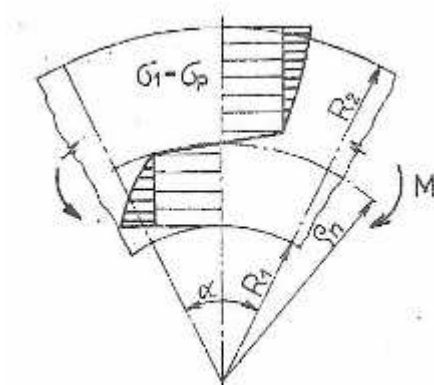
$$\Delta s = \frac{t^3}{4 \cdot (2 \cdot R_o + t)^2} \quad [mm] \quad (17)$$

kde: R_o - poloměr ohybu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

2.2.3 Zpevnění při ohybu [1], [6]

Ke zpevnění materiálu při ohýbání tyčí a pásů za studena dochází z důvodu plastického přetvoření a roste tečné napětí σ_1 . Největší zpevnění a přetvoření nastává v krajních vláknech na povrchu, kde $\sigma_1 = \sigma_p$.



obr. 17 Vliv zpevnění na rozložení tečného napětí

Výpočet největšího ohybového momentu u ohybu širokého pásu

$$M_{max} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot t^2}{4} \cdot \sigma_{ps} \quad [N \cdot m] \quad (18)$$

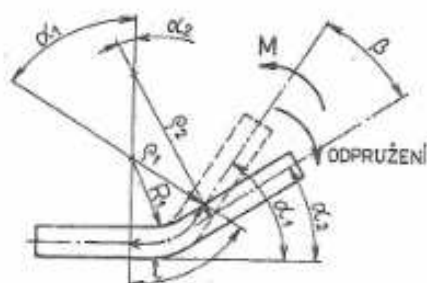
kde: t - tloušťka materiálu [mm]

b - šířka materiálu [mm]

σ_{ps} – střední přirozený přetvárný odpor [MPa]

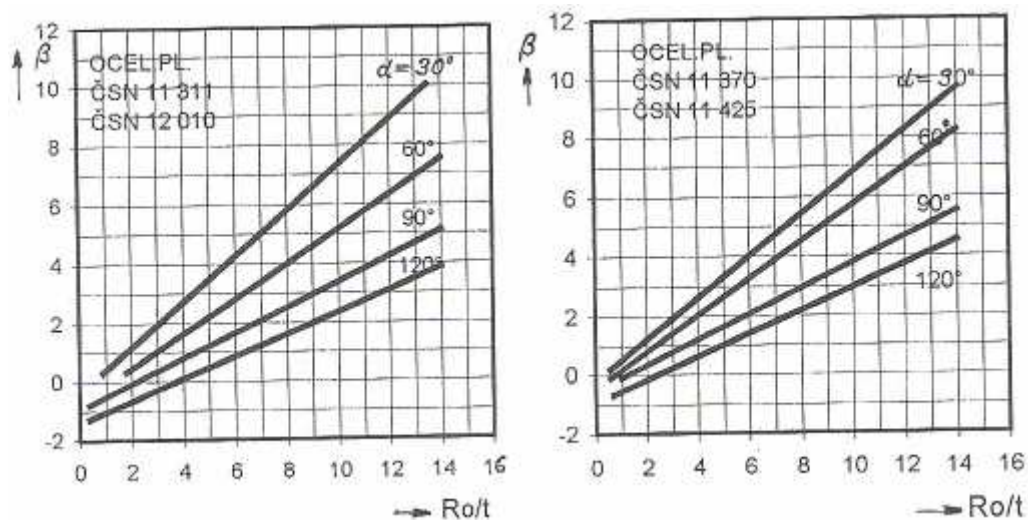
2.2.4 Odpružení při ohybu [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]

Odpružení ohýbaného dílce je výrazným průvodním jevem v technologii ohýbání. Ohyb za studena doprovází pružné deformace, které po odeznění zatížení způsobují odpružení. Odpružení při ohybu způsobuje změnu rozměru a tvaru dílce, který neodpovídá rozměrům daným nástrojem.



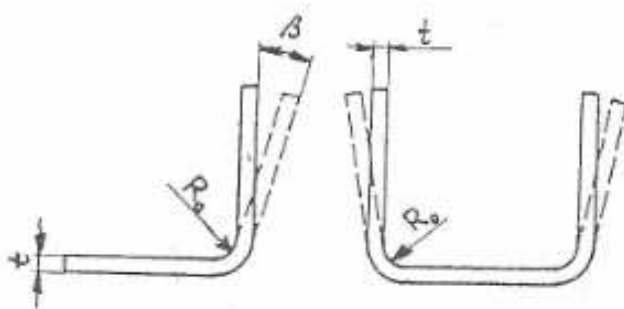
obr. 18 Schéma odpružení při ohybu

Velikost odpružení je závislá na mechanických vlastnostech materiálu, tloušťce polotovaru, poměru poloměru ohybu k tloušťce materiálu, úhlu ohybu a typu ohybu. Velikost odpružení můžeme určit výpočtem či orientačně pomocí diagramu.



obr. 19 Odpružení pro úhly ohybu $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ vybraných plochých ocelí třídy 11

Výpočet úhlu odpružení β pro V a U ohyb



obr. 20 Odpružení při V a U ohybu

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{L_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad \text{ohyb do tvaru V} \quad [-] \quad (19)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{L_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad \text{ohyb do tvaru U} \quad [-] \quad (20)$$

kde : L_v - vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]

L_u - vzdálenost mezi opěrou ohybnice a středem poloměru ohybu [mm]

β - úhel odpružení [°]

E - modul pružnosti v tahu [MPa]

t - tloušťka ohýbaného polotovaru [mm]

k - součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_o/t
($k = 0,5 - 0,68$ dle ČSN 22 7340) [-]

R_e - mez kluzu ohýbaného plechu [MPa]

Odpružení odbouráváme změnou úhlu ohybu o hodnotu odpružení, zpevněním materiálu v místě ohybu atd.

2.2.5 Síla a práce při ohybu [3], [4], [5]

Ohýbací síla (F_o) - síla potřebná k ohnutí materiálu.

Ohýbací síla:

$$F_o = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot L} \quad [N] \quad (21)$$

kde: R_e - napětí na mezi kluzu [MPa]

ε - mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken [-]

b - šířka materiálu [mm]

t - tloušťka materiálu [mm]

L - vzdálenost podpor ohýbadla [mm]

Pro výpočet celkové ohýbací síly je třeba, z důvodu tření a kalibrování, zavést kalibrovací sílu (F_k).

$$F_k = S \cdot p \quad [N] \quad (22)$$

kde: S - kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku [mm²]

p - měrný tlak pro kalibrování [Pa]

Výpočet ohýbací síly celkové:

$$F_{Omax} = F_O + 1,3 \cdot F_O + F_k \quad [N] \quad (23)$$

kde: F_O - ohýbací síla [N]
 F_k - kalibrovací síla [N]

[3] uvádí rozdílný vzorec pro výpočet ohybové síly:

$$F_O = 2,5 \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot \sigma_o}{1,5 \cdot L} \quad [N] \quad (24)$$

kde: b - šířka materiálu [mm]
 t - tloušťka materiálu [mm]
 L - vzdálenost ohýbacích hran [mm]
 σ_o - pevnost v ohybu [MPa]

[4] uvádí ještě jeden typ vzorce pro ohybovou sílu:

$$F_O = (0,35 + 0,0022 \cdot \delta) \cdot \sigma_{Pt} \cdot t \cdot \Sigma l \quad [N] \quad (25)$$

kde: σ_{Pt} - mez pevnosti v tahu [MPa]
 t - tloušťka materiálu [mm]
 δ - tažnost [%]
 Σl - součet délek hran ohýbaných v jedné operaci [mm]

Při ohýbání dochází vlivem působení vnějších sil k ohybovému momentu. Závislost momentu na materiálových charakteristikách je dána následujícími vztahy.

Ohybový moment při ohýbání:

$$M_O = \frac{F_O \cdot L}{4} = W_O \cdot R_e \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) = \frac{b \cdot t^2}{4} \cdot R_e \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad [N \cdot m] \quad (26)$$

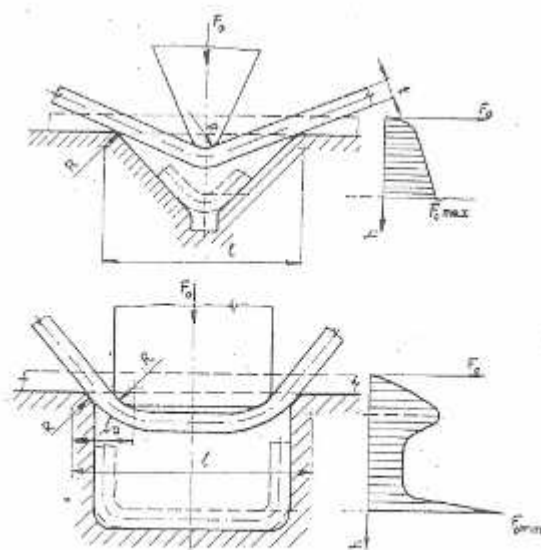
kde: W_O - modul odporu průřezu v ohybu [mm³]
 R_e - napětí na mezi kluzu [MPa]
 ε - mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken
 b - šířka materiálu [mm]
 t - tloušťka materiálu [mm]
 L - vzdálenost podpor ohýbadla [mm]

(mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken určíme dle $\varepsilon = \frac{t}{2r+t}$ [-])

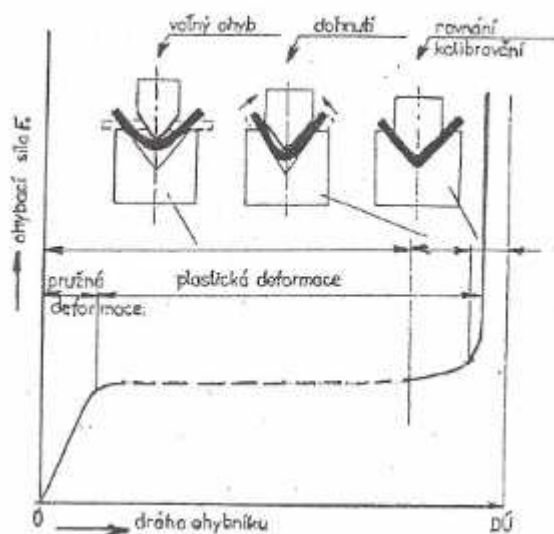
pro plechy:

$$M_O = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot t^2}{4} \cdot R_e \quad [N \cdot m] \quad (27)$$

kde: R_e - napětí na mezi kluzu [MPa]
 b - šířka materiálu [mm]
 t - tloušťka materiálu [mm]



obr. 21 Způsob ohýbání a průběh ohýbací síly při ohýbání do V a U tvaru



obr. 22 Průběh ohýbací síly v závislosti na dráze ohybníku

Výpočet ohýbací práce:

Práce, kterou musíme vynaložit na provedení ohybu.

$$A_0 = m^* \cdot F_{0max} \cdot h \quad [J] \quad (28)$$

kde: m^* - opravný koeficient (dle průběhu ohýbací síly) [-]

F_{0max} - maximální síla při ohýbání [N]

h - pracovní zdvih ohýbadla [mm]

2.2.6 Minimální a maximální poloměr ohybu [3], [6], [7]

Minimální poloměr ohybu:

Pružně plastický ohyb je možný až do minimálního poloměru ohybu $R_{\min}$, potom dochází k porušení na vnější tahové straně z důvodu překročení meze pevnosti v tahu. Minimální poloměr ohybu závisí na plastičnosti materiálu, na způsobu ohýbání, úhlu ohybu, šířce a tloušťce ohýbaného materiálu. Ohyb je třeba provádět napříč směru vláken v polotovaru.

Výstřižky z plechu je třeba ohýbat tak, aby ostřiny vzniklé při stříhání byly na vnitřní straně ohybu a při ohýbání byly stlačovány a ne roztahovány.

Hodnoty minimálního ohybového momentu určíme z normy ČSN 22 7440

např: hliník: $R_{\min} = 0,35 \cdot s$

měkká ocel: $R_{\min} = (0,4 - 0,8) \cdot s$

a nebo spočítáme ze vzorců.

Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) \quad [mm] \quad (29)$$

kde: t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

ε_c - mezní prodloužení [-]

Mezní prodloužení určíme dle vztahu:

$$\varepsilon_c = \frac{t}{2 \cdot R_{\min} + t} \quad [-] \quad (30)$$

kde: t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

$R_{\min}$ - minimální poloměr ohybu [mm]

Hodnoty minimálního poloměru ohybu se v praxi nevyužívají, používají se hodnoty zvětšené o 20%.

Maximální poloměr ohybu:

Maximální poloměr ohybu je takový poloměr, při kterém v krajních vláknech dojde právě k trvalému přetvoření.

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [mm] \quad (31)$$

kde: t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

E - modul pružnosti v tahu [MPa]

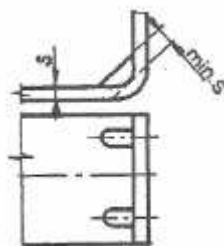
R_e - mez kluzu materiálu [MPa]

2.2.7 Ohyb do tvaru U a V [5]

Úhel α a β při ohybu do tvaru U a V je vidět na obr. 21. Výpočet ohybové síly a práce je vysvětlen ve 2.5. Odpružení při U a V ohybu je zobrazen na obr. 20 a výpočet je vysvětlen ve 2.4.

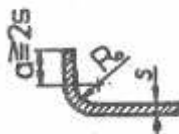
2.2.8 Technologické zásady při ohýbání [5], [7]

- při ohybu volíme osu ohybu kolmo na směr vláken
- ohýbáme s kalibrací na místo volného ohybu
- vytvoříme výztužná žebra či ztužující prolis u materiálu s velkou anizotropií



obr. 23 Výztužná žebra u materiálu s velkou anizotropií

- upravujeme dna výlisku tvaru U
- minimální délku ohýbaného ramene dodržujeme na $a \geq 2 \cdot s$



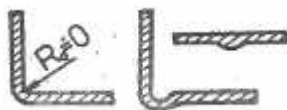
obr. 24 Minimální délka ohýbaného ramene

- kvůli zabránění deformace otvoru při ohýbání součásti dodržujeme podmínku $a \geq 2 \cdot s$



obr. 25 Minimální délka ohýbaného ramene při ohybu s otvorem

- u ostrých ohybů, kde se R_o blíží k nule, je třeba v místě předpokládaného „ostrého“ ohybu vytvořit potřebný objem kovu a poté úhel kalibrovat



obr. 26 Ostrý ohyb

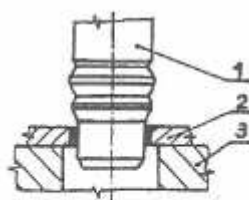
- proti tvoření vln při ohybu dílců s tenkými stěnami zavádíme tahové síly a nebo boční přitlačení materiálu k nástroji

2.3 Kalibrování [5], [7]

Úkolem kalibrování je dosáhnout a udržet požadovaný tvar a rozměry.

Kalibrování při stříhání:

Kalibrování spočívá v protlačení výstřižku přes střížnici, která má zaoblené hrany $R\ 0,5 - 1,5\text{ mm}$ dle tloušťky plechu. Kalibrováním můžeme dosáhnout poměrně kvalitních výstřižků s přesnými rozměry. Kalibrování můžeme provádět na vnějším obrysu výstřižku nebo v otvoru. Při kalibrování musíme brát v úvahu také odpružení materiálu. Otvory se kalibrují kalibrovací trny. Kalibrovací trn má zaváděcí a výstupní část zkosenou pod úhlem 5° a jednu či více kalibrovacích plošek o šířce $1 - 3\text{ mm}$.

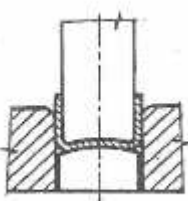


1 - střížník, 2- polotovar z plechu,
3 - střížnice

obr. 27 Kalibrovací trn při kalibrování otvoru

Kalibrování při ohybu:

Kalibrováním u ohybu můžeme ovlivňovat odpružení, to je závislé na zpevnění kovu při kalibraci. U materiálu nastává dvojí odpružení opačného smyslu. Odpružení v zaoblené části výlisku kladné a záporné odpružení rovných úseků, které se při ohýbání kalibrují mezi funkčními částmi nástroje.

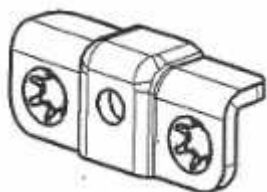


obr. 28 Úprava dna výlisku tvaru U pro kalibraci úhlů

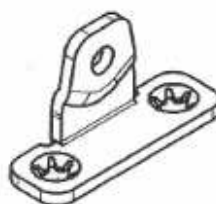
3. Technologický postup výroby základny rámové a základny křídelní

3.1 Popis zadaných dílců

Zadanými dílci jsou základna rámová a základna křídelní. Jedná se o výlisky z plechu o tloušťce 2,5 mm. Výsledný tvar po všech tvářecích operacích je zobrazen na obrázku č.29, kde se jedná o základnu křídelní, a na obrázku č. 30, kde se jedná o základnu rámovou.



obr. 29 Základna křídelní



obr. 30 Základna rámová

Oba výlisky jsou součástí výklopného ramena. Toto rameno slouží pro zakování do dřevěných oken s vrchním kováním. Základna křídelní je po zakování výklopného ramena umístěna v okně, zatímco základna rámová se nachází v rámu okna.



obr. 32 Výklopné rameno



obr. 31 Výklopné rameno zakované v dřevěném okně

3.2 Volba materiálu pro zadané dílce [7], [8], [9]

Volbu materiálu jsem provedl v závislosti na nárocích na výlisky a na nárocích na sestavu výklopného ramene.

třída oceli	použití	oceli podle stupně legování		charakteristika oceli
10	konstrukční	Nelegované		předepsané hodnoty mech. vlastností, chem. složení není předepsáno
11				předepsané hodnoty mechanických vlastností a obsah C,P,S popř. i dalších prvků
12				předepsaný obsah C,Mn,Si,P popř. i dalších prvků
13		legované	nízkolegované	legovací prvky: Mn,Si,Mn-Si,Mn-V
14				legovací prvky: Cr,Cr-Al,Cr-Mn, Cr-Si,Cr- Mn-Si
15				legovací prvky: Mo,Mn-Mo,Cr-Mo, Cr-V,Cr-W,Mn-Cr-V,Cr-Mo-V
16			nízko a středně legované	legovací prvky: Ni,Cr-Ni,Ni-V, Cr-Ni-Mn,Cr-Ni-V,Cr-Ni-W,Cr-Ni-Mo
17			středně legované a vysokolegované	legovací prvky:Cr,Ni,Cr-Ni,Cr-Mo, Cr-V,Cr-Al,Cr-Ni-Mo,Cr-Ni-Ti, Cr-Mo-V,Mn-Cr-Ni atd.
19	nástrojové	nelegované		předepsaný obsah C, Mn, Si, P, S
		legované (nízko, středně, vysoko)		legovací prvky:Cr,V,Cr-Ni,Cr-Mo, Cr-Si,Cr-V,Cr-W atd.

tab. 3 Rozdělení ocelí do tříd

označení materiálu	vhodnost pro přesné stříhání
ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425 ČSN 42 4214 (mosaz)	velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700, 16 720	dobrá
Ms 63, Ms 60	špatná
Ms 58	nevhodná
Ms 63Pb	nehodí se
ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088; 13 180; 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 221, 19 222, 19 255, 19 452	opotřebení nástroje

tab. 4 Materiály vhodné pro přesné stříhání

Vybrané typy ocelí třídy 11:

11 300 - Ocel nelegovaná, obvyklých jakostí. Vhodná pro tváření za studena, zejména na lisování a hluboké tažení. Na náročné výlisky, plechy, tlusté plechy a dráty za tepla válcované, pásy a pruhy za studena válcované, hřebíky. Odolnost proti korozi běžná. Svařitelnost zaručená, pro tlusté plechy nad 13 mm zaručená podmíněná.

11 320 - Ocel nelegovaná, uhlíková. Vhodná k tažení a tváření za studena, k mírnému nebo hlubokému tažení, tvárná za studena i za tepla, k objemovému tváření, vhodná pro žárové pokovování a smaltování, profily L, U, Z, C, uzavřené: čtvercové, obdélníkové, L a T. Svařitelnost dobrá až zaručená všemi postupy v závislosti na druhu polotovaru.

11 343 - Neušlechtilá konstrukční ocel. Vhodná na součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk, tavně svařované namáhané staticky, popř. i mírně dynamicky. Drobné lisované výrobky jako přezky, stavební a nábytkové kování, přídržky, pravítka, žaluzie apod. Různé tvářené a svařované součásti, vložky, třmeny, rozpěrky, závlačky, oka, páky, rukojeti, čepy, svorníky, držáky apod. Trubky pro všeobecné účely. Vhodná ke svařování.

11 373 - Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk, i tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky. Vtokové objekty vodních turbín, výtoky, hradidlové tabule, stavidla, méně namáhaná svařovaná potrubí a odbočnice, jezové konstrukce. Dna plochá, klenutá a lemovaná, vysokotlaká. Vhodná ke svařování.

11 378 - Ocel nelegovaná, jakostní, jemnozrnná, konstrukční. Pro tenké plechy vhodné k lisování. Na svařované mostní a jeřábové konstrukce, strojní součásti, součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob s omezeným přetlakem a do teploty 300 °C. Svařitelnost zaručená.

11 425 - Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklých jakostí. Vhodná na svařované konstrukce, výkovky a výlisky součástí, u nichž se vyžaduje vyšší houževnatost, než vykazuje ocel 11 423. Pro polotovary: předvalky, široká ocel, tenké a tlusté plechy, pásy, tyče a tvarové tyče válcované za tepla, výkovky. Svařitelnost zaručená, zaručená podmíněná, dobrá, v závislosti na rozměrech a druhu polotovaru (nutný předehřev na teplotu min. 150 °C).

Výsledná volba materiálu rámové a křídelní základny:

Sestava výklopného ramene funguje v okenním kování a nevyžaduje žádné vyšší nároky na mechanické vlastnosti. Proto volím ocel konstrukční a nelegovanou. Z tabulky 3 zvolím ocel třídy 11. U této třídy oceli jsou zaručené mechanické vlastnosti a chemické složení. V tabulce 4 jsou uvedeny materiály vzhledem ke vhodnosti k přesnému stříhání, z těchto materiálů jsem vybral materiály třídy 11 a z těchto vybraných typů ocel 11 343, která splňuje dostatečně všechny požadavky.

3.3 Návrh střížného plánu [5]

Střížný plán jsem navrhnul s ohledem na co nejlepší využití plechového svitku. Výstřížky jsou umístěny vedle sebe a postup jednotlivých střížných operací je znázorněn na střížném plánu.

Střížný plán

viz příloha 3

1. operace - obstříhnutí tvaru
2. operace - obstříhnutí tvaru
3. operace - ražení prolisů
4. operace - děrování v základně rámové a prolis v základně křídelní
5. operace - lisování zahloubení otvoru základny rámové
6. operace - ohyb základny křídelní a základny rámové
7. operace - děrování v základně křídelní
8. operace - zahloubení otvorů v základně křídelní
9. operace - rozstřih a následný výpad výstřížků

Hodnoty na střížném plánu - $t = 3 \text{ mm}$

$E = 6 \text{ mm}$

$F = 8 \text{ mm}$

$\check{s} = F/2 + F/2 + k_d = 4 + 4 + 59 = 67 \text{ mm}$

kde: $\check{s}$ - šířka svitku

k_d - délka rozvinutých délek obou výstřížků + 1 mm

Pro stanovení délky kroku platí :

$k_k = E + d_v = 6 + 42 = 48 \text{ mm}$

kde: k_k – délka kroku;

d_v - délka výstřížku

3.4 Výběr tvářecího stroje

Výběr tvářecího stroje jsem provedl pomocí výpočtu potřebné tvářecí síly. Tato síla byla určena součtem střížné a ohýbací síly, k výpočtu střížné síly byl použit vzorec (5) a k výpočtu síly ohýbací vzorce (21), (22), (23).

Střížná síla

$$F_{Smax} = (1,15 \text{ až } 1,30) \cdot s \cdot \tau_{ps} = 1,30 \cdot 2,5 \cdot 365,4 \cdot 320 = 380 \text{ kN}$$

Ohybová síla

Do vztahu (21) pro základnu křídelní dosadíme:

$R_e = 272 \text{ MPa}$

ϵ_1 vypočteme ze vztahu:

$$\epsilon_1 = \frac{t}{2r_1 + t} = \frac{2,5}{2 \cdot 1,2 + 2,5} = 0,51$$

$b_1 = 42,6 \text{ mm}$
 $t = 2,5 \text{ mm}$
 $L_1 = 20 \text{ mm}$

$$F_{o1} = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \cdot b_1 \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot L_1} = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot 0,51) \cdot 42,6 \cdot 2,5^2 \cdot 272}{3 \cdot 20} = 4,123 \text{ kN}$$

Následně vypočítám sílu kalibrovací dle vztahu (22):

$$S_1 = 106,5 \text{ mm}^2$$

Měrný tlak pro kalibrování určím z [5], kde je specifikován pro ocel do $t=10 \text{ mm}$ v rozmezí 80 až 150 MPa. Výlisky mají tloušťku 2,5 mm, proto volím spodní hodnotu měrného tlaku 100 MPa.

$$p_1 = 100 \text{ MPa}$$

$$F_{k1} = S_1 \cdot p_1 = 106,5 \cdot 100 = 10,65 \text{ kN}$$

Výpočet potřebné ohybové síly dle vztahu (23):

$$F_{o1} = 4,123 \text{ kN}$$

$$F_{k1} = 10,65 \text{ kN}$$

$$F_{omax1} = F_{o1} + 1,3 \cdot F_{o1} + F_{k1} = 4,123 + 1,3 \cdot 4,123 + 10,65 = 20,133 \text{ kN}$$

Potřebná ohybovou sílu na ohyb základny křídelní činí 20,133 kN.

Nyní zopakuji stejný výpočet pro základnu rámovou.

$$R_e = 272 \text{ MPa}$$

ε_2 vypočtu ze vztahu:

$$\varepsilon_2 = \frac{t}{2r_2 + t} = \frac{2,5}{2 \cdot 0,5 + 2,5} = 0,71$$

$b_2 = 42,3 \text{ mm}$
 $t = 2,5 \text{ mm}$
 $L_2 = 27 \text{ mm}$

$$F_{o2} = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon_2) \cdot b_2 \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot L_2} = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot 0,71) \cdot 42,3 \cdot 2,5^2 \cdot 272}{3 \cdot 27} = 3,317 \text{ kN}$$

Následně vypočítám sílu kalibrovací dle vztahu (22):

$$S_2 = 105,75 \text{ mm}^2$$

$$p_2 = 100 \text{ MPa}$$

$$F_{k2} = S_2 \cdot p_2 = 105,75 \cdot 100 = 10,58 \text{ kN}$$

Výpočet potřebné ohybové síly dle vztahu (23):

$$F_{o2} = 3,317 \text{ kN}$$

$$F_{k2} = 10,58 \text{ kN}$$

$$F_{omax2} = F_{o2} + 1,3 \cdot F_{o2} + F_{k2} = 3,317 + 1,3 \cdot 3,317 + 10,58 = 18,209 \text{ kN}$$

Potřebná ohybová síla pro ohyb základny rámové vyšla 18,209 kN

Nyní sečtu potřebnou ohýbací sílu pro základnu křídelní a pro základnu rámovou a získám tím celkovou potřebnou ohýbací sílu.

$$F_{oc} = F_{omax1} + F_{omax2} = 20,133 + 18,209 = 38,342 \text{ kN}$$

Celková střížná síla vyšla 380 kN a ohýbací síla 38,342 kN.

V posledním kroku byl proveden samotný výběr tvářecí stroje. Při výběru budu vycházet ze strojního vybavení, které má k dispozici firma TOKOZ a. s. a z vypočtené střížné a ohýbací síly.

Strojní vybavení firmy TOKOZ a. s.:

		LENP 100	LE 250	LE 400
lisovací síla	kN	1000	2500	4000
rozměr pásu	mm	3 x 300	0,8 ÷ 4,2 x 500	0,8 ÷ 4,2 x 500
délka stolu	mm	1000	1120	1225
šířka stolu	mm	640	765	880
sevření	mm	380	360	470
max. počet zdvihů	1/min	60	45	40

Volím stroj LE 250. Podmínku překonání potřebné lisovací síly splňují všechny tři stroje, včetně menšího LENP 100, ale volbu jsem provedl vzhledem k rozměrům střížného svitku a velikosti nástroje.

3.5 Ekonomické zhodnocení výroby zadaných dílců

Tato část se zaměřuje na ekonomické hledisko výroby základny rámové a základny křídelní. Přesněji v této podkapitole budou rozebrány dvě možnosti výroby zadaných výlisků. První možnost bude výroba obou výlisků najednou v jednom nástroji. Druhou možností je výroba každého výlisku samostatně s vlastním nástrojem, přičemž by se výlisky v nástroji vyráběly, díky dostatečné šířce svitku, po dvou.

Abych mohl metody výroby ekonomicky vyhodnotit, musím určit orientační úplné vlastní náklady na díly a cenu nástroje. Úplné vlastní náklady výlisků jsem vzhledem k ceně materiálu, hodinové sazbě, ceně nástroje odhadl na hodnoty, jenž jsou vypsané v následujících řádcích. Cenu nástroje jsem odhadl dle kalkulačních standardů a cen podobných nástrojů.

Cena nástroje:
470 000 Kč

Vzhledem k podobnosti obou výlisků budu počítat se shodnou cenou nástroje v případě výroby dvou nástrojů.

Předpokládaný objem výroby za rok:
8 000 ks / rok

I.metoda výroby - společná výroba výlisek se společným nástrojem

Úplné vlastní náklady na díl při I.metodě výroby:

Základna rámová
19,10 Kč / 1 ks

Základna křídelní
19,80 Kč / 1 ks

II.metoda výroby - samostatná výroba výlisku, kdy má každý výlisek vlastní nástroj

Druhou metodou výroby by bylo dosaženo dvojnásobného výkonu, což by vedlo ke snížení úplných vlastních nákladů na díl o 1/3. Toto snížení jsem určil na základě kalkulačních vzorců firmy TOKOZ a. s. .

Úplné vlastní náklady na díl při II.metodě výroby:

Základna rámová
12,80 Kč / 1 ks

Základna křídelní
13,20 Kč / 1 ks

Ekonomické zhodnocení výhodnosti II. varianty výroby:

Úspora, která vznikne zavedením II. varianty:

Základna rámová : $N_r = 19,10 - 12,80 = 6,30$ Kč
Základna křídelní: $N_k = 19,80 - 13,20 = 6,60$ Kč
Celková úspora: $N_c = 6,30 + 6,60 = 12,90$ Kč
Roční úspora: $N_{rok} = 12,90 \cdot 8\,000 = 103\,200$ Kč
Návratnost: $N = 470\,000 / 103\,200 = 4,55$ roku

kde: N_r - úspora na základně rámové
 N_k - úspora na základně křídelní
 N_c - celková úspora na 2 kusy
 N_{rok} - celková roční úspora
 N - návratnost

Roční úspora, která vznikne zavedením výroby základny rámové a základny křídelní v samostatných nástrojích, činí 103 200 Kč. Cenu výroby druhého nástroje jsem odhadl na 470 000 Kč. Z uvedených čísel plyne, že náklady vynaložené na druhý nástroj se vrátí za 4,55 roku. Z marketingových studií firmy TOKOZ vyplývá postupný útlum prodeje oken z vnějším kováním, ke kterým jsou tyto díly určeny pro zakování sestavy výklopného ramene. Lze předpokládat postupný meziroční pokles

prodejů tohoto produktu a vypočítaná návratnost se bude prodlužovat. Z těchto důvodů volím variantu jednoho společného nástroje pro oba díly.

4. Závěr

V bakalářské práci jsem řešil technologický postup výroby rámové základny. Společně se základnou rámovou je vyráběna také základna křídelní, která je proto v této práci také řešena. V první části jsem provedl rešerši technologií plošného tváření, které jsou použity při výrobě zadaných výlisků. Postupně jsem se zabýval stříháním, děrováním, ohýbáním a kalibrováním. Následovala část technologického návrhu výroby zadaných dílců. Nejdříve jsem provedl popis základny rámové, základny křídelní a výklopného ramene, v němž jsou oba výlisky zamontovány. Následoval výběr materiálu. Zvolil jsem materiál 11 343. Tento materiál splňuje pevnostní požadavky kladené na dílce a je vhodný ke stříhání. Po výběru materiálu následoval návrh střížného plánu a poté výběr tvářecího stroje. K tomu abych tento výběr mohl provést, spočetl jsem střížnou sílu, která vyšla 380 kN, a celkovou ohýbací sílu, jenž byla určena na 38,342 kN. Dle velikosti střížné a ohýbací síly, velikosti nástroje a ocelového svitku volím stroj LE 250. Posledním bodem, který byl v této práci řešen, bylo ekonomické zhodnocení dvou typů výroby. Prvním typem výroby byla výroba základny rámové a základny křídelní společně v jednom nástroji. Druhým typem byla výroba každé základny samostatně, s nutností nákladů na nový nástroj. Po provedení ekonomické analýzy jsem zhodnotil typ výroby ve společném nástroji jako výhodnější, z důvodů předpokládané vysoké návratnosti nákladů do druhého nástroje.

Seznam použitých zdrojů

- [1] FOREJT, M., PÍŠKA, M. : *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- [2] ELFMARK, J. a kol. : *Tváření kovů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1992. 528 s. ISBN 80-03-00651-1
- [3] SRP, K. a kol. : *Základy lisování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 248 s. DT 621.979.07
- [4] MACHEK, V., VESELÝ, L., VESELÝ, M., VIŠŇÁK, J. : *Zpracování tenkých plechů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1982. 272 s. DT 621.98
- [5] DVOŘÁK, M. a kol. : *Technologie II*. 3. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7
- [6] FOREJT, M. : *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7
- [7] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. : *Technologie tváření Plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7
- [8] [Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření ČSN 42 0002:1976]. ONLINE. [2010-3-15]. dostupné na <http://www.ferona.cz/cze/katalog/oceli.php>
- [9] [Ocel třídy 10-11]. ONLINE. [2010-3-17]. dostupné na <http://www.poltech.cz/poltech/10-Normy-CSN-DIN-ISO/15-Vlastnosti-oceli-10-19>

Seznam použitých symbolů

Označení	Legenda	Jednotka
z	Střížná mezera	[mm]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
c	Součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
T_{ps}	Pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]
n	Součinitel otupení	[-]
s	Plocha původního průřezu ve střížné rovině	[mm ²]
a	Délka stříhu	[mm]
α	Úhel sklonu nožů	[°]
F_{Smax}	Maximální střížná síla	[N]
λ	Součinitel plnosti	[-]
F_{Steor}	Maximální teoretická stížná síla	[N]
h_s	Dráha při stříhání	[mm]
F_s	Střížná síla	[N]
l	Délka stříhu	[mm]
R_O	Poloměr ohybu	[mm]
z_z	Součinitel ztenčení	[-]
z_r	Součinitel rozšíření původního průřezu	[-]
b	Šířka výchozího materiálu	[mm]
b_1	Šířka materiálu po ohnutí	[mm]
x	Součinitel posunutí neutrální plochy	[mm]
l_i	Délka přímého úseku	[mm]
l_{oi}	Délka ohnutého úseku	[mm]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
θ	Sevřený úhel ramen ohnuté součásti	[°]
σ_{ps}	Střední přirozený přetvárný odpor	[MPa]
L_v	Vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
L_u	Vzdálenost mezi opěrou ohybnice a středem poloměru ohybu	[mm]
β	Úhel odpružení	[°]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
k	Součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_O/t	[-]
R_e	Mez kluzu ohýbaného plechu	[MPa]
ε	Mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken	[-]
L	Vzdálenost podpor ohýbadla	[mm]
S	Kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku	[mm ²]
p	Měrný tlak pro kalibrování	[Pa]
F_O	Ohýbací síla	[N]
F_k	Kalibrovací síla	[N]
σ_o	Pevnost v ohybu	[MPa]
δ	Tažnost	[%]
W_o	Modul průřezu v ohybu	[mm ³]
m^*	Opravný koeficient	[-]
F_{omax}	Maximální síla při ohýbání	[N]
h	Pracovní zdvih ohýbadla	[mm]
ε_c	Mezní prodloužení	[-]
m^*	Opravný koeficient	[-]

$\dot{S}$	Šířka pásu	[mm]
k_d	Délka rozvinutých délek obou výstřížků	[mm]
k_k	Délka kroku	[mm]
d_v	Délka výstřížku	[mm]
N_r	Úspora na základně rámové	[Kč]
N_k	Úspora na základně křídelní	[Kč]
N_c	Celková úspora na 2 kusy	[Kč]
N_{rok}	Celková roční úspora	[Kč]

Seznam příloh

1. Výkres součásti „Základna rámová“
2. Výkres součásti „Základna křídelní“
3. Střížný plán
4. CD - ROM - elektronická verze práce