

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI DVEŘNÍHO ZAMYKÁNÍ SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

MANUFACTURING OF PART OF DOOR LOCK BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR NEČAS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie Akademický
rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Nečas

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Výroba součásti dveřního zamykání sdruženým nástrojem

v anglickém jazyce:

Manufacturing of part of door lock by compound tool

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby součásti dveřního zamykání garáže. Tvarová součást je opatřena otvory jednoduchých tvarů. Výchozím polotovarem je plech o tloušťce 1,5 mm. Zadaná součást bude vyráběna kombinací postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání. Návrh vhodné technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, volba stroje. Návrh sdruženého postupového nástroje pro výrobu zadané součásti. Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby. Závěr.

Seznam odborné literatury:

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0-07-146271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 19.11.2013 13:19

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

NEČAS Petr: Výroba součásti dveřního zamykání sruženým nástrojem

Akademická práce, vypracovaná v rámci inženýrského studia, předkládá návrh optimální výroby západky zámku garážových vrat, jehož výchozím polotovarem je plech o tloušťce 1,5 mm z oceli S275JR. Zhodnocením problematiky možných metod výroby, s přihlédnutím na požadovanou roční sérii 500 000 ks, byla zvolena výrobní technologie součásti sruženým postupovým nástrojem, a to kombinací stříhání a ohýbání. Pro tuto technologii bylo navrženo konstrukční řešení nástroje a navržena automatická výrobní linka v čele s výstředníkovým klikovým lisem ŠMERAL S160, ve kterém je nástroj upnut. Měřítkem finanční náročnosti výroby zadané součásti je ekonomické zhodnocení, kdy je v současném stavu investice do dané technologie vratná při výrobě 179 186 ks.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, postupový nástroj, západka dveřního zámku, ocel S275JR

ABSTRACT

NEČAS Petr: Manufacturing of part of door lock by compound tool

Academic thesis, drawn up within the framework of engineering studies, presents a proposal optimal production of garage door lock striker. The part is manufactured from steel sheet S275JR of 1.5 mm thickness. By the analysis of its possible methods of production, with regard to the required annual series of 500,000 pieces, was chosen technology of manufacturing the part in the compound tool by blanking and bending processes. For these technologies was designed solution of the compound tool and automatic production line with the eccentric crank press SMERAL S160, where is the compound tool fixed. The measure of financial performance of manufacturing the part is economical assessing. In the current state is investment return in the production of 179,186 pieces of the parts.

Keywords: blanking, bending, compound tool, door lock striker, steel S275JR

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEČAS, Petr. *Výroba součásti dveřního zamykání sdruženým nástrojem*. Brno, 2014. 59 s., 5 výkresů, 6 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. 5. 2014

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vážené paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a Ing. Davidu Vičarovi za pomoc při realizaci prototypu zadané součástky na 3D tiskárně.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	11
1.1 Přehled možných metod výroby	12
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	14
2.1 Proces stříhání	14
2.2 Napjatost a deformace při stříhání	15
2.3 Způsoby stříhání	15
2.4 Síly při stříhání	18
2.5 Snížení velikosti střížné síly	19
2.6 Střížná práce	20
2.7 Střížná vůle	20
2.8 Přesnost a jakost střížné plochy	21
2.9 Střížný odpor	21
2.10 Střížné nástroje	22
2.11 Těžiště střížných sil	27
2.12 Uspořádání výstřižků na pásu plechu a nástřihový plán	28
2.13 Technologičnost výstřižků	29
3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	31
3.1 Napětí a deformace při ohýbání širokých pásů plechu	32
3.2 Odpružení při ohýbání	32
3.3 Maximální a minimální poloměr při ohýbání	33
3.4 Rozvinutá délka plechu a poloha neutrální osy	34
3.5 Ohybová síla a práce	35
3.6 Ohybové nástroje	35
3.7 Technologičnost ohýbaných součástí	36
4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	38
4.1 Rozměr polotovaru	38
4.2 Varianty uspořádání výstřižků na páse plechu	39
4.3 Varianty výrobních postupů	40
5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	43
5.1 Výpočty pro technologii stříhu	43
5.2 Výpočty pro technologii ohýbání	45
5.3 Celková lisovací síla	47
5.4 Určení polohy stopky	47
5.5 Určení výrobních rozměrů aktivních částí nástroje	49

6	NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE	50
6.1	Volba stroje.....	50
6.2	Výrobní linka.....	51
7	POPIS NÁSTROJE	52
8	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	53
8.1	Přímé náklady	53
8.1.1	<i>Náklady na materiál</i>	53
8.1.2	<i>Náklady na mzdy</i>	55
8.1.3	<i>Náklady na energie</i>	56
8.2	Nepřímé náklady.....	56
8.2.1	<i>Náklady na nástroj</i>	57
8.3	Celkové náklady	57
8.4	Cena součásti	58
8.5	Bod zvratu (break even point)	58
9	ZÁVĚRY	59

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

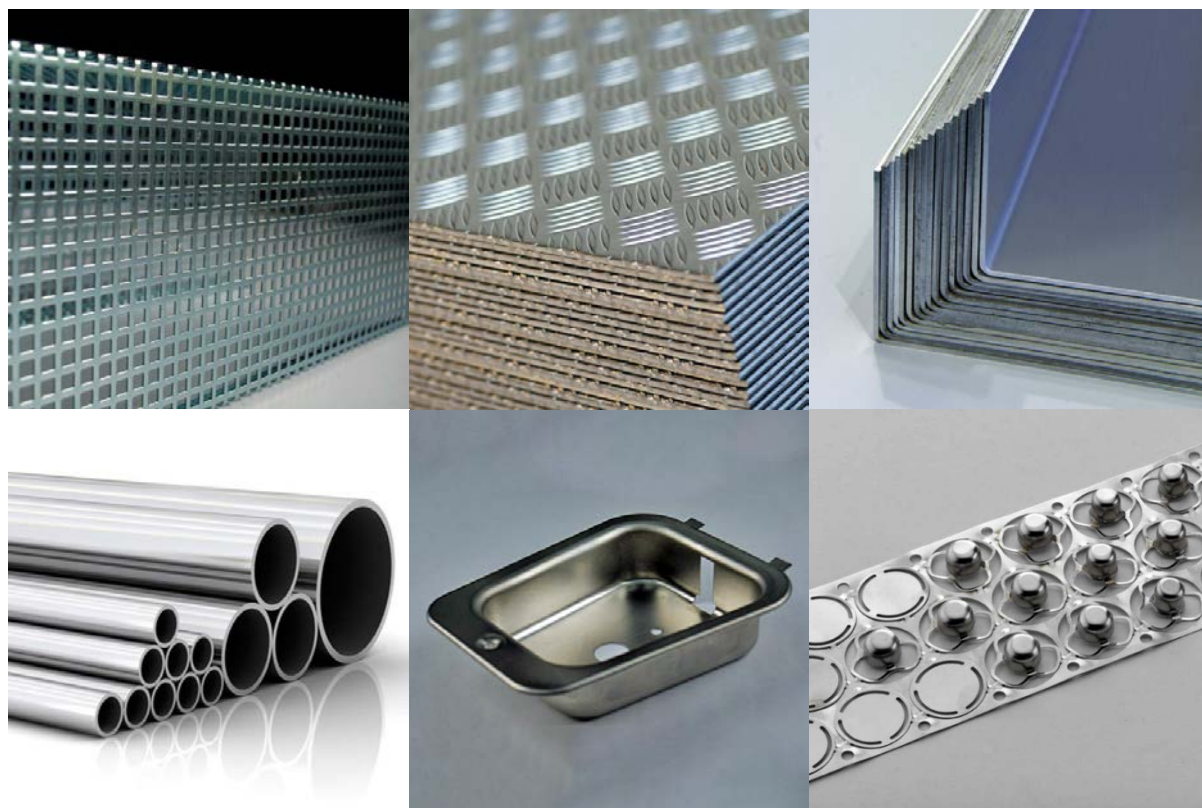
Tváření se řadí k historicky nejstarším a podnes nejrozšířenějším metodám zpracování materiálů a polotovarů v průmyslové výrobě. Základním principem těchto metod je využití plastičnosti daného materiálu, kdy za pomoci působení vnějších sil dochází ke změně jeho tvaru a vlastností. Právě proto je tváření ve své současné podobě svěbytnou technickou a technologickou disciplínou s rozmanitými možnostmi využití, přirozeně spojujícími řadu tradičně blízkých, ale rovněž svou podstatou velmi odlišných vědecko-technických oborů.

Dlouhodobě rozvíjené metody tváření jsou v případě průmyslové produkce její neodmyslitelnou součástí jak ve stadiu návrhu, tak zavádění výroby základních, doplňujících i zvláštních prvků. Nežádka se dnes proto v jediném konečném výrobku setkává hned několik součástí vzniklých rozličnými formami tváření.

Při bližším studování historie metod tváření je zřejmé, že průběžně sílící pozice ve strojní výrobě je odvislá především od poznatků materiálového inženýrství. Tyto poznatky vedou vědce a konstruktéry v celé řadě odvětví ke stále novým řešením, skýtajícím nejen čistě technický, ale především kýžený ekonomický a následně produkční potenciál.

Soudobé tváření je souborem mnoha metod a procesů, z nichž nezanedbatelná část má bohatou tradici již od dob průmyslové revoluce. K nim se řadí i dodnes hojně využívané metody stříhání a ohýbání. V případě prvé z nich je předmětem přesné dělení materiálů a zvyšování jejich prostorové flexibility; v případě druhé je podstatou tvarování ve dvou až třech rovinách při zohlednění vlastností konkrétního materiálu, vedoucího nejen k požadované formě, ale rovněž ke zvýšení některých důležitých konstrukčních parametrů, jakým je například pevnost.

Právě na první pohled protikladná kombinace relativně jednoduchých a nenáročných procesů za současného dosažení praktických a ekonomicky příznivých výsledků je nosným tématem této diplomové práce.



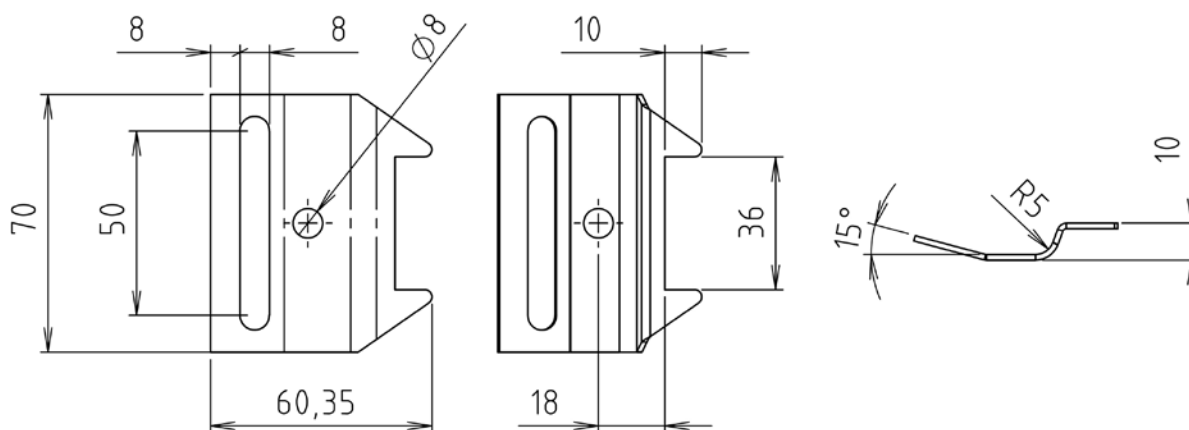
Obr. 1 Součásti vyráběné tvářením [9], [18], [21], [32], [41], [45]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [8], [33], [36]

Zadanou součástí, pro níž je v této diplomové práci navrhován postup výroby, je západka zámku garážových vrat (obr. 2, obr. 3) vyráběná v sérii 500 000 ks za rok. Tato západka patří ke standardnímu zabezpečovacímu systému garážových vrat bez pohonu. Na vnitřní stranu vrat se na svislé pojezdové dráhy namontují narážky a lankem se propojí se západkami a vnitřním madlem. Při uzavírání vrat najede západka do narážky, čímž se účinně znemožní vysunutí uzavřených vrat z vnější strany. Z té jsou vrata obvykle doplněna propojeným zámkem s cylindrickou vložkou.

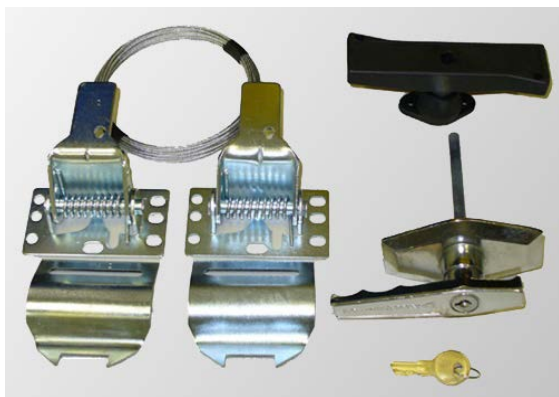


Obr. 2 Vizualizace zadané součásti



Obr. 3 Základní rozměry zadané součásti

Západky garážových vrat jsou již v různých variantách na trhu vyráběny a prodávány, a to v sadách, či samostatně (obr. 4, obr. 5).



Obr. 4 Zámková sada garážových vrat [44]



Obr. 5 Západka zámku garážových vrat [1]

□ *Materiál zadané součástky*

Zadaná součást bude vyráběna ze svitku ocelového plechu o tloušťce 1,5 mm z materiálu S275JR. Tato nízkouhlíková ocel je vhodná pro všeobecné použití ve strojírenství, nachází široké uplatnění u konstrukčních aplikací, zejména pak u svařovaných konstrukcí, výkovek a výlisků, u nichž se požaduje vyšší houževnatost. V průmyslu je dodávána jako válcovaná za tepla z nelegované oceli. V české normě odpovídá oceli 11 425, pro niž se jako antikoroziční úprava doporučuje žárové zinkování. Přehled mechanických a chemických vlastností oceli S275JR je uveden v tabulce níže (tab. 1).

Tab. 1 Přehled mechanických a chemických vlastností a značení oceli S275JR [8]

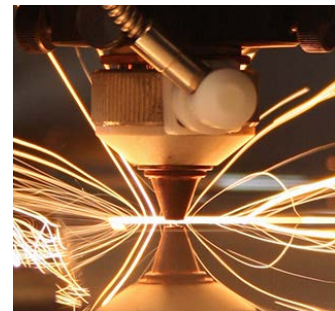
Materiál		Ocel S275JR		
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tažnost A ₁₀ [%]	Modul pružnosti E [GPa]
	412 – 510	226	21	206
Chemické vlastnosti	Uhlík – C [%]	Fosfor – P [%]	Síra – S [%]	
	max. 0,22	max. 0,050	max. 0,050	
Značení	ISO	EN	ČSN	
	E275	S275JR	11 425	

1.1 Přehled možných metod výroby [7], [27], [34], [35], [36]

V praxi je velmi důležitým hlediskem optimální technologický a hospodářsko-ekonomický postup výroby. Západku zámku garážových vrat lze vyrábět mnoha technologiemi. Níže jsou uvedené vybrané metody, kterými lze zhotovit výchozí přístřih (rozvinutý tvar). Ten bude následně ohýbán do požadovaného tvaru prostřednictvím ohýbacího nástroje.

□ *Řezání laserovým paprskem*

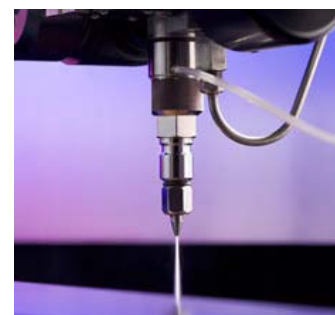
Laserový světelný paprsek o vysokém výkonu vychází ze zdroje a rezonátoru. Je veden skrz soustavu polopropustných a nepropustných zrcadel a prostřednictvím optiky řezací hlavy je fokusován do požadovaného místa řezu. Tam dochází k natavení a shoření, resp. odpaření materiálu. K řezání se nejčastěji používají plynové CO₂ lasery se středním výkonem 15 kW (obr. 6), kterými je možno řezat konstrukční oceli až do tloušťky 20 mm.



Obr. 6 Řezání laserovým paprskem [6]

□ *Řezání vodním abrazivním paprskem*

Vodní paprsek (obr. 7) je skrz vysokotlaké zařízení (stlačení vody až na 415 MPa) veden do směšovací komory. Zde dochází k promísení vody s abrazivním materiálem. Takto obohacená stlačená směs dále pokračuje do řezací hlavy, která provádí řez tryskou o průměru 0,8 až 1,5 mm. Abrazivní vodní paprsek má dostatek energie pro řez různorodých materiálů od pevných, křehkých až po houževnaté, tj. většina kovů, polymery, kámen, sklo atd.

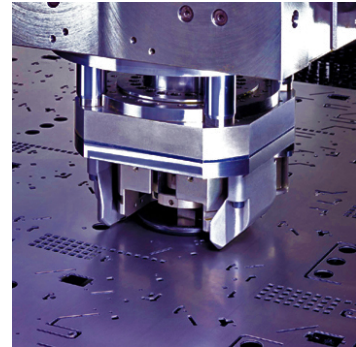


Obr. 7 Řezání vodním abrazivním paprskem [43]

Hlavními výhodami výše uvedených metod jsou vysoká rychlost, přesnost a minimální provozní náklady. Jako nevýhody se jeví značné finanční náklady při pořízení stroje, nutnost zavedení CNC technologie a požadavky na vyšší kvalifikaci obsluhy. Další nevýhodou je, že následný ohyb by musel být realizován na dalším pracovišti v samostatném ohybovém nástroji.

□ *Vysekávání*

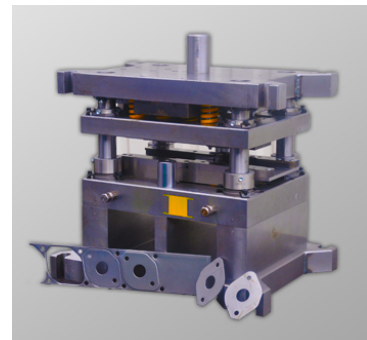
Moderní vysekávací stroje (obr. 8) umožňují komplexní trojrozměrné obrábění tabulí plechu v rozsahu tlouštěk 0,3 až 8 mm. Vysekávací hlavy se mohou pohybovat kolem své osy o 360°, čímž je zefektivněna a urychlena výroba, i proto lze vyrábět tvarově složitější dílce. Výhodou této technologie tedy je, že lze součást vyrábět na jednom stroji, dále možnost rychlé změny nástroje. Nevýhodou však zůstává nutnost programování, s ním spojené značné nároky na přípravu, vyšší kvalifikace obsluhy a pořizovací cena stroje.



Obr. 8 Vysekávací lis [17]

□ *Stříhání a přesné stříhání*

U běžného stříhání je stříh proveden střížníkem a střížnicí (obr. 9). Střížná plocha materiálu může být po vystřížení mírně zkosena, u silnějších plechů dochází ke vzniku ostřin. Dosahovaná přesnost u běžného stříhání IT 12 až 15 naprosto dostačuje požadavkům na výrobu zadané součásti. Při přesném stříhání oproti běžnému dochází navíc k sevření materiálu přidržovačem a vtažení nátláčné hrany do materiálu mimo střížnou plochu, čímž je zabráněno jeho posuvu a dochází tak k přesnému a kvalitnímu stříhu. Operace ohybu součásti je provedena v ohybovém nástroji.



Obr. 9 Střížný nástroj [23]

Jak běžné, tak přesné stříhání lze kombinovat na tzv. „sdruženém postupovém nástroji“, s jinou technologií, např. s požadovaným ohybem. Zmenší se tím jinak nutný počet dalších pracovišť, což příznivě vede ke snížení celkových časových, manipulačních a v neposlední řadě i finančních nároků. Dalším pozitivem je, že v případě této spojené technologie odpadají vysoké kvalifikační požadavky na obsluhu strojů (lisů), které jsou obvykle součástí většiny technických parků výrobních firem.

□ *Volba vhodné technologie výroby*

Z výše uvedených možných metod výroby západky zámku garážových vrat se vzhledem k technologickým, finančním a kvalifikačním nárokům jeví jako optimální metoda výroby ve sdruženém postupovém nástroji. Tato zvolená metoda vyhovuje i všem požadavkům na přesnost, drsnost a jakost střížné plochy a proto je na tuto problematiku v následující kapitole zpracována literární studie.

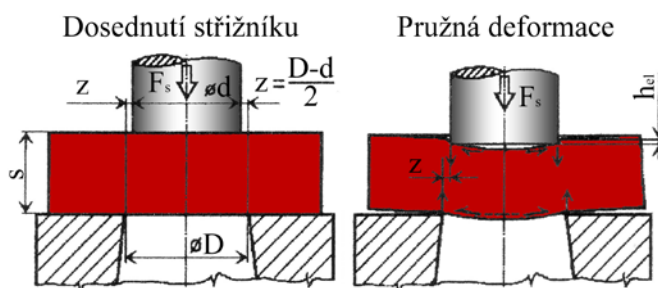
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

Stříhání je základní technologický proces, kdy vlivem smykového namáhání, vyvolaného relativním pohybem dvou břitů, dochází k porušení materiálu. Děje se tak postupně nebo současně podél křivky stříhu.

2.1 Proces stříhání [14], [24], [31], [34]

Při technologii stříhání jsou do materiálu zatlačovány břity nožů dvojicí sil F_s tak, aby vyvolaly smykové napětí vedoucí k oddělení materiálu v tzv. „střížné rovině“. Podél této střížné roviny se dané břity pohybují. Střížná síla F_s má v průběhu tohoto procesu vzrůstající tendenci a maximální hodnoty dosahuje právě v samotném momentě oddělení materiálu. Poté její hodnota klesá k nule. Průběh stříhání plechového materiálu lze rozdělit do tří po sobě jdoucích fází, ty jsou znázorněny na obr. 10 až 12.

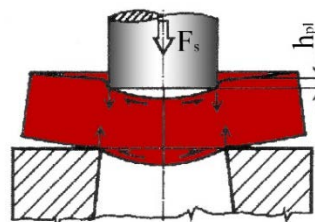
- I.** *Pružná fáze* – deformace jsou pružné a napětí v kovu nepřesahují mez kluzu R_e . Hloubka elastického vniku obvykle bývá $h_{el} = (5 \text{ až } 8 \%)s$ a závisí na mechanických vlastnostech materiálu. Mezi hranami střížníku a střížnice vyvolávají dvojice sil nežádoucí ohyb.



Obr. 10 Průběh stříhání – I. fáze [14]

- II.** *Tvárná fáze* – deformace jsou trvalé a napětí ve směru vniku přesahuje mez kluzu R_e . Dále roste, až dosáhne maxima pevnosti daného kovu ve stříhu (smyku) – největší smykové deformace začínají u ostří břitů a směřují po kluzných čarách. Hloubka plastického vniku je obvykle $h_{pl} = (10 \text{ až } 25 \%)s$, dle druhu kovu a jeho mechanických vlastností.

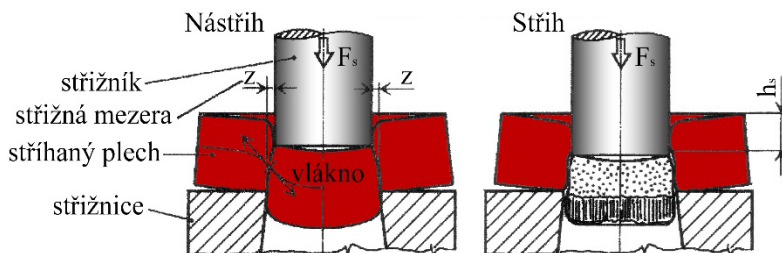
Plastická deformace $\sigma > \sigma_k$



Obr. 11 Průběh stříhání – II. fáze [14]

- III.** *Fáze porušení (usmyknutí)* – napětí dosahuje meze pevnosti ve stříhu τ_s , vznik tzv. „nástrihu“ tj. mikroskopických a makroskopických trhlin, které směřují po kluzných plochách a způsobují oddělení jedné části materiálu od druhé. Rychlost vzniku a postupu trhlin závisí na mechanických vlastnostech kovu a velikosti střížné vůle. Při stříhání s normální vůlí se trhliny šíří tak, že se v okamžiku stříhu setkají. Na střížné ploše plechu lze pak zřetelně rozeznat dvě pásma: úzký třpytivý pásek, příslušející tvárné fázi, a širší mdlý (matový) pásek smyku.

Trvalá deformace u stříhaného materiálu způsobuje v okolí střížné plochy zpevnění a snížení tvárnosti. Toto zpevnění lze následně eliminovat tepelným zpracováním (žihání), nebo tiskovým obráběním.

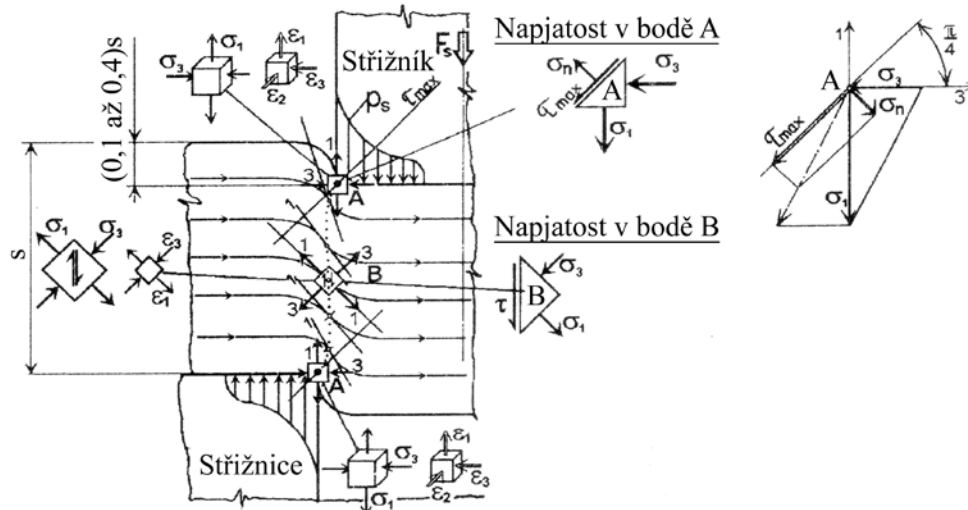


Obr. 12 Průběh stříhání – III. fáze [14]

2.2 Napjatost a deformace při stříhání [14], [24], [34]

Stav napjatosti pro volné stříhání znázorňuje schéma na obr. 13. V těsné blízkosti střížné hrany, v bodě A, je největší hlavní tahové napětí σ_1 , pro které platí vztah (2.1).

$$\sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.1)$$

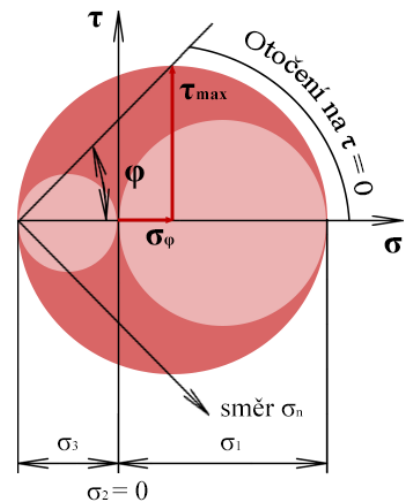


Obr. 13 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání [14]

Jak ukazují praktické zkoušky, hlavní tlakové napětí σ_3 představuje přibližně jednu polovinu hlavního tlakového napětí σ_1 a platí tedy, že $\sigma_3 = -\sigma_1/2$ a τ_{max} bude odpovídat vztahu (2.2).

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2} \sigma_3 = \frac{3}{4} \sigma_1 \text{ [MPa]} \quad (2.2)$$

Při stříhání širších plechů předpokládáme rovinný stav napjatosti ($\sigma_2 = 0$). Prostorový stav deformace nastává v bodě A tehdy, když hodnoty složky deviatoru napětí ($D\sigma_2 = \sigma_2 - \sigma_3$) a středního napětí jsou nenulové. Z Mohrových kružnic (obr. 14) a vektorového součtu vyplývá, že kladná normálová složka σ_n působí kolmo na rovinu maximálního smykového napětí a napomáhá tak v šíření a rozevirání trhlin po nastřížení plechu. Charakteristická střížná plocha ve tvaru písmene „S“ je dána změnami orientací křivosti vrstevnic plechu, směřující od střížné hrany ke středu, a orientací natočení roviny τ_{max} . Její geometrie a jakost závisí také na vlastnostech daného materiálu. V bodě B platí, že $\sigma_1 = |-\sigma_3|$, jsou-li splněny podmínky prostého smyku ($\sigma_2 = 0$) a směrem od středu střížné plochy se pak v tomto bodě mění poměr mezi hlavními napětími.



Obr. 14 Mohrovy kružnice napjatosti [14]

2.3 Způsoby stříhání [10], [20], [24]

Způsoby stříhání lze rozdělit dle několika kritérií:

- Použitá technologie: stříhání objemové a plošné
- Teplota: stříhání za tepla a studena
- Typ nože: rovnoběžné, šikmé, kotoučové, na profily a tyče

Způsoby stříhání tabulového materiálu různými typy nožů jsou uvedeny v tab. 2. Dále můžeme metody stříhání dle specializace dělit na:

□ **Běžné stříhání**

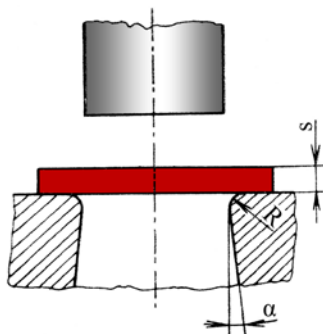
Jedná se o konvenční stříhání, kdy je stříh proveden střížníkem a střížnicí. Vyznačuje se otevřenou čarou stříhu, na střížné ploše materiálu však může dojít ke vzniku mírného zkosení, či ostřin. Do běžného stříhání řadíme i postupové stříhání.

□ **Přesné stříhání**

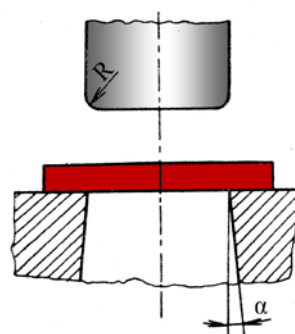
Jsou to všechny metody stříhání, které se pozitivně projevují na jakosti povrchu střížné plochy a rozměrové přesnosti stříhaných dílců. Kvalita výstřížku úzce souvisí se střížnou vřelí, jelikož se ohybové namáhání se zmenšující se vřelí mění na téměř čistý smyk. Výroba výstřížků přesným stříháním lze rozdělit např. na:

▪ **Stříhání bez vřele**

Jedna z funkčních částí nástroje (střížník nebo střížnice) je vyrobena bez břitu, se zaoblenou hranou střížné strany. Druhá část je nabroušena. Na obr. 15 je schéma pro stříhání s kvalitním povrchem díry a na obr. 16 je schéma pro stříhání kvalitním povrchem výstřížku.



Obr. 15 Schéma pro stříhání s kvalitním povrchem díry [20]



Obr. 16 Schéma pro stříhání s kvalitním povrchem výstřížku [20]

▪ **Stříhání s přidržovačem**

Použití přidržovače při stříhání do jisté míry eliminuje ohýbání okrajů výstřížků a zlepšuje i povrch střížných ploch. Přidržovače zajišťují tlakovou složku napjatosti, což se s kombinací tahové složky napjatosti střížníku pozitivně projevuje v celkovém stavu napjatosti v místě stříhu.

▪ **Stříhání s nátláčnou hranou**

Nátlačná hrana, obdobně jako přidržovač, způsobuje navíc tlakovou složku napjatosti, dochází tak k potřebnému přiblížení se čistému smyku. Nátlačná hrana se prolisuje v oblasti střížného obvodu, kde dojde ke změně napjatosti ve střížné ploše na trojosou. Odpruženým spodním lisovníkem je pak zajištěn potřebný protitlak.

▪ **Reversní stříhání**

Princip reversního stříhání je založen na sevření polotovaru tak, že tahové složky napjatosti jsou nulové.

□ **Speciální způsoby stříhání**

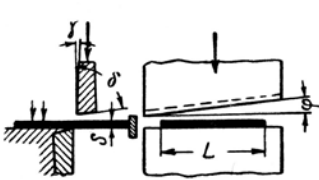
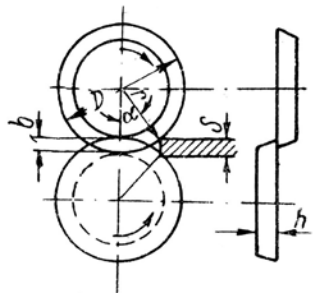
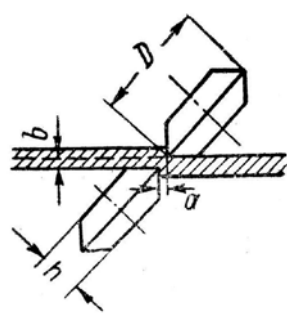
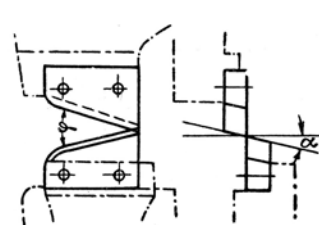
▪ **Stříhání pomocí gumy**

Pro výstřížky z tenkého plechu, nástrojem bývá ocelová deska shodného tvaru, jako je obrys finálního výrobku. Protinástrojem jsou pryžové desky. Lze provádět operace jako ostříhování, děrování otvorů, sloučené operace ostříhování a děrování.

▪ Stříhání se zvýšenou rychlostí

Princip je založen na zmenšení objemu s vyčerpanou plasticitou na minimum, střížné plochy jsou rovinné a kolmé vlivem velmi blízkých drah trhlin od střížných hran. Proces probíhá při kritických rychlostech – u uhlíkové oceli 3 až 5 m.s⁻¹.

Tab. 2 Způsoby stříhání tabulového materiálu [34]

Druh nůžek	Schéma	Pracovní nástroje	Hlavní použití
Pákové a tabulové		<p>Úhel sklonu nože pro tabulové nůžky: $\varphi = 2$ až 6°; pro pákové nůžky $\varphi = 7$ až 12°; Úhel stříhu $\delta = 75$ až 85°; Úhel hřbetu $\gamma = 2$ až 3°; Vůle (mezera) mezi noži: (0,02 až 0,04)s</p>	<p>Stříhání tabulového materiálu na pásy nebo kusového na polotovary. Tloušťka stříhaného mat. až 40 mm.</p>
Kotoučové (s rovnoběžnými noži)		<p>Úhel záběru $\alpha < 14^\circ$ záběr nožů $b = (0,2$ až $0,3)s$; Rozměry nožů: pro $s > 10$ mm $D = (25$ až $30)s$ $h = 50$ až 90 mm $s < 3$ mm $D = (35$ až $50)s$ $h = 10$ až 25 mm</p>	<p>Stříhání tabulí na pásy, stříhání kruhových polotovarů s výběhem na okraj lisu. Tloušťka stříhaného mat. až 30 mm.</p>
Kotoučové (se skloněnými noži)		<p>Vůle $a \leq 0,2s$ Vůle $b \leq 0,3s$ Rozměry nožů: pro $s > 10$ mm $D = 12s$ $h = 40$ až 60 mm $s < 5$ mm $D = 20s$ $h = 10$ až 15 mm</p>	<p>Vystříhování polotovarů s kruhovým a zakřiveným obrysem. Tloušťka stříhaného mat. až 20 mm.</p>
Vibrační (kmitavé)		<p>Počet zdvihů 2000 až 2500 za min. Zdvih nože 2 až 3 mm. Úhel čela $\alpha = 6$ až 7°; Úhel sklonu nože $\varphi = 24$ až 30°</p>	<p>Stříhání zakřivených polotovarů podle orýsování nebo podle šablon.</p>

■ Celková střižná síla

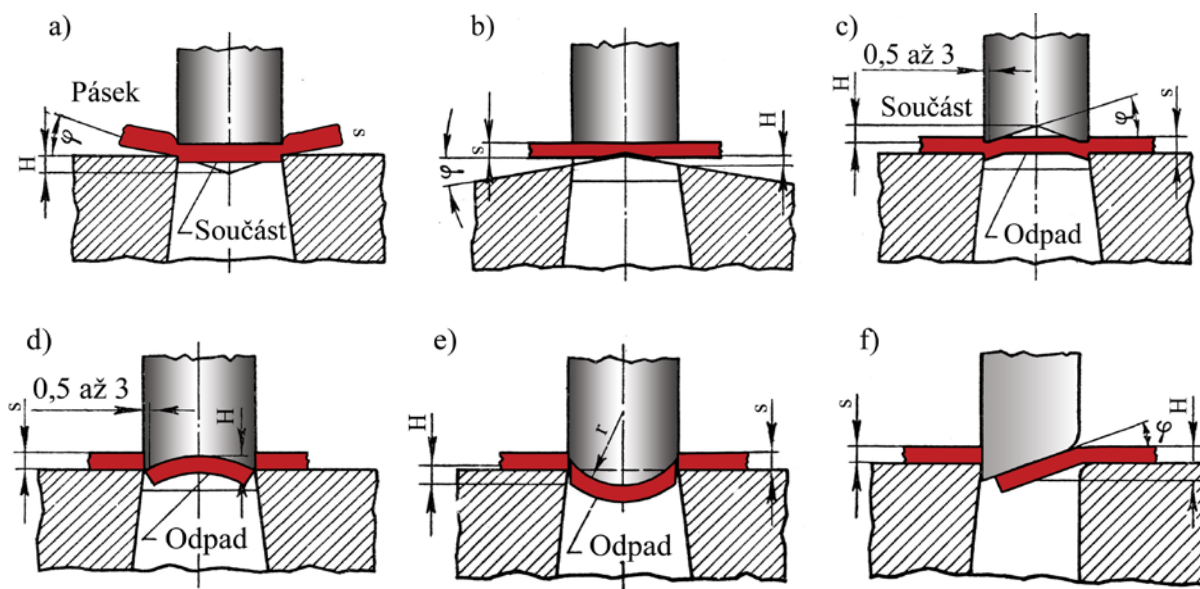
Velikost celkové střižné síly určíme jakou součet dílčích sil dle vztahu (2.6)

$$F_{CS} = F_S + F_u + F_v \text{ [N]} \quad (2.6)$$

kde je F_S ... střižná síla [N]
 F_u ... stírací síla [N]
 F_v ... síla pro vysunutí výstřižku ze střižnice [N]

2.5 Snížení velikosti střižné síly [24], [34]

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.4, je znalost střižné síly jedním ze základních parametrů při volbě stroje. V praxi můžeme požadovat její snížení s ohledem na volbu strojního vybavení, kde bude daná součást vyráběna. Snížení velikosti střižné síly lze provést technologickými úpravami střižníku a střižnice (obr. 18), či použitím odstupňovaných střižníků (obr. 20).

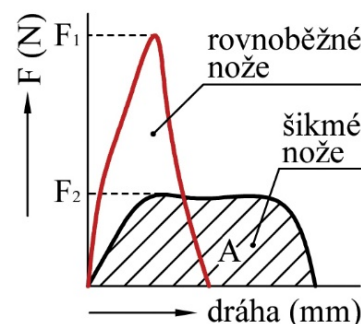


(a, b – pro vystřihování; c, d, e – pro děrování; f – pro nastřihování)

Obr. 18 Různé druhy zkosení břitů [34]

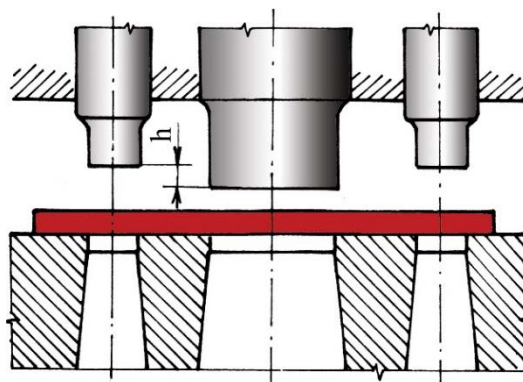
Úprava geometrie střižníku a střižnice se projeví ve výpočtovém vztahu střižné síly. Je v něm zohledněn konstrukční úhel, který bývá v rozmezí 5 až 8°. Porovnání průběhu střižné síly a střižné práce u rovnoběžných a šikmých nožů představuje graf na obr. 19.

V případě děrování je konstrukčně výhodnější použití rovné střižnice a zkoseného střižníku. Vyráběná součást tak zůstává rovinná a odpad není zdeformovaný. Pro prostřihování složitějších tvarů není použití střižadel se zkosenými hranami vhodné.



Obr. 19 Porovnání průběhu střižné síly a střižné práce [20]

Pro vystřihování většího množství otvorů nebo více součástí najednou na jeden zdvih stroje je výhodnější použití tzv. „odstupňovaných střížníků“ (obr. 20). Celková střížná síla je pak součtem jednotlivých střížných sil daných střížníky a k aplikaci na materiál dochází postupně.



Obr. 20 Stupňovité uspořádání střížníků [15]

2.6 Střížná práce [20], [31]

Velikost práce potřebné pro stříh je dána jako plocha pod křivkou průběhu střížné síly v závislosti na dráze nástroje (obr. 22). Matematickou funkcí však nelze reálný průběh popsat, proto se tento průběh nahrazuje eliptickou závislostí. Jednotlivé poloosy elipsy pak odpovídají střížné síle a zatlačení břitu do materiálu. Velikost střížné práce určíme dle vztahu (2.7).

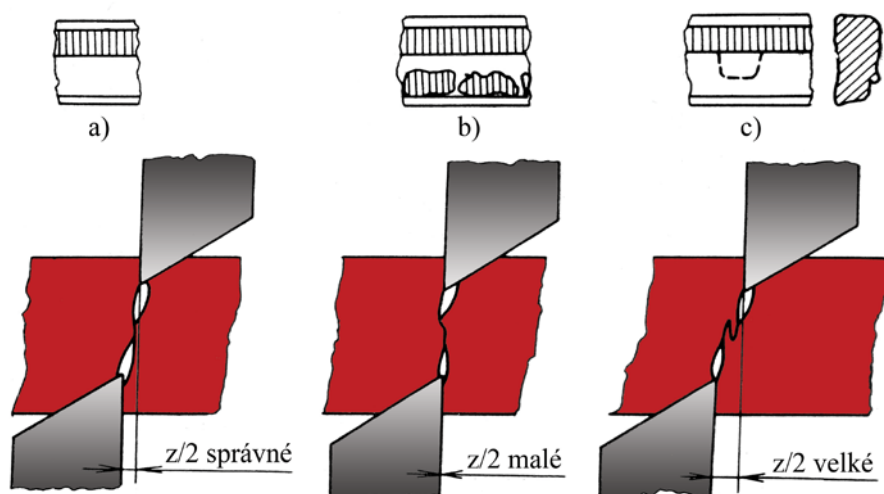
$$A = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot s}{1000} \text{ [J]} \quad (2.7)$$

kde je

λ ...	součinitel plnosti (0,4 až 0,7) [-]
F_s ...	střížná síla [N]
s ...	tloušťka materiálu [mm]

2.7 Střížná vůle [20], [24]

Vzdálenost mezi pracovní částí střížníku a střížnicí je definována jako střížná vůle. Její optimální nastavení je pro operaci stříhání velmi důležité, jelikož střížná vůle zohledňuje činitele, jako jsou požadovaná jakost střížné plochy, velikosti střížné síly a opotřebení nástroje. Při určení velikosti střížné vůle – vzorce (2.8) a (2.9) – se přihlíží k tloušťce stříhaného materiálu (obvykle 2 až 10 % z tloušťky materiálu) a pevnosti ve stříhu. Při správném nastavení střížné vůle dochází minimální střížnou silou ke vhodnému usmyknutí střížné plochy (obr. 21). Veliká vůle způsobuje ohyb na krajích materiálu a vznik kuželového profilu stříhaných otvorů, malá naopak zhoršuje jakost výstřížků a snižuje trvanlivost nástroje. Vlivem opotřebení se během provozu nástroje střížná vůle mění, je tedy třeba dbát na správné seřízení nástroje; nové nástroje jsou konstruovány s nejmenší možnou přípustnou vůlí.



a – optimální střížná vůle; b – malá střížná vůle; c – velká střížná vůle

Obr. 21 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [24]

Velikost střížné vůle určíme dle vztahů (2.8) a (2.9)

- pro plechy do $s \leq 3$ mm

$$z = 0,32 \cdot C \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

- pro plechy $s \geq 3$ mm

$$z = 2 \cdot (1,5s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

kde je C ... součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí (0,005 až 0,035) [-]
 s ... tloušťka materiálu [mm]
 τ_s ... mez pevnosti ve stříhu [MPa]

Pro dosažení minimálních střížných sil jsou pro výpočet voleny vyšší hodnoty součinitele C ; k dosažení vyšší jakosti střížné plochy jsou pro výpočet voleny nižší hodnoty součinitele C .

2.8 Přesnost a jakost střížné plochy [14], [24]

Přesnost a jakost střížné plochy ovlivňuje mnoho činitelů, mezi nejvýznamnější patří:

- velikost střížné vůle
- mechanické vlastnosti materiálu (pružná deformace při stříhání, tvrdost materiálu, tloušťka a přesnost stříhaného materiálu)
- druh a stav stříhadla (opotřebení nástroje)
- geometrie výstřížku

Při stříhání tenkých materiálů (s do 4 mm) se dosahuje přesnosti IT 12 až 14. Drsnost povrchu výstřížků se při vystřihování pohybuje v rozmezí $R_a = 3,2$ až $3,6$ a při děrování v rozmezí $R_a = 2,5$ až $6,3$.

2.9 Střížný odpor [3], [34]

Střížný odpor je vlastnost stříhaného materiálu, která materiálu brání svému oddělení během procesu stříhání. Jeho velikost je ovlivněna mnoha faktory, z nichž nejdůležitějšími jsou mechanické vlastnosti daného materiálu. Dalšími činiteli ovlivňující velikost střížného odporu jsou střížná vůle, rychlost stříhání, tření, mazání (koeficient tření pro stříh bez mazání je $\mu = 0,18$ až $0,30$), chlazení, stav střížných hran atd. Střížný odpor roste s klesající tvárností a rostoucí pevností v tahu, klesá pak s rostoucí tloušťkou materiálu a rostoucími křivkami stříhu. Nejmenšího střížného odporu je dosaženo při použití optimální střížné vůle. Střížný odpor lze stanovit dle vzorce (2.10), v praxi se však obvykle určuje jen jeho přibližná hodnota dle vzorce (2.11).

$$K_S = \frac{F_S}{S_S} \text{ [MPa]} \quad (2.10)$$

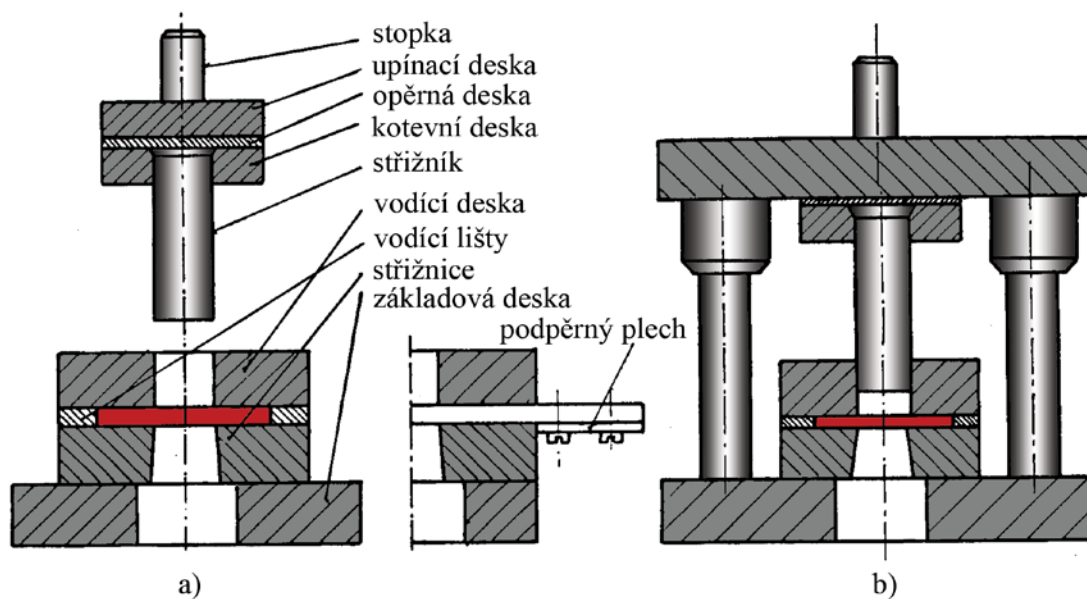
kde je F_S ... střížná síla [N]
 S_S ... plocha stříhu [mm²]

$$K_S = (0,75 \text{ až } 0,85) \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.11)$$

kde je R_m ... mez pevnosti [N]

2.10 Střížné nástroje [16], [20], [25], [31], [37]

Střížné nástroje, neboli stříhadla, sestávají ze dvou hlavních funkčních částí – horního pohyblivého břitu – střížníku (svislý vratný pohyb ve smýkadle lisu) a spodního pevného břitu – střížnice (upnuta na stole). Z konstrukčního hlediska rozdělujeme střížné nástroje na *vedené* a *nevedené*. Vedení nástroje je zajištěno buď pomocí vodící desky, nebo pomocí vodících stojánků. V obou případech je tím ovlivněna konečná přesnost a jakost střížné plochy a s tím i spojené celkové výrobní náklady. Proto jsou při konstrukci těchto nástrojů kladeny vysoké technické, konstrukční a ekonomické požadavky. U nevedených nástrojů, na rozdíl od vedených, nejsou spojeny horní části nástrojů se spodními, což zhoršuje přesnou vzájemnou orientaci a vymezení rovnoměrné střížné vůle. Výhodou vedení nástrojů je také větší životnost nástroje a snížení nedostatků v seřizení vedení lisů. Porovnání nevedeného a vedeného nástroje znázorňuje obr. 22.



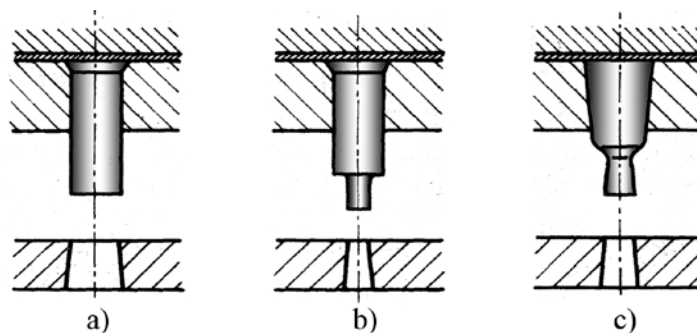
(a – bez vodícího stojánku; b – s vodícím stojánkem)

Obr. 22 Schéma střížného nástroje [25]

Dle počtu operací dělíme střížné nástroje na *jednoduché střížné nástroje* a *postupové střížné nástroje*. Jednoduchý střížný nástroj je určen pro jednu operaci. Posuv je realizován o hodnotu kroku (velikost výrobku + přídavek) a pás plechu je zajištěn pevným dorazem. Postupové střížné nástroje zhotovují výstřížek postupně, v několika krocích více operací. Při založení nového pásu je použito načínacího dorazu, další poloha pásu plechu je zajištěna pevným koncovým dorazem.

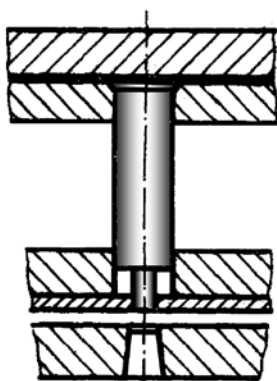
□ Střížník

Základními požadavky střížníku, jenž je protinástrojem střížnice, jsou jeho tuhost, kolmé upevnění, odolnost proti bočním a stíracím silám a ostrost břitu. Jeho tvar se odvíjí od požadovaného tvaru výstřížku. Dle technologického použití lze střížníky dělit na *odstříhovací střížníky*, *přestříhovací střížníky*, *vystříhovací a prostříhovací střížníky* a *ostříhovače*. Ostříhovací střížníky se používají k ostříhování odpadu u rozměrných výtažků, nebo pro dělení pásů a svitků. Jejich tvar odpovídá tvaru střížných vložek střížnice. Vystříhovací a prostříhovací střížníky se volí dle děrovacího poměru $\frac{s}{d} > 0,7$ a poměru délky střížníku $\frac{l}{d} < 0,4$. Tyto střížníky, obvykle válcového tvaru, jsou vyráběny tvarově osazené, nebo osazené jen ve funkční části. Osazení kuželovým tvarem se používá pro snížení stahovací síly a plechy silnější jak 1,5 mm. Schéma nevedených střížníků je na obr. 23.

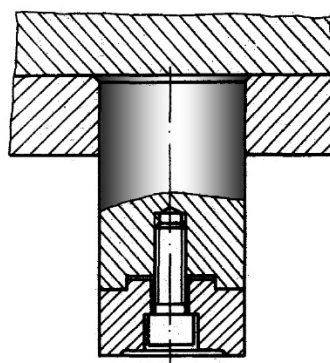


Obr. 23 Nevedené střížníky [16]

U vedených střížníků je eliminována délka volného pohybu, což vede ke snížení nebezpečí jejich zlomení způsobené vybočením z osy. Vodicími prvky střížníků bývají vodicí desky. Střížníky s délkou osazení (2 až 3)d se používají při hodnotě děrovacího poměru $\frac{s}{d} > 1,6$ (obr. 24). Při větších průměrech dřívku střížníků (50 až 250 mm) se používají dělené střížníky (obr. 25).



Obr. 24 Vedený střížník [16]



Obr. 25 Dělený střížník [16]

Při stříhání malých otvorů (průměry střížníků menší jak 5 mm) se používají tzv. „zesílené střížníky“, kdy je vlastní střížník uložen ve vodicím pouzdře. Střížníky se vyrábějí z nástrojových ocelí 19 436 a 19 437, které jsou následně kaleny a popuštěny na 58 až 61 HRC. Finální tvar se dokončuje broušením. Upnutí střížníku v nástroji je realizováno buď přímo do smykadla lisu, nebo na kotevní desku. Střížníky se vyrábí v normalizovaných délkách (60, 70, 80 a 90 mm) bez hlavy nebo s válcovou či kuželovou hlavou.

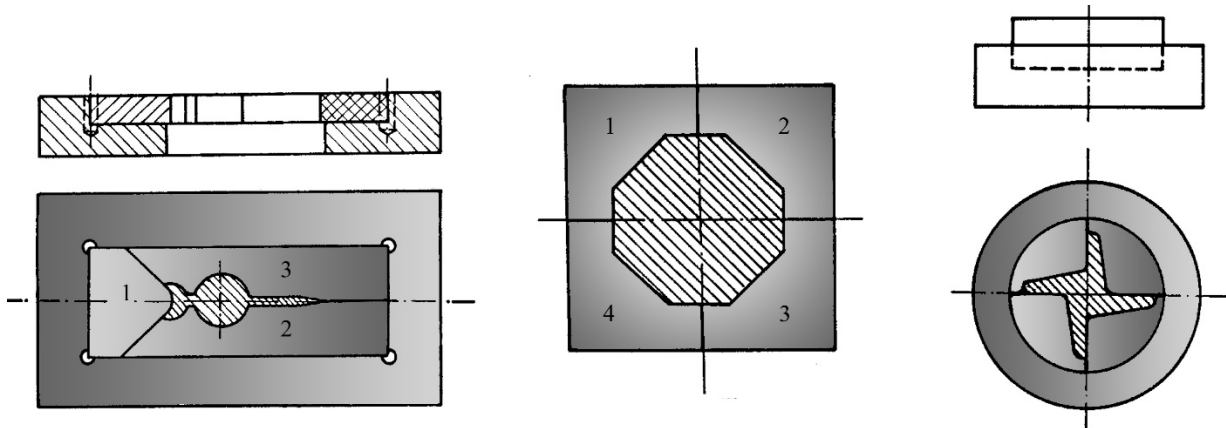
□ Střížnice

Střížnice je druhou základní funkční částí střížných nástrojů. Upevnění k lisu je buď přímo, nebo nepřímo přes základovou desku. Díky vysokým nárokům na kvalitu a přesnost otvorů střížnic, patří střížnice k nejvíce nákladným částem nástroje. Základní materiál je skrz střížnou hranu střížnice protlačován působením střížníku, proto jsou hlavní a pomocné otvory konstruovány tak, aby nevznikalo zeslabení okrajů střížnice. Kritérii pro volbu jejich konstrukce jsou *složitost tvaru výstřížku*, *typ nástroje*, *mechanické vlastnosti materiálu* a *velikost série*. Na základě těchto požadavků jsou voleny střížnice jako:

- **celistvé** (z jednoho kusu)
pro menší výstřížky; upevnění k základové desce *středícími elementy a šrouby přímo na základovou desku, zalisováním do ocelového rámu, zapuštěním do základové desky* atd.

- **dělené (skládané)**

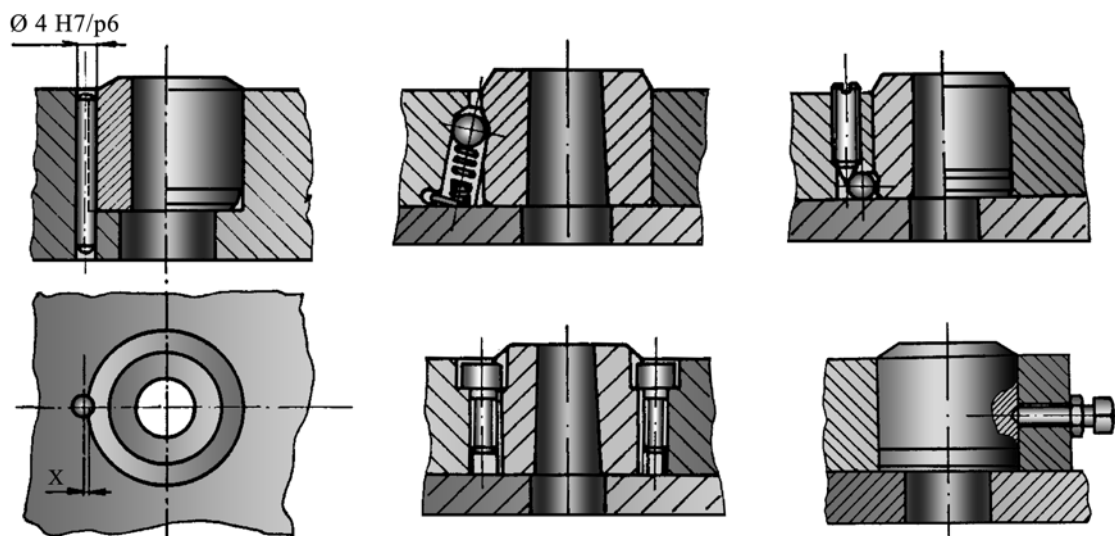
pro složité a rozměrné tvary součástí, nebo pro více operací; střížnice je rozdělena na požadované segmenty. Ty jsou buď nalisovány do nekalené části střížnice, nebo připevněny šrouby a kolíky na základovou desku. Výhodou dělených segmentů je snadnější výroba a následná snadnější údržba břitů (broušení). Příklad dělených střížnic je schematicky znázorněn na obr. 26.



Obr. 26 Příklady dělených střížnic [25]

- **vložkové**

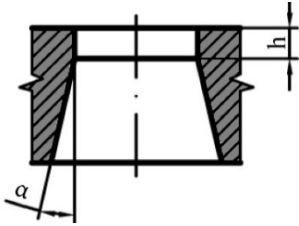
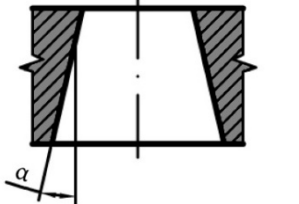
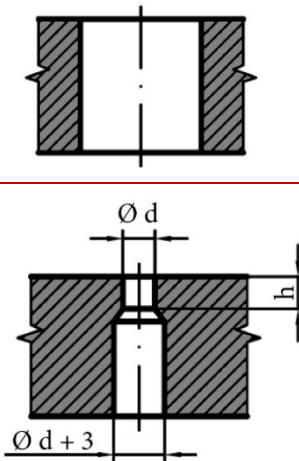
pro úsporu drahého materiálu, vložky jsou vyráběny z nástrojové oceli a slinitých karbidů; nutnost zajištění správného vedení tuhým a pevným nástrojem, aby se předešlo ohybovému namáhání. Vložky se vkládají do předem vyvrtaných otvorů a proti vytažení jsou zajištěny nalisováním (uložení H7/n6), kolíkem, příložkou, přírubou, či zalití pryskyřicí (příklady upevnění jsou zobrazeny na obr. 27). Výhodou takto zhotovených střížnic je snadná oprava a případná výměna jen dané vložky.



Obr. 27 Příklady upevnění vložek ve střížnici [25]

Střížnice jsou vyráběny z nástrojových ocelí 19 436, 19 437, následně jsou tepelně zpracovány kalením a popuštěním na 58 až 61 HRC. Jejich výška obvykle bývá 18 až 30 mm. Otvory na střížnici odpovídají vnějšímu tvaru výstřížku (otvoru). Geometrie funkčních částí břitů je vyobrazena v tab. 3.

Tab. 3 Geometrie funkčních částí břitů [25]

Tvar střížného otvoru střížnice	Geometrie	Použití
Kuželový s válcovou fazetkou 	$h = 3 - 5 \text{ mm}$ při $s = 0,5 \text{ mm}$ $h = 3 - 10 \text{ mm}$ při $s = 0,5 - 5 \text{ mm}$ $h = 10 - 15 \text{ mm}$ při $s = 5 - 10 \text{ mm}$ $\alpha = 3^\circ - 5^\circ$	pro vysoké počty kusů
Kuželový 	$\alpha = 10' - 15'$ při $s = 0,1 - 0,5 \text{ mm}$ $\alpha = 15' - 20'$ při $s = 0,5 - 1,0 \text{ mm}$ $\alpha = 20' - 30'$ při $s = 1,0 - 2,0 \text{ mm}$ $\alpha = 30' - 45'$ při $s = 2,0 - 4,0 \text{ mm}$ $\alpha = 45'$ až 1° při $s > 4 \text{ mm}$	pro střední počty kusů, vystřihování malých částí, střední přesnost
Válcový a prizmatický 	<p style="text-align: center;">-</p> $h = 3 - 5 \text{ mm}$ při $s = 0,5 \text{ mm}$ $h = 3 - 10 \text{ mm}$ při $s = 0,5 - 5 \text{ mm}$ $h = 10 - 15 \text{ mm}$ při $s = 5 - 10 \text{ mm}$	<p>pro stříhání při použití vyhazovače nebo rozměrné tvary</p> <p>k děrování $d > 5 \text{ mm}$</p>

Tab. 4 Výrobní tolerance střížníků a střížnic [38]

Vůle mezi střížníkem a střížnicí	0,01 až 0,003 mm	0,03 až 0,1 mm	0,2 až 0,3 mm
Výrobní tolerance – střížník	- 0,005 mm	- 0,01 mm	- 0,03 mm
Výrobní tolerance – střížnice	+ 0,005 mm	+ 0,01 mm	+ 0,03 mm

□ *Upínací deska*

Plní funkci podepření jednotlivých střížníků a spojení s kotevní deskou, vložkou, vedením a nástrojem na stroj. V případě použití výstředníkových lisů je upínací deska opatřena stopkou umístěnou v těžišti sil, u beranu je deska připevňována upínkami (kotevní místa jsou zesíleny). Je vyráběna v tloušťkách od 23 do 50 mm z konstrukčních ocelí, případně se odlívá ze šedé litiny.

□ *Kotevní deska*

Slouží k zakotvení střížníků a její rozměry kopírují upínací desku. Otvory pro střížníky a zachycení stíracích sil jsou rozmístěny stejně jako na upínací desce, mají však válcové nebo kuželové zahloubení dle typu střížníků. Kotevní deska je vyráběna v tloušťkách od 10 do 32 mm z konstrukčních či uhlíkových nástrojových ocelí.

□ *Opěrná deska*

Plní funkci podložky mezi střížníky a kotevní deskou, tak aby nedocházelo k otlacení kotevní desky. Je konstruována z nástrojové oceli 19 312.

□ *Hledáčky*

Používají se pro zavádění plechu do nástroje a zajišťují korekci jeho podávání. Jsou konstruovány dvou typů – *přímé* a *nepřímé* – u nepřímých jsou otvory pro hledáčky nejčastěji stříhány do opadu a používají se rovněž pro součásti bez otvorů nebo s malými otvory. Otvory pro hledáčky se umísťují do druhého kroku, stříhány jsou v kroku prvním. Materiál a upínání hledáček je obdobný jako v případě střížníků.

□ *Stopka*

Pomocí ní je nástroj upínán a středěn do beranu výstředníkového lisu. Jejich normalizovaná velikost a tvar odpovídá použití daného lisu. Stopky jsou na nástroji umístěny v těžišti jeho tvářecích sil, které musí působit v ose beranu. Při nesprávném umístění by mohl vznikat na beranu lisu tzv. „klopný moment“, který by měl za příčinu namáhání vedení lisu a měl negativní vliv na funkci nástroje.

□ *Základová deska*

Pomocí ní je nástroj upevněn na stůl lisu, její rozměr je proto vždy větší než střížná deska a volí se dle velikosti stolu daného lisu. Otvory pro propad výstřížků jsou v základní desce oproti střížnici větší asi o 2 mm na obvodu. V základní desce je ukotveno také vedení a otvory po jejím obvodu slouží k nasazení čepů ke snadné manipulaci. Základní desky se vyrábí v normalizovaných tloušťkách z materiálu 10 373, 11 523, 11 500 a v případě větších nástrojů z šedé litiny 42 2425.

□ *Vodící lišty*

Vodící lišty plní dvě funkce, první z nich je vedení materiálu v pracovním prostoru nástroje, druhou je vymezení bezpečného prostoru pro manipulaci s materiálem mezi střížnicí a vodící deskou. Šířka materiálu vymezuje jejich vzájemnou polohu (vzdálenost). Vodící lišty jsou vyráběny v normalizovaných výškách, obvykle 5 až 8 mm. Na zaváděcí straně nástroje jsou prodlouženy asi o 80 mm pro přesnější a snadnější zavedení materiálu. Boční posun materiálu je eliminován odpruženým přídržovačem umístěným na jedné z vodících lišt. Ten zajišťuje stálé dotlačení materiálu k protilehlé straně. U sloučených nástrojů a přesného stříhání se vodící lišty nepoužívají, jejich funkci nahrazuje podavač. Vodící lišty jsou vyráběny z nástrojových ocelí, případně jsou opatřeny kalenými vložkami.

□ *Vodící deska*

Plní funkci vedení střížníků a stírá materiál při zpětném zdvihnutí nástroje. Výška vodících desek se pohybuje v rozmezí 18 až 32 mm. Jsou konstruovány buď jako pevná část střížné skříně nebo se pružně upevňují na kotevní popř. upevňovací desky. Vodící otvory střížníků, vyráběny v toleranci H7/h6, jsou opatřeny mazacími drážkami, které eliminují zadírávání střížníků. Materiálem vodících desek bývá ocel 11 500.

□ *Vodící stojánky*

Vodící stojánky zajišťují tuhost a správné vedení, což se pozitivně projevuje na kvalitě výstřížků a životnosti střížných nástrojů. Upínací deska je opatřena dvěma nebo čtyřmi pouzdry, které se pohybují po vodících sloupcích, k beranu lisu je připevněna pomocí stopky.

2.11 Těžiště střížných sil [24], [34]

Jsou-li součásti stříhány v postupovém nástroji, je důležité, aby výslednice střížných sil působila v ose lisu. V opačném případě na beran lisu působí velké zatížení tzv. „klopný moment“, který má za následek zhoršení přesnosti výrobku, nižší životnost nástrojů a beranu lisu. Těžiště střížných sil lze určit dvěma způsoby – *početně* a *graficky*. Tloušťka i mechanické vlastnosti materiálu jsou pro určitý typ výstřížku shodné, dá se tedy předpokládat, že jednotlivá těžiště střížných sil, úměrných obvodu stříhaných otvorů, leží právě v jejich těžištích.

□ Početní řešení (obr. 28)

Vychází se z podmínky rovnovážného stavu, kdy součet momentů sil ke zvolené přímce je nulový. Matematicky vyjádřeno vztahem (2.12).

$$F_x X = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c \quad [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (2.12)$$

kde je $F_x = F_1 + F_2 + F_3$
 X ... vzdálenost výslednice sil od osy y [mm]
 a, b, c ... vzdálenosti sil F_1, F_2, F_3 od osy [mm]

z toho plyne:

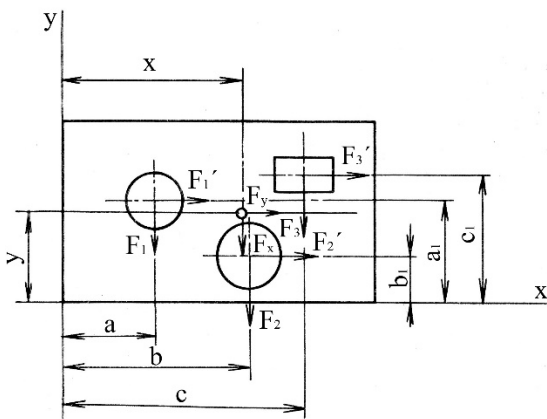
$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot a_1 + F_2' \cdot b_1 + F_3' \cdot c_1}{F_1' + F_2' + F_3'} \quad [\text{mm}] \quad (2.14)$$

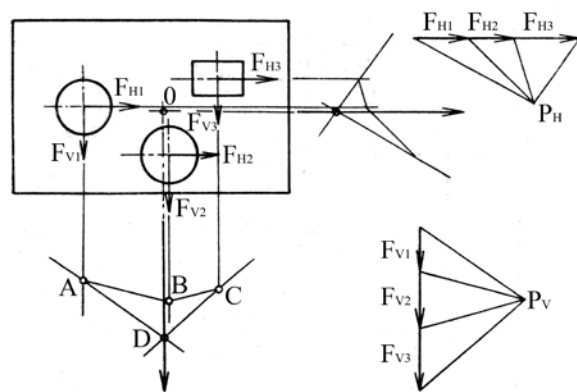
kde je $X, \text{ resp. } Y$... vzdálenost výslednice sil od osy $y, \text{ resp. } x$ [mm]
 a_1, b_1, c_1 ... vzdálenosti sil F_1, F_2, F_3 od osy [mm]

□ Grafické řešení (obr. 29)

Velikosti střížných sil (F_{V1}, F_{V2}, F_{V3}) se nanesou na půdorys střížného nástroje, a to ve vertikálním směru. Dále se zakreslí svislá přímka vedle zvoleného bodu (pólu) P_V , na kterou se vynesou jednotlivé síly (F_{V1}, F_{V2}, F_{V3}). Začátky a konce těchto sil se spojí s pólem P_V a tak vznikne tzv. „pólový obrazec“. Poté se protáhnou nositelky směru střížných sil pod obrázek půdorysu střížného nástroje a na nositelce směru síly F_{V1} se zvolí libovolný bod A . Tímto bodem je vedena rovnoběžka s čarou pólového obrazce, kterou určují spojnice pólu P_V a koncový bod síly F_{V1} . Tato rovnoběžka síly F_{V1} protíná nositelku směru síly F_{V2} , díky čemuž vznikne bod B . Tímto bodem je opět vedena obdobně rovnoběžka s čarou spojující pól P_V s koncem síly F_{V2} , dokud neprotne nositelku směru síly F_{V3} v bodě C . V tomto bodě se pak vede rovnoběžka se spojnici pólu P_V a koncem síly F_{V3} v pólovém obrazci. Bodem A je vedena rovnoběžka s čarou, kterou určují pól P_V a začátek síly F_{V1} v pólovém obrazci. V konečném bodě D se pak nachází požadovaná výslednice sil vertikálního směru. Obdobným způsobem se určí i výslednice horizontálního směru. Průsečík vertikální a horizontální výslednice tvoří bod O , který je hledaným těžištěm střížných sil.



Obr. 28 Určení těžiště početně [24]



Obr. 29 Určení těžiště graficky [24]

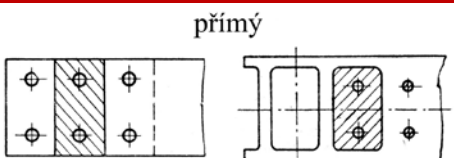
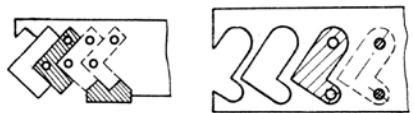
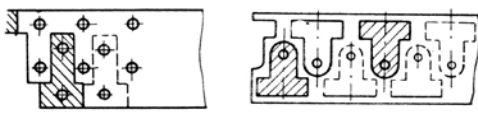
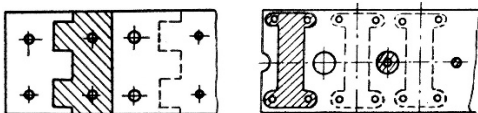
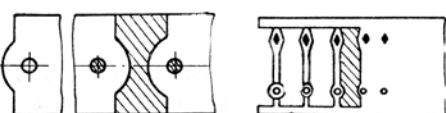
2.12 Uspořádání výstřížků na pásu plechu a nástřihový plán [24], [34]

Součásti jsou vyráběny stříháním přímo z pásu plechu nebo pásů připravených rozstříháním z tabulí plechu. Nejprve jsou navrženy všechny možné varianty uspořádání výstřížků na pásu (přehled v tab. 5) a pro každou z nich je pak vypočítáno využití pásu plechu. Pro tu variantu, u které využití vyjde nejlépe, se navrhuje nástřihový plán. Nástřihový plán však musí respektovat následně použitou technologii dalšího zpracování. Proto např. u postupových sdružených nástrojů nemusí být použité varianty rozmístění výstřížků na pásu plechu s nejlepším využitím optimální.

□ Nástřihový plán

Udává polohu střížníků v nástroji a při jeho volbě je kladen důraz na tyto hlediska: *úspora materiálu a pracnosti, poloha ostrin při stříhání, napětová vyváženost při následných operacích, mechanizovatelnost procesu* atd. S maximálním využitím plechu ale vzrůstá cena a údržba nástrojů, tonáž lisu a klesá jednotkový čas. Při návrhu šířky pásu plechu se vychází z volné míry, ke které se připočítávají dvě šířky můstku. Volné míry součásti umožňují stříhat pás plechu bez bočních můstků, případně při malých šířkových tolerancích v kombinaci s bočním ostřihovačem.

Tab. 5 Uspořádání výstřížků na pásu plechu [24]

Typ stříhu		Druh stříhaného typu součásti	Způsob podávání
Bez můstku	S můstkem		
přímý 		Součásti pravoúhlých a geometrických tvarů	Ruční nebo automatické podávání
nakloněný 		Součásti tvaru L, nebo jiné složitější tvary	Ruční nebo automatické podávání
střídavý 		Součásti tvaru T, P, nebo jiné složitější tvary	Ruční nebo automatické podávání
kombinovaný 		Dva typy různých součástí v sobě	Automatické podávání
s předstřížením 		Úzké a tenké součásti	Ruční podávání (i automatické)

Procento využití pásu plechu se stanoví dle vzorce (2.15):

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_0}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (2.15)$$

kde je n_v ... počet výstřížků z jednoho pásu plechu [-]
 S_0 ... plocha výstřížku [mm²]
 S_p ... plocha pásu plechu [mm²]

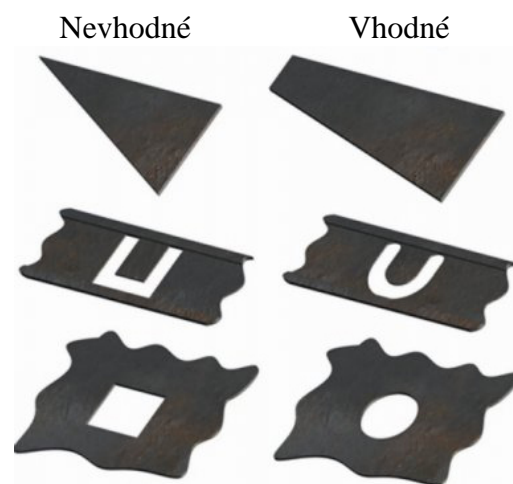
2.13 Technologičnost výstřižků [24], [40]

Při návrhu výstřižků se nedbá jen na jejich funkci, ale také na vzhled, ergonomii a v současnosti v neposlední řadě také na ekologii, ekonomiku a způsob výroby. Ideální konstrukce proto často bývá kompromisem mezi těmito požadavky. Všeobecně můžeme tyto požadavky na konstrukci z technologického hlediska rozdělit na tyto zásady:

- vysoká využitelnost materiálů (malý odpad, vhodné profily, odlehčení částí)
- přizpůsobení konstrukce technologii výroby
- nízká cena a nízký počet druhů materiálů
- volba tvaru a rozměrů (tloušťky stěn, otvory, rádiusy, úkosity atd.)
- drsnost, přesnost, výskyt vad, rozptyl mechanických vlastností atd.
- co nejmenší potřeba speciálních nástrojů (přípravků, strojů a zařízení)
- co nejmenší počet a nejnižší složitost operací

□ Tvar nástrojů

Již při konstrukci výstřižku je potřeba uvažovat počet výrobních operací a jednotlivé tvary střížných a pomocných nástrojů. Tvar nástroje s ohledem na výstřižek pomůže eliminovat nevhodné průřezy tělesa nástroje, zapříčiňující jeho poškození v provozu nebo při tepelném zpracování. Důležité také je, že pro tzv. „měkkí stříhání“ jsou nutné pro jeden z nástrojů (nebo oba) úkosity, které mají za příčinu u nedostatečných průřezů další jejich zeslabení. Ostré rohy a hrany součásti snižují životnost nástrojů a kvalitu střížných ploch. V místě ostrých rohů vznikají ve střížné ploše trhlinky. Optimální velikost poloměrů rohů a hran je uvedena v **příloze 1**.



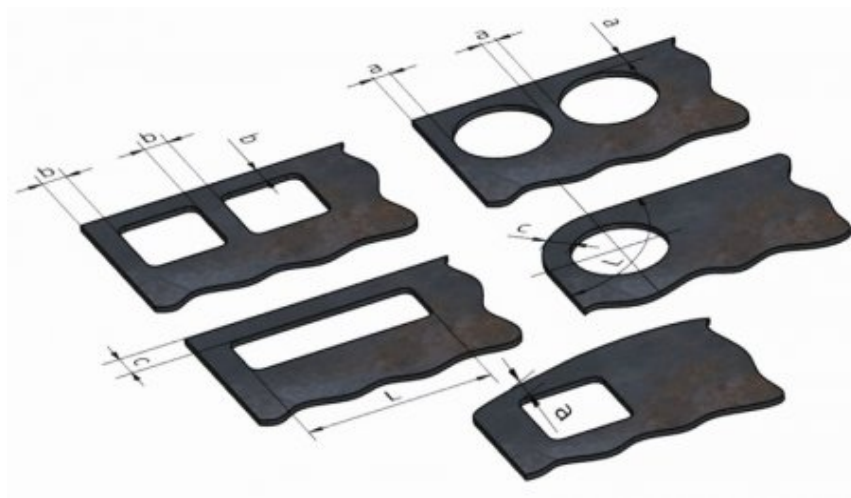
Obr. 30 Příklady vhodných a nevhodných tvarů výstřižků [40]

□ Materiál

Dalším důležitým kritériem je volba materiálu výstřižků. Ten volíme vždy takový, aby byl po cenové stránce nejvýhodnější a zároveň vyhovoval funkci součásti a usnadňoval nebo umožňoval optimální výrobní proces. Náklady na materiál jsou v poměru k celkovým výrobním nákladům na výstřižek přímo úměrné jejich počtu. Při stříhání vzniká tzv. technologický a konstrukční odpad. Občas je potřeba pro zvýšení hospodárnosti změnit tvar součásti nebo výsledný vzhled výstřižku provést až po stříhání. Hospodárnost využití materiálu se zjišťuje výpočtem součinitele spotřeby materiálu, který by neměl být menší než 0,7. Obecně platí, že čím je menší potřebná šířka pásu na danou součást, tím lepší je technologičnost materiálu. Dalším faktorem ovlivňujícím způsob využití materiálu může být také směr vláken – vliv mechanických vlastností materiálu na další zpracování (ohyb, tažení, atd.). V těchto případech je nutné, aby byl následný ohyb buď kolmý na směr vláken nebo alespoň svíral se směrem vláken úhel přibližně 45°. Respektováním některých nedokonalostí, jako jsou drsnost střížné plochy, malé zešikmení střížné plochy, zeslabení tloušťky plechu, zpevnění materiálu atd., lze v procesu stříhání dosáhnout technologičnosti konstrukce výstřižků. Nedokonalosti jde samozřejmě minimalizovat použitím vhodné metody (např. přesným stříháním, přistříháváním, kalibrováním atd.), ovšem za cenu zvýšení výrobních nákladů.

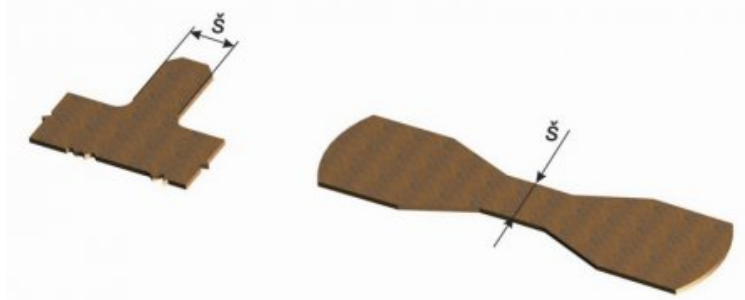
Z výše uvedených vlastností stříhání je odvozeno toto desatero pravidel technologičnosti:

1. Bezdůvodně nezmenšovat velikosti tolerance rozměrů.
2. Pokud není střížná plocha součástí funkční plochou, nepředepisovat její drsnost ani kolmost k ploše plechu.
3. Rovinnost malých výstřížků z tlustých plechů větší tváritelnosti se může snížit vlivem ohybového momentu dvojice střížných sil.
4. Nejmenší velikost otvorů, které lze běžným nástrojem prostříhnout, závisí na tloušťce a druhu materiálu (upřednostňují se otvory kruhového tvaru).
5. Vzdálenost mezi otvory nebo otvorů od okraje výstřížku má být nejméně: $a \geq 0,8s$, $b \geq s$, $c \geq 1,5s$ (platí pro polotvrdý ocelový plech $R_m = 500$ MPa. Pro měkké materiály je nutné zvětšení vzdáleností o 20 až 25 % u plechů o tloušťce $s \leq 1,5$ mm a o 10 až 15 % u silnějších plechů (obr. 31).



Obr. 31 Požadavky na kritické rozměry výstřížku [40]

6. Šířka vyčnívající části, nebo nejmenší šířka dílu, by měla být $s = 1,5s$ (obr. 32).



Obr. 32 Požadavky na kritické rozměry výstřížku [40]

7. Rohy na výstřížku by měly být sražené nebo zaobleny, není vhodné střídání ostrých a zaoblených rohů, přechody oblouků do přímých částí musí být plynulé.
8. Při stříhání na nůžkách volíme tvary vyžadující co nejmenší počet stříhů.
9. Nejvhodnějším tvarem výstřížku je rovnoběžník, jehož protější strany jsou stejně tvarovány jako negativ a pozitiv (nejde-li dodržet tvar negativ – pozitiv, vyhoví také tvar symetrický vzhledem k ose strany).
10. Rozvětvené tvary výstřížku jsou velmi neúspěšné, je třeba hledat tvary spojitě.

3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [14], [19], [34]

Ohýbání je proces, kdy vlivem ohybového momentu je polotovar trvale pružně-tvárně deformován, a to po obou stranách pod různými úhly, s větším či menším rádiusem ohýbané hrany. Při ohýbání je užito stejných zákonů plasticity jako v ostatních způsobech tváření, tedy překročením meze kluzu je dosaženo plastické deformace, která je doprovázena elastickou deformací. Vlivem těchto deformací jsou vrstvy kovu na vnější straně ohybu v příčném směru stlačovány a v podélném směru roztahovány a prodlužovány; na vnitřní straně ohybu se v příčném směru vrstvy roztahují a zkracují, naopak v podélném směru se stlačují. Uprostřed těchto vrstev leží tzv. „neutrální osa“, která odpovídá délce počátečního polotovaru. Během ohybu se poloha neutrální osy mění směrem k vnitřní straně ohybu. Při ohýbání úzkých pásů plechu dochází ke značné deformaci v příčném průřezu, jelikož se tloušťka v místě ohybu značně ztenčuje a jeho šířka zvětšuje; na vnější straně ohybu se šířka příčného průřezu zmenšuje. Během těchto deformací se průřez příčně zkříví, jak znázorňuje schéma na obr. 33.



Obr. 33 Schéma ohýbání [34]

Charakteristiky napjatosti a deformace při ohybu úzkých a širokých polotovarů jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Schémata napjatosti a deformace při ohybu [34]

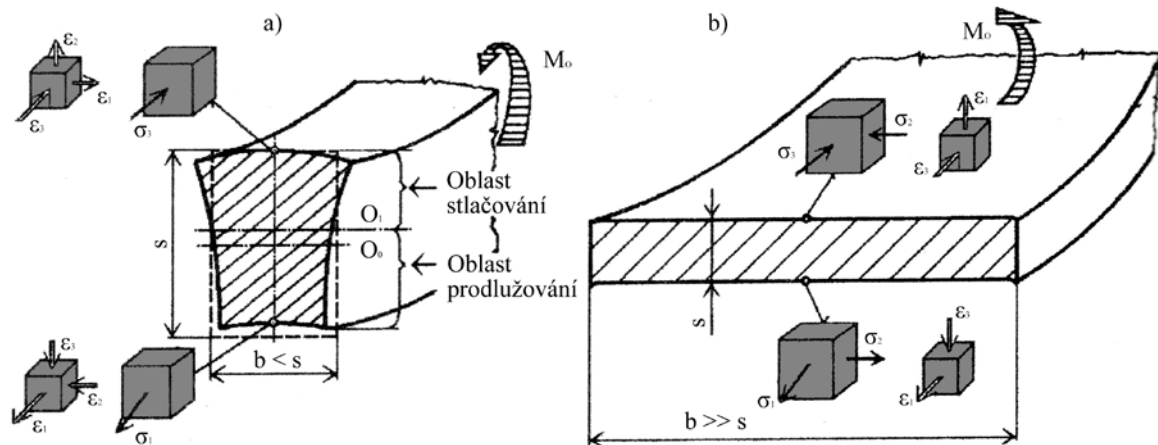
Pásky nebo polotovary	Pásmo příčného řezu	Schémata		Rovnice plynoucí ze zákona stálosti objemu
		stav napjatosti	stav deformace	
Úzké ($\check{s} < s$)	Stlačované			$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$
	Roztahované			
Široké ($\check{s} > 3s$)	Stlačované			$\pm \epsilon_1 = \pm \epsilon_3$ (smyk)
	Roztahované			

Ohýbání lze posuzovat dle několika kritérií, jako např.:

- Způsobu ohýbání (volné ohýbání a ohýbání v pevném nástroji)
- Šířky materiálu (široké polotovary – $\check{s} > 3s$; úzké polotovary – $\check{s} < 3s$)
- Velikosti poloměrů (ohyby s malými a velkými poloměry)
- Tvaru ohybu (ohyb tvaru „U“ a „V“ – viz obr. 34)
- Typu stroje (ohýbačka, ohraňovací lis, navíječka atd.)

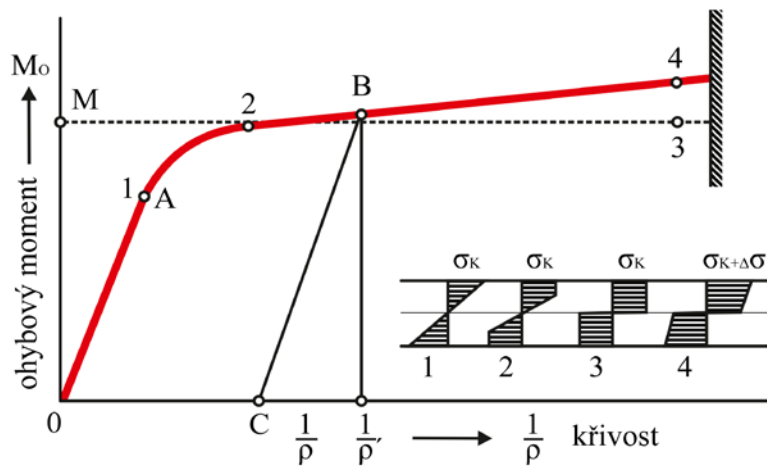
3.1 Napětí a deformace při ohýbání širokých pásů plechu [10], [14]

U ohýbání širokých polotovaru pro rovinný stav deformace platí, že na tlakové straně se $-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$, a na tahové straně bude $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$, nevzniká tedy deformace v příčném směru, $\varepsilon_2 = 0$. Odpovídá tomu napjatost krajních vláken ($\sigma_1 = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_K$ a $\sigma_2 = \frac{1}{2}\sigma_1$), což je znázorněno na schématu (obr. 34).



Obr. 34 Schéma napjatosti a deformace při ohybu tyčí a širokých pásů [14]

Při ohýbání vlivem plastické deformace roste mez kluzu materiálu (obr. 35). Dochází tak ke zpevnování materiálu, přičemž napětí σ_1 a ohybový moment M_o roste nejvíce na povrchu ohýbané součásti a v krajních vlákních. Do překročení meze kluzu probíhá proces dle Hookova zákona (pružná deformace – bod 1). Poté se začne v krajních vlákních projevovat plastická deformace – bod 2, přičemž u středu ohýbané součásti napětí stále nedosahuje meze kluzu – jádro zůstává pružné. Dále již napětí neroste a jádro ztrácí svou pružnost – bod 3. Dojde-li však ke zpevnění materiálu, napětí dále poroste – bod 4. Po odlehčení ohybovým momentem nastává opět pružná deformace, která způsobuje odpružení (přímka BC). Pevnost součásti je ovlivněna zbytkovým napětím, které vzniká důsledkem trvale plasticky deformovaných vrstev, které znemožňují po odlehčení návrat pružně deformovaným vrstvám do své počáteční polohy a délky.

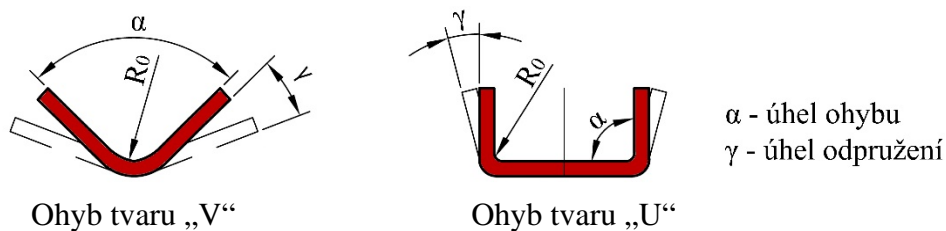


Obr. 35. Deformační charakteristika ohýbaného materiálu [19]

3.2 Odpružení při ohýbání [10], [14], [19]

Odpružení při ohýbání má značný význam, u ostatních technologií tváření můžeme často odpružení zanedbávat. Dochází k němu, přestane-li na součást působit ohybový moment a deformace se sníží o svou pružnou část. Projevem je úhlová odchylka, jejíž hodnota roste s délkou ramen. Velikost úhlu odpružení je ovlivněna tvárností materiálu, poloměrem a typem ohybu a způsobu ohýbání. Obvykle se pohybuje v rozmezí 3 až 15 °. Pro výsledný tvar ohybu

je třeba při ohýbání zmenšit úhel ohybu právě o jeho hodnotu (obr. 36). Odpružení se dá taktéž eliminovat konstrukční úpravou ohybníku nebo ohybnice, kalibrací atd.



Obr. 36 Odpružení materiálu pro ohyb tvaru V a U [19]

Tab. 7 Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály [19]

Materiál	R_0 / s	
	0,8 až 2	> 2
Ocel ($\sigma_{PT} < 320$ MPa)	1°	3°
Ocel ($\sigma_{PT} = 320 - 400$ MPa)	3°	5°
Ocel ($\sigma_{PT} > 400$ MPa)	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

Přibližné hodnoty úhlu odpružení lze pro ohyby tvaru „V“ a „U“ vypočítat ze vztahů (3.1) a (3.2):

$$\text{- pro ohyb tvaru „V“} \quad tg \gamma = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \gamma [^\circ] \quad (3.1)$$

$$\text{- pro ohyb tvaru „U“} \quad tg \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \gamma [^\circ] \quad (3.2)$$

kde je

- l_v ... vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]
- k ... součinitel určující polohu neutrální osy [-]
($k = I - x$, kde x je uvedeno v tab. 8)
- s ... tloušťka materiálu [mm]
- R_e ... mez kluzu [MPa]
- E ... modul pružnosti v tahu [MPa]

Úhel odpružení lze orientačně také odečíst z diagramu (**příloha 2**), kde pro k platí:

$$k = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{r_1 + 0,5 \cdot s}{r_2 + 0,5 \cdot s} [^\circ] \quad (3.3)$$

kde jsou α_1, R_1 ... hodnoty, na které je nutné součást ohnout, aby bylo dosaženo hodnot α_2, R_2 [°, mm]

3.3 Maximální a minimální poloměr při ohýbání [2], [14], [15]

Maximální poloměr ohybu je největší vnější poloměr, při kterém nastává na tahové straně trvalá-nevratná plastická deformace v krajních vláknech. Jeho hodnotu je možné určit ze vztahu (3.4):

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) [\text{mm}] \quad (3.4)$$

kde je

- s ... tloušťka materiálu [mm]
- E ... modul pružnosti v tahu [MPa]
- R_e ... mez kluzu [MPa]

Minimální poloměr ohybu je nejmenší vnitřní poloměr, do kdy lze provádět pružně plastický ohyb, to znamená, že nedojde k porušení materiálu na vnější tahové straně. Po překročení meze kluzu nastává porušení lomem. Jeho hodnotu je možné určit ze vztahu (3.5):

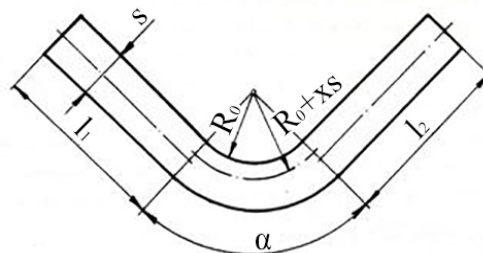
$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) \approx C \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

kde je

- s ... tloušťka materiálu [mm]
- E ... modul pružnosti v tahu [MPa]
- ε_{tmax} ... mezní přetvoření v krajních vláknech (při kterém nedojde k porušení materiálu) [-]
- C ... součinitel (volen dle technolog. podkladů; pro ocel = 0,5 až 0,6)

3.4 Rozvinutá délka plechu a poloha neutrální osy [14], [15], [19]

Výchozí délka rozvinutého polotovaru je určena sumou délek rovinných úseků a ohnutých oblouků finální součásti. Délka oblouku se odvíjí od délky neutrální osy – u tenkých plechů je rozdíl těchto hodnot nepatrný, avšak u silnějších plechu je nutné zohlednit vzdálenost „ x “, charakterizující polohu neutrální plochy. Velikost hodnoty vzdálenosti „ x “ je závislá na poměru $\frac{R_0}{s}$ – viz tab. 8.



Obr. 37 Posunutí neutrální osy v místě ohybu [19]

Tab. 8 Hodnoty součinitele x [19]

R_0/s [mm]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0	nad 5,0
x [mm]	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,40	0,41	0,45	0,46	0,47	0,50

Délka oblouku se vypočítá dle vztahu (3.6):

$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

kde je

- φ ... úhel ohnutého úseku ($180^\circ - \alpha$) [$^\circ$]
- ρ ... poloha neutrální osy [mm]

Poloměr neutrální osy, jejíž poloha leží uprostřed tloušťky ohýbaného materiálu, se pro běžné poloměry ($R_0 > 12s$) vypočítá z následujícího vztahu (3.7):

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2} \text{ [mm]} \quad (3.7)$$

kde je

- R_0 ... poloměr ohybu [mm]
- s ... tloušťka materiálu [mm]

Pro malé poloměry ($R_0 < 12s$) lze použít zjednodušeného vztahu (3.8):

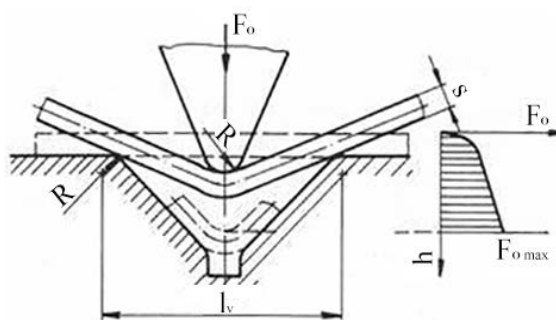
$$\rho = R_0 + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.8)$$

kde je

- R_0 ... poloměr ohybu [mm]
- x ... součinitel posunutí neutrální plochy [mm]
- s ... tloušťka materiálu [mm]

3.5 Ohybová síla a práce [10], [14], [19], [31]

Při ohýbání představuje ohýbaný plech nosník, který je podepřen dvěma podporami ve vzdálenosti l_v – obr. 38. Působením vnější síly stoje na plech vzniká ohybový moment, jehož rameno je polovina vzdálenosti l_v . Vlivem působením ohybové síly je ohybník vtlačován do ohybnice, kde dochází k požadované deformaci plechu. Ohybovou sílu pro ohyb tvaru „V“ a „U“ lze vypočítat dle následujících vztahů (3.9) a (3.10):



Obr. 38 Ohyb do tvaru V [19]

$$\text{- pro ohyb tvaru „V“ } F_{OV} = \frac{c_0 \cdot B \cdot s^2 \cdot R_m}{l_v} \text{ [N]} \quad (3.9)$$

$$\text{- pro ohyb tvaru „U“ } F_{OU} = \frac{0,5 \cdot B \cdot s^2 \cdot R_e}{l_v} \text{ [N]} \quad (3.10)$$

kde je

c_0 ...	koeficient závislý na šířce ohybnice – viz příloha 2 [-]
B ...	šířka ohýbaného materiálu [mm]
s ...	tloušťka materiálu [mm]
R_m ...	mez pevnosti [MPa]
R_e ...	mez kluzu [MPa]
l_v ...	vzdálenost mezi podpěrami ohybnice [mm]

V případě, je-li uplatněna při ohybu kalibrace, hodnota ohybové síly se zvýší o velikost kalibrační síly, pro kterou platí následující vztah (3.11):

$$F_K = S \cdot p = (2 \text{ až } 2,5) \cdot F_{OV,U} \text{ [N]} \quad (3.11)$$

kde je

S ...	plocha kalibrovaného materiálu [mm ²]
p ...	měrný tlak pro kalibrování [MPa]

Vlivem tření mezi funkčními částmi ohýbadel a polotovaru narůstá ohybová síla ještě přibližně o 1/3 své hodnoty.

Ohybová práce se pak vypočítá dle vztahu (3.12):

$$A_o = \frac{F_{OV,U} \cdot \Psi \cdot h}{1000} \text{ [J]} \quad (3.12)$$

kde je

F_o ...	ohybová síla [N]
Ψ ...	koeficient zaplnění pracovního diagramu (0,5 až 0,65) [-]
h ...	hloubka ohybu [mm]

3.6 Ohybové nástroje [10], [15], [19], [25]

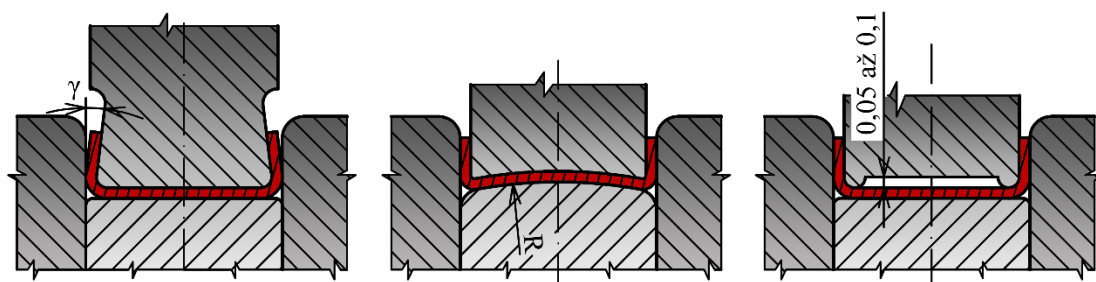
□ Ohybník

Je horním pohybuujícím se nástrojem. Jeho geometrie (rádius) odpovídá dané geometrii ohýbané součásti a jeho šířka musí být vždy větší, než je délka ohybu na dané součásti. Ohybníky jsou vyráběny jako celistvé a dělené. U celistvých jsou ohýbací hrany kaleny a leštěny, u dělených je častou použito kalených vložek ze slinutých karbidů. Stejně jako u střížníků se pro přesné nástroje používá sloupkové vedení (viz kapitola stříhání). Speciálním typem ohybníků, kde ohybová síla nepůsobí svise na směr beranu, jsou tzv. „boční ohýbací klíny“. Ohybníky jsou vyráběny nejčastěji z nástrojových ocelí.

□ *Ohybnice*

Je dolní nepohyblivý protínástroj ohybníku. Je konstruována ve dvou typech – *celistvá* a *skládaná* a její nedílnou součástí může být taktéž i přidržovač a vyhazovač. Rádiusy jejich hran mají značný vliv na celkovou velikost ohybové síly a jsou voleny jako 2 až 6 násobek tloušťky ohýbaného plechu. V případě, jsou-li tyto rádiusy rozdílných hodnot, může dojít vlivem nestejně dlouhých ramen ohýbaného výrobku k nežádoucímu posuvu materiálu. Tomu se v praxi zabraňuje několika způsoby, např. použitím přidržovače, zalisováním kalených špiček do ohybníku nebo přidržovače, či použitím pomocných kolíků, které zapadají do předem vystřižených otvorů. Ohybnice jsou zpravidla konstruovány z ocelí třídy 11, vložky skládaných ohybnic z nástrojových ocelí.

Správnou úpravou konstrukce ohybníku a ohybnice lze eliminovat nežádoucí odpružení při ohybu, jak je patrné z příkladů na obr. 39.



Obr. 39 Způsoby eliminace odpružení [25]

□ *Zakládací dorazy*

Zajišťují správnou polohu materiálu při ohýbání, mohou být zafrézovány do ohybnice, nebo jsou realizovány pomocí přidavných lišt nebo kolíků.

□ *Vyhazovače a stírače*

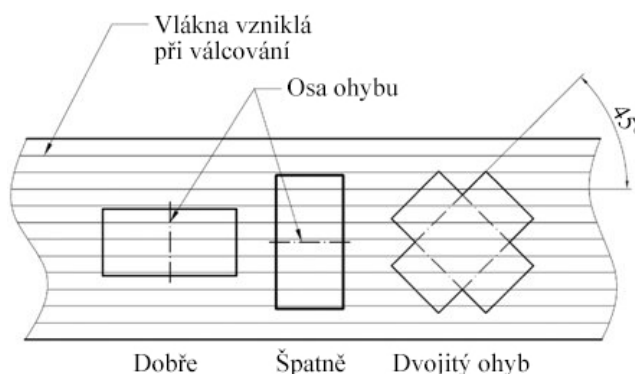
Použití vyhazovačů je nutné, zůstane-li ohýbaná součást po ohybu v ohybnici jejich pohyb je realizován pomocí táhel či pružin. Naopak použití stíračů je nutné, zůstává-li ohýbaná součást po ohybu na ohybníku a jsou součástí spodní, tedy nepohyblivé části nástroje.

3.7 Technologičnost ohýbaných součástí [34], [39]

Při navrhování technologičnosti konstrukce ohybu platí obdobné základní zásady jako při konstrukci výstřižků (kapitola 2.13). Proto jsou zde uvedeny jen některé charakteristické zásady při konstrukci ohýbaných součástí.

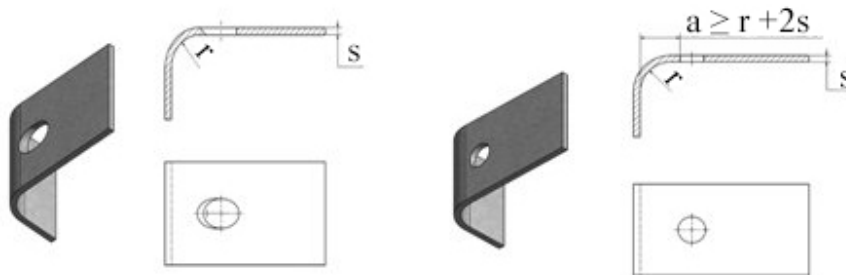
▪ Eliminace praskání a tvorby vln (vznik trhlin na vnější straně)

K tomuto jevu dochází při překročení kritické hodnoty poloměru ohybu $\frac{R}{s}$, což může být způsobeno jak zpevněním materiálu, tak jeho tepelným zpracováním. Je tedy vhodné, je-li osa ohybu kolmá na směr vláken materiálu (zvětší se tím odpružení) nebo minimálně pod úhlem 30° (obr. 40).



Obr. 40 Umístění osy ohybu v závislosti na směru válcování [39]

- Vhodný poloměr ohybu
Volit co největší minimální poloměr ohybu, aby odpružení bylo co nejmenší a aby nedošlo ke vzniku trhlin nebo nežádoucímu ztenčení materiálu.
- S rostoucí tvrdostí materiálu se zvětšuje vzdálenost místa ohybu od jeho kraje
- Výlisky s velkými poloměry ohybu je vhodné pro malou tuhost vyztužit žebry
- Posun materiálu při ohýbání je třeba eliminovat fixací z důvodů krátkých nebo nestejně dlouhých částí
- Přesné otvory v oblasti ohybu stříhat až dodatečně
Předem vystřižené otvory nebudou deformovány, pakliže budou jejich okraje od místa ohybu v dostatečné vzdálenosti.



Obr. 41 Vzdálenost od osy ohybu [39]

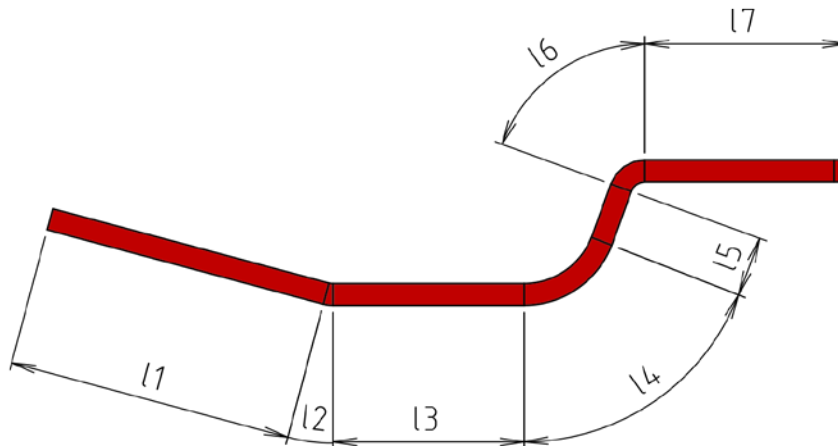
- Osu ohybu volit kolmo k obrysu součásti, aby nedocházelo k posunutí dílu při ohybu
- Součást neuzavírat vícenásobnými ohyby, aby nedocházelo na pohyblivé čelisti složitěho tvaru k problémům při vyjímání či zakládání součásti

4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

V kapitole 1 byla jako optimální způsob výroby součásti zvolena varianta výroby ve sdruženém postupovém nástroji technologiemi stříhání a ohýbání. Pro výrobní sérii 500 000 ks za rok je jako výchozí polotovary zvolen svitek plechu z materiálu S275JR o tloušťce 1,5 mm.

4.1 Rozměr polotovaru

Výchozí délka polotovaru v rozvinutém stavu se určí pomocí vzorců (3.6) a (3.7) z kapitoly 3.4; pro všechny ohyby na součásti platí $R_0 < 12s$.



Obr. 42 Schéma určení délky polotovaru

Velikosti jednotlivých délek:

$$l_1 = 19,77 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 165}{180} \cdot (1 + 0,38 \cdot 1,5) = 1,24 \text{ mm}$$

$$l_3 = 14 \text{ mm}$$

$$l_4 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 110}{180} \cdot (5 + 0,46 \cdot 1,5) = 6,12 \text{ mm}$$

$$l_5 = 3,80 \text{ mm}$$

$$l_6 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 110}{180} \cdot (1 + 0,38 \cdot 1,5) = 1,44 \text{ mm}$$

$$l_7 = 14 \text{ mm}$$

Hodnoty součinitele x byly určeny na základě poměrů $\frac{R_0}{s}$ z tab. 8.

Celková délka je pak součtem jednotlivých dílčích rovinných délek a oblouků:

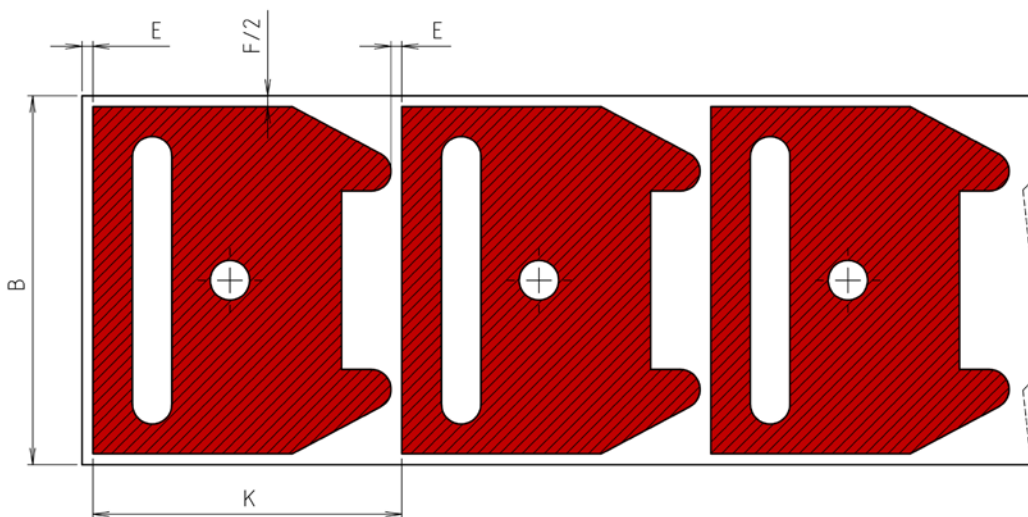
$$L_c = \sum_{i=1}^n l_i = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7$$

$$L_c = 19,77 + 1,24 + 14 + 6,12 + 3,80 + 1,44 + 14 = 60,35 \text{ mm}$$

4.2 Varianty uspořádání výstřížků na páse plechu

Součást v rozvinutém stavu má přibližný tvar obdélníka, proto můžeme uvažovat její příčné a podélné umístění na páse plechu. Pro obě tyto varianty je jako polotovar použit svitek plechu, jehož výpočtová délka byla vztažena na 1000 mm. Svitky plechů jsou již z výroby žárově zinkovány a dle potřeby olejovány [28].

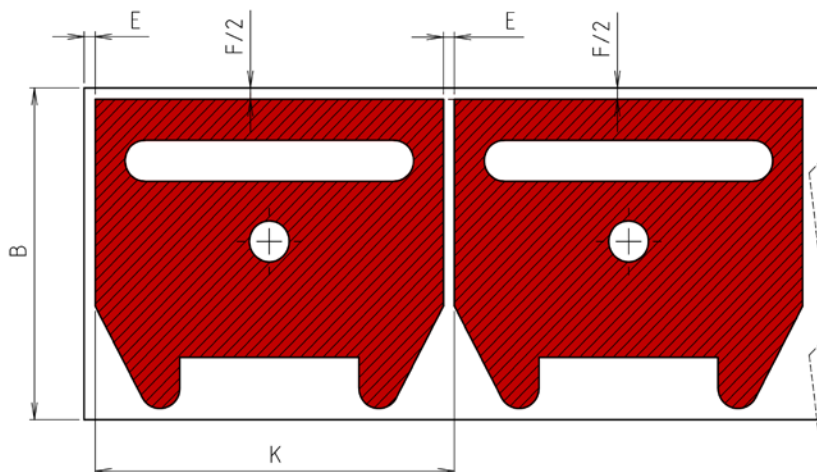
□ Varianta 1 (obr. 43)



Obr. 43 Uspořádání výstřížků na páse plechu – Varianta 1

Délka pásu plechu	$L = 1000 \text{ mm}$ (volena pro výpočet)
Velikost můstku	$E = 2,5 \text{ mm}$ (viz příloha 3)
Velikost ostříženého okraje	$F = 6 \text{ mm}$ (viz příloha 3)
Šířka pásu plechu	$B = 70 + F = 70 + 6 = 76 \text{ mm}$
Délka kroku	$K = 60,35 + E = 60,35 + 2,5 = 62,85 \text{ mm}$
Počet výstřížků na výpočtovou délku	$n_v = \frac{L-E}{K} = \frac{1000-2,5}{62,85} \approx 15 \text{ ks}$
Využití materiálu (dle vzorce 2.15)	$\eta = \frac{n_v \cdot S_0}{S_P} \cdot 100 = \frac{15 \cdot 3082,79}{76000} \cdot 100 = 60,8 \%$

□ Varianta 2 (obr. 44)



Obr. 44 Uspořádání výstřížků na páse plechu – Varianta 2

Délka pásu plechu	$L = 1000 \text{ mm}$ (volena pro výpočet)
Velikost můstku	$E = 2,5 \text{ mm}$ (viz příloha 3)
Velikost ostříženého okraje	$F = 6 \text{ mm}$ (viz příloha 3)
Šířka svitku plechu	$B = 60,35 + F = 60,35 + 6 = 66,35 \approx 67 \text{ mm}$
Délka kroku	$K = 70 + E = 70 + 2,5 = 72,35 \text{ mm}$
Počet výstřížků na výpočtovou délku	$n_v = \frac{L-E}{K} = \frac{1000-2,5}{72,35} \approx 13 \text{ ks}$
Využití materiálu (dle vzorce 2.15)	$\eta = \frac{n_v \cdot S_0}{S_P} \cdot 100 = \frac{13 \cdot 3082,79}{67000} \cdot 100 = 59,8 \%$

□ *Zhodnocení variant*

U *varianty 1* jsou výlisky orientovány příčně vůči pásu plechu. Tato varianta nabízí o něco málo lepší využití pásu plechu oproti *variantě 2*. Na té jsou výlisky orientovány podélně vůči pásu plechu. Přímé srovnání obou variant je uvedené v tab. 9.

Tab. 9 Zhodnocení variant

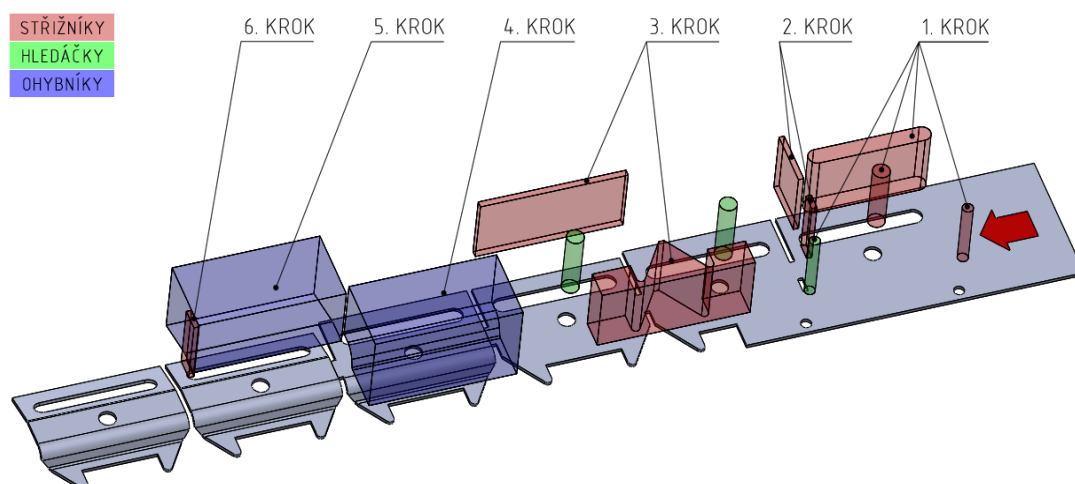
	Varianta 1	Varianta 2
Počet výstřížků na délce L [ks]	15	13
Využitelnost materiálu [%]	60,8	59,8
Umístění vůči pásu plechu	Příčné	Podélné

Z hlediska využitelnosti pásu plechu se jako výhodnější jeví *varianta 1*. V případě použití srušeného postupového nástroje však toto kritérium není možné brát jako jediné. Rozmístění výstřížků na pásu plechu musí respektovat složitost (hospodárnost výroby a údržby) nástroje a technologii dalšího zpracování.

4.3 Varianty výrobních postupů

□ *Varianta 1* (obr. 45)

Pro tuto metodu byla použita *Varianta 2* rozmístění výlisků na pásu plechu. Výlisek je vytvořen v 6 krocích takto:

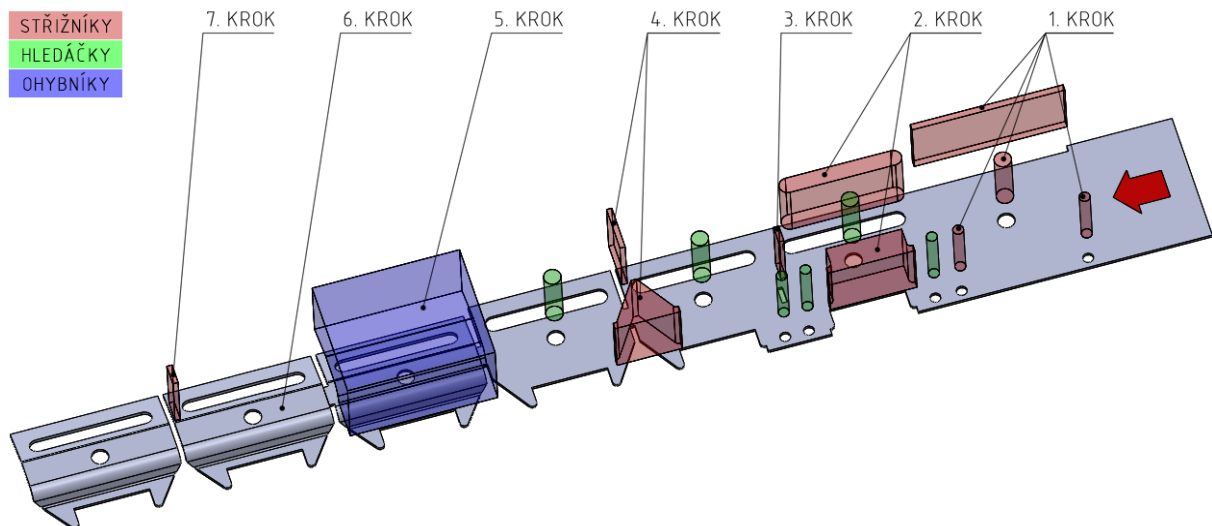


Obr. 45 Varianta 1 stříhání a ohýbání výlisku

1. krok Vystřížení oválného a kruhových otvorů
2. krok Zahledání za vystřížené otvory a prostřížení příčných hran
3. krok Zahledání za vystřížený otvor, vystřížení obrysu a odstřížení podélné hrany
4. krok Přidržení a dvojitý ohyb ve tvarovém ohybníku a ohybnici
5. krok Přidržení a finální „V“ ohyb
6. krok Odstřížení a propad součásti

□ *Varianta 2* (obr. 46)

Pro tuto metodu byla použita *Varianta 2* rozmístění výlisků na páse plechu. Výlisek je vytvořen v 7 krocích takto:

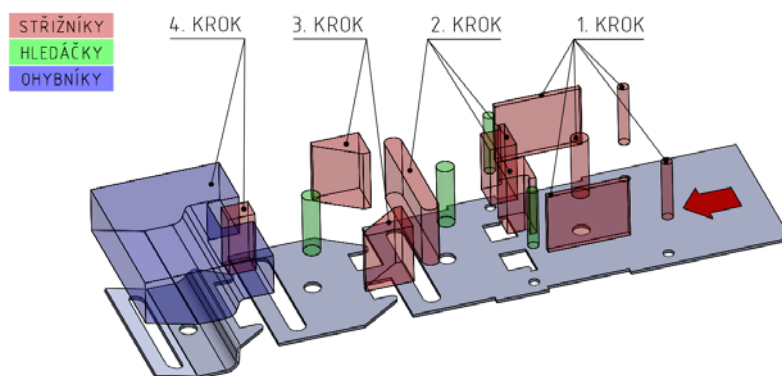


Obr. 46 *Varianta 2* stříhání a ohýbání výlisku

1. krok Vystřížení kruhových otvorů, ostřížení podélné hrany krokovým nožem
2. krok Zahledání za vystřížené otvory, vystřížení části obrysu a oválného otvoru
3. krok Zahledání za vystřížené otvory a prostřížení části příčné hrany
4. krok Zahledání za vystřížený otvor, vystřížení zbytku obrysu a příčné hrany
5. krok Přidržení a ohyb součásti do konečného tvaru
6. krok Prázdný krok
7. krok Odstřížení a propad součásti

□ *Varianta 3* (obr. 47)

Pro tuto metodu byla použita *Varianta 1* rozmístění výlisků na páse plechu. Výlisek je vytvořen ve 4 krocích takto:



Obr. 47 *Varianta 3* stříhání a ohýbání výlisku

1. krok Vystřížení kruhových otvorů a odstřížení podélných hran
2. krok Zahledání za vystřížené otvory, vystřížení oválného otvoru a spojovacího můstku
3. krok Zahledání za vystřížené otvory, dostřížení konečného obrysu
4. krok Přidržení, ohyb součásti do konečného tvaru a odstřížení

□ *Zhodnocení variant*

Výhodami všech výše uvedených metod je vysoká produktivita, možnost automatizace a obsluha stroje jedním pracovníkem. Jelikož je u všech variant použit jako polotovar svitek plechu, jejich společnou nevýhodou bude nutnost přídavného mechanizačního zařízení (odvíječka, rovnačka, podavač atd.). Tímto lze ale zajistit krok posuvu materiálu v nástroji.

U konstrukčního řešení *varianty 1* je stříh obvodu rozvinutého stavu výlisku realizován tvarově složitějšími střížníky. To by vedlo k vyšší ceně výroby a údržby nástroje. Dále je u této metody použit menší počet hledáček, což může vést k nepřesnostem při výrobě výlisku. Velikost kroku v tomto případě zajišťuje automatický podavač. Další problém může vzniknout při uchycení dělicího střížníku. Ten je umístěn velmi blízko ohybníku. Výhodou této metody je snadná tvorba spojovacího můstku.

Konstrukční provedení *varianty 2* je analogické *variantě 1*, je zde ale použito příznivěji rozmístěných a jednodušších střížníků včetně hledáček, což je ale oproti *variantě 1* vykoupeno jedním krokem navíc. Ostřihovací podélný nůž slouží zároveň jako krokový nůž, čímž je s dorazem společně s automatickým podavačem zaručen přesný krok. Ohyby jsou na součásti realizovány najednou a díky kalibraci ve stejném kroku nemusí být ohybník a ohybnice geometricky upraveny o úhly odpružení. Nevýhodou *variant 1* a *2* je, že směry vláken vzniklých při válcování budou totožné s osami ohybů na výlisku. Tímto je dosaženo menšího odpružení, R_{\min} je však v tomto případě nutno zvětšit o 10 až 40 % tak, aby nedošlo ke vzniku trhlin na vnější straně ohybů součásti [2].

Konstrukční *varianta 3* kombinuje nejlepší využití pásu pechu, použití rozmístění výlisků na pásu plechu kolmo na směrem vláken vzniklých válcováním vůči osám jejich ohybů a nejmenší počet kroků. Stříh by však byl proveden tvarově náročnějšími střížníky, tvorba spojovacího můstku by tak byla v tomto případě zbytečně složitá. Finální ohyby jsou orientovány směrem nahoru, což je méně výhodné než u předchozích dvou variant. Ohyb dále komplikuje i odstřížení součástí ve stejném kroku. To by vedlo k vysoké ceně nástroje a nutnosti použití konstrukčně nevýhodných řešení přidržovačů. Vznikala by tak také velká pravděpodobnost tvorby zmetků. Krok je u této varianty zajištěn automatickým podavačem.

□ *Výběr vhodné varianty*

Na základě výše uvedených hledisek, se přes největší počet kroků jako optimální *varianta 2*. Navržená součást nebude v provozním stavu příliš namáhána na ohyb, proto je možné tuto variantu úspěšně a bez problému použít. Pro *variantu 2* bude v dalších kapitolách zpracována technická dokumentace.

5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

V této části práce jsou provedeny kontrolní výpočty funkčních částí aktivního sdruženého postupového nástroje, dle uspořádání *Varianty 2* v kapitole 4.3.

5.1 Výpočty pro technologii stříhu

□ *Střížná síla*

Velikost střížné síly vypočítáme dle vzorce (2.3), obvody jednotlivých střížníků jsou určeny pomocí programu SolidWorks.

Kruhový střížník

$$F_{s1} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 25,13 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 14\,628 \text{ [N]}$$

Kruhový střížník hledáčku 1

$$F_{s2} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 15,71 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 9\,145 \text{ [N]}$$

Kruhový střížník hledáčku 2

$$F_{s3} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 15,71 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 9\,145 \text{ [N]}$$

Ostříhovací podélný střížník

$$F_{s4} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 151 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 87\,900 \text{ [N]}$$

Oválný střížník

$$F_{s5} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 125,13 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 72\,840 \text{ [N]}$$

Tvarový střížník 1

$$F_{s6} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 113,12 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 65\,849 \text{ [N]}$$

Ostříhovací příčný střížník 1

$$F_{s7} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 21,17 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 12\,324 \text{ [N]}$$

Tvarový střížník 2

$$F_{s8} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 82,11 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 47\,798 \text{ [N]}$$

Ostříhovací příčný střížník 2

$$F_{s9} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 49 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 28\,524 \text{ [N]}$$

Dělicí střížník

$$F_{s10} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 420 = 14\,553 \text{ [N]}$$

Celková střížná síla

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7} + F_{s8} + F_{s9} + F_{s10} \text{ [N]}$$

$$F_s = 14,6 + 9,1 + 9,1 + 87,9 + 72,8 + 65,8 + 12,3 + 47,7 + 28,5 + 14,5 \text{ [kN]}$$

$$F_s = 362\,706 \text{ [N]} = 362,7 \text{ [kN]}$$

□ *Síla pro setření materiálu ze střížníku*

Velikost síly k setření určíme dle empirického vztahu (2.4)

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s = 0,13 \cdot 362,7 = 47,1 \text{ [kN]}$$

□ *Síla pro vysunutí výstřížku ze střížnice*

Velikost síly pro vysunutí výstřížku ze střížnice určíme dle vztahu (2.5)

$$F_v = k_{ev} \cdot n_v \cdot F_s = 0,05 \cdot 2 \cdot 362,7 = 36,2 \text{ [kN]}$$

Počet výstřížků volen $n_v = 2$.

□ *Celková střižná síla*

Velikost celkové střižné síly určíme jakou součet dílčích sil dle vztahu (2.6):

$$F_{CS} = F_S + F_u + F_v = 362,7 + 47,1 + 36,2 = 446,0 \text{ [kN]}$$

□ *Střižná práce*

Velikost střižné práce vypočítáme ze vztahu (2.7):

$$A = \frac{\lambda \cdot F_S \cdot s}{1000} = \frac{0,5 \cdot 362\,706 \cdot 1,5}{1000} = 272,0 \text{ [J]}$$

□ *Střižná vůle*

Velikost střižné vůle určíme dle vztahu (2.8):

$$z = 0,32 \cdot C \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,32 \cdot 0,02 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 420} = 0,173 \text{ [mm]}$$
$$v = 2 \cdot z = 0,173 \cdot 2 = 0,346 \text{ [mm]}$$

□ *Střižný odpor*

Velikost střižného odporu vypočítáme dle vztahu (2.10):

$$K_S = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 420 = 336 \text{ [MPa]}$$

□ *Kontrola střižníků na otláčení* [24], [26]

$$\sigma = \frac{F_S}{S_S} \leq \sigma_{DOV} \text{ [MPa]} \tag{5.1}$$

kde je $F_S \dots$ střižná síla [N]
 $S_S \dots$ průmět plochy střižníku [mm²]

Velikost ploch jednotlivých střižníků je určena programem SolidWorks.

Kruhový střižník

$$\sigma_1 = \frac{F_{S1}}{S_{S1}} = \frac{14628}{50,27} = 290,9 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Kruhový střižník hledáčku 1

$$\sigma_2 = \frac{F_{S2}}{S_{S2}} = \frac{9145}{19,63} = 465,9 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Kruhový střižník hledáčku 2

$$\sigma_3 = \frac{F_{S3}}{S_{S3}} = \frac{9145}{19,63} = 465,9 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Ostříhovací podélný střižník

$$\sigma_4 = \frac{F_{S4}}{S_{S4}} = \frac{87900}{217,5} = 404,1 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Oválný střižník

$$\sigma_5 = \frac{F_{S5}}{S_{S5}} = \frac{72840}{450,27} = 161,8 \text{ [MPa]} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{není potřeba opěrné desky}$$

Tvarový střižník 1

$$\sigma_6 = \frac{F_{S6}}{S_{S6}} = \frac{65849}{492,39} = 133,7 \text{ [MPa]} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{není potřeba opěrné desky}$$

Ostříhovací příčný střižník 1

$$\sigma_7 = \frac{F_{S7}}{S_{S7}} = \frac{12324}{20,88} = 590,2 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Tvarový střížník 2

$$\sigma_8 = \frac{F_{S8}}{S_{S8}} = \frac{47798}{382,28} = 125,0 \text{ [MPa]} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{není potřeba opěrné desky}$$

Ostřihovací příčný střížník 2

$$\sigma_9 = \frac{F_{S9}}{S_{S9}} = \frac{28524}{55} = 518,6 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Dělicí střížník

$$\sigma_{10} = \frac{F_{S10}}{S_{S10}} = \frac{14553}{25} = 582,1 \text{ [MPa]} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{je potřeba opěrné desky}$$

Kontrola střížníků na otlacení ukázala, že v sedmi případech je u tvarových střížníků nutné použít kalenou opěrnou desku. V rámci konstrukčního zjednodušení bude na nástroji použita jedna celistvá kalená opěrná deska nad všemi střížníky, a to shodné velikosti jako je kotevní deska.

□ *Kontrola střížníků na vzpěr* [24], [26]

Pro zjištění největší možné délky, kdy nedojde ke k porušení vzpěrné stability, bude výpočet proveden na střížník s nejmenší plochou průřezu.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 2,08 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{3} \cdot 8,35 \cdot 2,5^3}{1,5 \cdot 12323}} = 78,4 \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

kde je

$E \dots$	modul pružnosti v tahu [MPa]
$I \dots$	kvadratický moment setrvačnosti [mm ⁴]
$n_b \dots$	součinitel bezpečnosti [-]
$F_S \dots$	střížná síla [N]

$$I_{obdelnika} = \frac{1}{3} h b^3 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (5.3)$$

kde je

$h \dots$	výška obdélníka [mm]
$b \dots$	šířka obdélníka [mm]

Kontrolou střížníků na vzpěr bylo zjištěno, že hodnota jejich největší délky musí být maximálně 78,4 mm, aby nedošlo během stříhacího procesu k jejich vybočení.

5.2 Výpočty pro technologii ohýbání

□ *Výpočet odpružení*

Hodnotu úhlu odpružení vypočítáme ze vztahů (3.1) a (3.2):

Ohyb 1 (tvar „V“)

$$tg \gamma = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{26,5}{0,61 \cdot 1,5} \cdot \frac{226}{2,06 \cdot 10^5} \Rightarrow \gamma = 0,682 \text{ [°]} = 0 \text{ [°]} \quad 41 \text{ [']}$$

Ohyb 2 (tvar polovičního „U“)

$$tg \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,75 \cdot \frac{11,9}{0,54 \cdot 1,5} \cdot \frac{226}{2,06 \cdot 10^5} \Rightarrow \gamma = 0,692 \text{ [°]} = 0 \text{ [°]} \quad 41 \text{ [']}$$

Ohyb 3 (tvar „V“)

$$tg \gamma = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{7,4}{0,61 \cdot 1,5} \cdot \frac{226}{2,06 \cdot 10^5} \Rightarrow \gamma = 0,191 \text{ [°]} = 0 \text{ [°]} \quad 11 \text{ [']}$$

Vzdálenosti délek l_v byly odměřeny v programu SolidWorks.

□ *Maximální poloměr ohybu*

Jeho hodnotu je možné určit ze vztahu (3.4):

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{2,06 \cdot 10^5}{226} - 1 \right) = 682,88 \text{ [mm]}$$

□ *Minimální poloměr ohybu*

Jeho hodnotu je možné určit ze vztahu (3.5):

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{\varepsilon_{t \max}} - 1 \right) = C \cdot s = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ [mm]}$$

Z důvodu použití varianty uspořádání výstřižků na páse plechu s totožným směrem vláken a osami ohybů je nutné R_{min} zvětšit o 10 až 40 % tak, aby nedocházelo ke vzniku trhlin na vnější straně ohybů součásti [2].

$$R_{min}' = 1,2 \cdot 0,75 = 0,9 \text{ [mm]} \quad (5.4)$$

□ *Ohybová síla*

Ohybovou sílu lze vypočítat dle následujících vztahů (3.9) a (3.10):

Ohyb 1 (tvar „V“)

$$F_{O1} = \frac{c_0 \cdot B \cdot s^2 \cdot R_m}{l_v} = \frac{1,18 \cdot 70 \cdot 1,5^2 \cdot 420}{26,5} = 2945,5 \text{ [N]}$$

Ohyb 2 (tvar polovičního „U“)

$$F_{O2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,5 \cdot c_0 \cdot B \cdot s^2 \cdot R_m}{l_v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,22 \cdot 70 \cdot 1,5^2 \cdot 420}{11,9} = 3390,9 \text{ [N]}$$

Ohyb 3 (tvar „V“)

$$F_{O3} = \frac{c_0 \cdot B \cdot s^2 \cdot R_m}{l_v} = \frac{1,27 \cdot 63,02 \cdot 1,5^2 \cdot 420}{7,4} = 10\,220,7 \text{ [N]}$$

Součet ohybových sil

$$F_O = F_{O1} + F_{O2} + F_{O3} = 2945,5 + 3390,9 + 10220,7 = 16\,557,1 \text{ [N]}$$

□ *Kalibrační síla*

Kalibrační sílu pro ohyb lze vypočítat dle vztahu (3.11):

$$F_K = 2,5 \cdot F_O = 2,5 \cdot 16\,557,1 = 36\,425,6 \text{ [N]}$$

□ *Celková ohybová síla*

$$F_{CO} = F_O + F_K = 16\,557,1 + 36\,425,6 = 52\,982,7 \text{ [N]} \quad (5.5)$$

□ *Přidržovací síla [4], [30]*

$$F_P = 0,25 \cdot F_{CO} = 0,25 \cdot 52\,982,7 = 13\,245,7 \text{ [N]} \quad (5.6)$$

□ *Ohybová práce*

Ohybová práci vypočítáme dle vztahu (3.12):

Ohyb 1

$$A_{O1} = \frac{(F_{O1} + F_P) \cdot \Psi \cdot h}{1000} = \frac{(2945,5 + 4139,3) \cdot 0,55 \cdot 3,58}{1000} = 13,95 \text{ [J]}$$

Ohyb 2

$$A_{o2} = \frac{(F_{O2} + F_P) \cdot \Psi \cdot h}{1000} = \frac{(3390,9 + 4139,3) \cdot 0,55 \cdot 6,24}{1000} = 25,85 \text{ [J]}$$

Ohyb 3

$$A_{o3} = \frac{(F_{O3} + F_P) \cdot \Psi \cdot h}{1000} = \frac{(10220,7 + 4139,3) \cdot 0,55 \cdot 5,06}{1000} = 39,96 \text{ [J]}$$

Celková práce

$$A_o = A_{o1} + A_{o2} + A_{o3} = 13,95 + 25,85 + 39,96 = 79,4 \text{ [J]} \quad (5.7)$$

□ *Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí* [24], [26]

Pro přibližné stanovení vůle pro oceli platí:

$$v = (1,05 \text{ až } 1,15)s = 1,1 \cdot 1,5 = 1,65 \text{ [mm]} \quad (5.8)$$

5.3 Celková lisovací síla

Celkovou lisovací sílu určíme jako součet dílčích střížných, stíracích, ohybových a přidržovacích sil.

$$F_{\text{celková}} = F_S + F_u + F_{CO} + F_P = 362,7 + 47,1 + 52,9 + 13,2 = 475,9 \text{ [kN]} \quad (5.9)$$

5.4 Určení polohy stopky

Zadaná součást bude vyráběna na mechanickém výstředníkovém lisu, proto je nutné, aby postupový sdržený nástroj obsahoval stopku. Aby beran lisu nebyl namáhán tzv. „klopným momentem“, musí být stopka umístěna přesně v těžišti výslednic všech tvářecích sil. Proto bude níže početně určena její poloha na nástroji (obr. 51).

Polohu těžišť jednotlivých směrů určíme ze vzorců (2.13) a (2.14):

$$X_T = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{\sum_{i=1}^{13} F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{13} F_i}$$

$$X_T = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4 + F_5 \cdot x_5 + F_6 \cdot x_6 + F_7 \cdot x_7 + F_8 \cdot x_8 + F_9 \cdot x_9 + F_{10} \cdot x_{10} + F_{11} \cdot x_{11} + F_{12} \cdot x_{12} + F_{13} \cdot x_{13}}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 + F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13}}$$

$$X_T = \frac{51\,495\,569,00}{379\,263,1} = 135,78 \text{ [mm]}$$

$$Y_T = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{\sum_{i=1}^{13} F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{13} F_i}$$

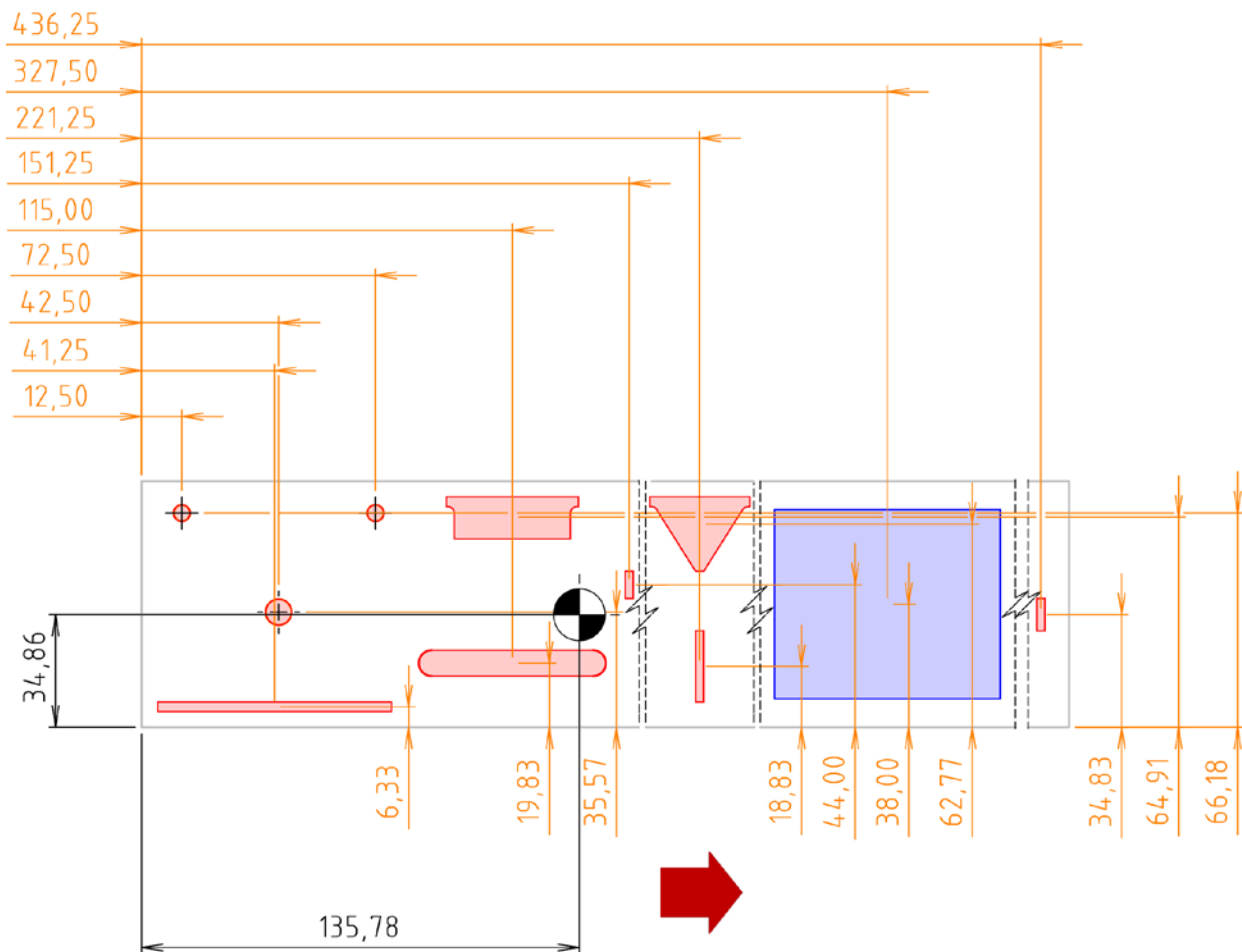
$$Y_T = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_4 \cdot y_4 + F_5 \cdot y_5 + F_6 \cdot y_6 + F_7 \cdot y_7 + F_8 \cdot y_8 + F_9 \cdot y_9 + F_{10} \cdot y_{10} + F_{11} \cdot y_{11} + F_{12} \cdot y_{12} + F_{13} \cdot y_{13}}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 + F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13}}$$

$$Y_T = \frac{13\,221\,527,12}{379\,263,1} = 34,86 \text{ [mm]}$$

Poloha těžiště T = [X_T; Y_T] = [135,78; 34,86] mm.

Tab. 10 Hodnoty pro výpočet těžišť

	x [mm]	y [mm]	F_i [N]	M_{Kx} [N.mm]	M_{Ky} [N.mm]
Hledáček 1	12,50	66,18	9 145,0	11 4312,50	605 216,10
Ostříhovač podélný	41,25	6,33	87 900,0	3 625 875,00	556 407,00
Kruh	42,50	35,57	14 628,0	621 690,00	520 317,96
Hledáček 2	72,50	66,18	9145,0	663 012,50	605 216,10
Ovál	115,00	19,83	72 840,0	8 376 600,00	1 444 417,20
Tvar 1	115,00	64,91	65 849,0	7 572 635,00	4 274 258,59
Ostříhovač příčný 1	151,25	44,00	12 324,0	1 864 005,00	542 256,00
Tvar 2	221,25	62,77	47 798,0	10 575 307,50	3 000 280,46
Ostříhovač příčný 2	221,25	18,83	28 524,0	6 310 935,00	537 106,92
Ohyb 1	327,50	38,00	2945,5	964 651,25	111 929,00
Ohyb 2	327,50	38,00	3390,9	1 110 519,75	128 854,20
Ohyb 3	327,50	38,00	10 220,7	3 347 279,25	388 386,60
Dělicí	436,25	34,83	14 553,0	6 348 746,25	506 880,99
			Σ 379 263,1	Σ 51 495 569,00	Σ 13 221 527,12



Obr. 48 Těžiště jednotlivých částí nástroje

5.5 Určení výrobních rozměrů aktivních částí nástroje

Zadaná součást nemá v provozním stavu po vnějším obvodu speciální nároky na přesnost, drsnost a jakost střížné plochy. Proto výrobní toleranci součásti určuje norma uvedená v rohovém razítku na výkrese.

U navrženého nástroje budou vedení zajišťovat vodící stojánky. Aby se zadaná součást mohla vyrábět v přesnosti tolerance IT 11, musí mít střížník a střížnice výrobní toleranci IT 8. Rozměry střížníku budou odpovídat uvedeným rozměrům zadané součásti, obdobně se vyrobí střížnice, jejíž rozměry budou zvětšeny o střížnou vůli.

Analogicky budou vyráběny ohybník a ohybnice. Jelikož je mezi výrobní operace zařazena také kalibrace, jejich rozměry budou kopírovat geometrii zadané součásti. Nemusí se tedy upravovat o úhly odpružení.

Jednotlivé otvory pro montážní prvky (šrouby, kolíky, atd.) budou vyráběny dle příslušných rozměrů v toleranci tak, aby mohlo dojít k bezproblémovému úspěšnému slícování při kompletaci nástroje.

6 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE [24], [42]

Volbu vhodného tvářecího stroje ovlivňuje několik hledisek. Jsou to zejména *tvářecí síla, požadovaná série součástí, rozměry vyráběné součásti* a v neposlední řadě *pořizovací cena zařízení i náklad na výrobu jednice*. Pro technologie tváření se nejčastěji používají tyto dva typy lisů:

- **mechanické** (výstředníkové, klikové, kolenové, kloubové, atd.)
Maximální síly dosahují v blízkosti dolní úvrati, lze je bez poškození přetížít (mají pojistku), mají velký zdvih – můžeme tvářet na dlouhé dráze.
- **hydraulické** (kovací, tažné, dílenské, protlačovací, razící, atd.)
Jsou charakteristické rovnoměrným působením tlakové síly ve všech směrech, během tvářecího procesu mají konstantní velikost tvářecí síly, dosahují velké jmenovité síly a lze u nich plynule regulovat rychlost beranu.

V praxi je pak často hlavním měřítkem pro výběr tvářecího stroje dosavadní technický park dané firmy, kde se součást bude vyrábět.

6.1 Volba stroje

Abychom mohli rozhodnout o volbě tvářecího stroje (lisu), zrekapitulujeme si všechny důležité síly, které působí během tvářecího procesu:

$$\begin{array}{ll} \text{Střížná síla:} & F_{CS} = 446,0 \text{ [kN]} \\ \text{Ohybová síla:} & F_{CO} = 52,9 \text{ [kN]} \end{array}$$

$$\text{Celková síla:} \qquad \qquad \qquad F_{\text{celková}} = 475,9 \text{ [kN]}$$

Pro výrobu zadané součásti je vhodný jako tvářecí stroj výstředníkový lis. Pro zpracování plechů je to nejpoužívanější a pro svou jednoduchost i oblíbený zástupce mechanických lisů. Pomocí výstředníku (excentru) lze snadno měnit jeho pracovní zdvih, čímž je zajištěna i bezpečnost práce. Výstředníkové lisy dle typů dosahují 40 až 400 zdvihů za minutu.

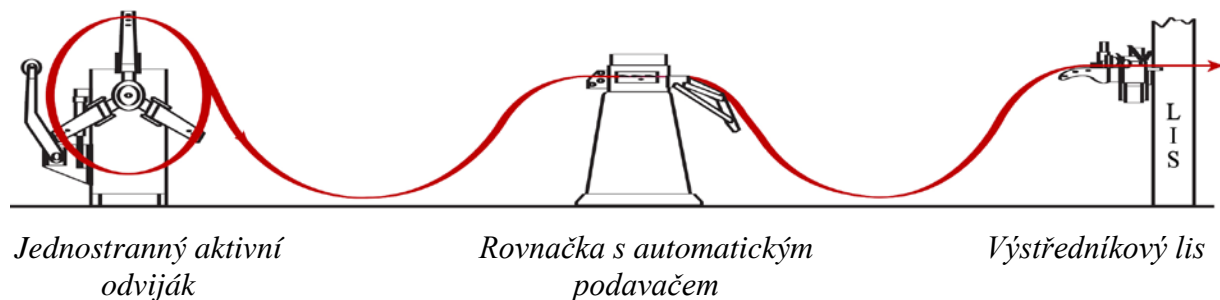
Na základě celkové síly potřebné pro výrobu zadané součásti volím **výstředníkový lis ŠMERAL S160 (příloha 4)** o jmenovité síle 1600 kN. Tento výstředníkový lis patří u nás k nejrozšířenějším, proto lze u něj zajistit bezproblémový servis.

Základní technické parametry výstředníkového lisu ŠMERAL S160

Tvářecí síla	1600 [kN]
Sevření	500 [mm]
Vyložení	400 [mm]
Upínací plocha stolu	1200 x 800 [mm]
Upínací plocha beranu	860 x 520 [mm]
Stavitelný zdvih	20 až 160 [mm]
Počet zdvihů	40 až 60 [mn ⁻¹]
Celkový instalovaný výkon	23,0 [kW]
Rozměry d x š x v	2310 x 1270 x 2585 [mm]
Hmotnost stroje	10 150 [kg]

6.2 Výrobní linka

Zadaná součástka bude vyráběna na automatické výrobní lince. Ta bude sestávat z těchto zařízení: *jednostranný aktivní odvíják svitku plechu*, *rovnačka s automatickým podavačem* a *výstředníkový lis*. Tato linka bude obsluhována jedním pracovníkem, který bude zajišťovat výměnu svitků plechu na odvíjáku, řízení výstředníkového lisu a manipulaci s hotovými součástkami a odpadem. Jednotlivá strojní zařízení této výrobní linky jsou navržena tak, aby splňovaly plynulou, bezpečnou a bezproblémovou výrobu zadané součástky.



Obr. 49 Schéma výrobní linky [29]

Na základě potřebných parametrů výrobní linky je pro ni voleno toto strojní zařízení:

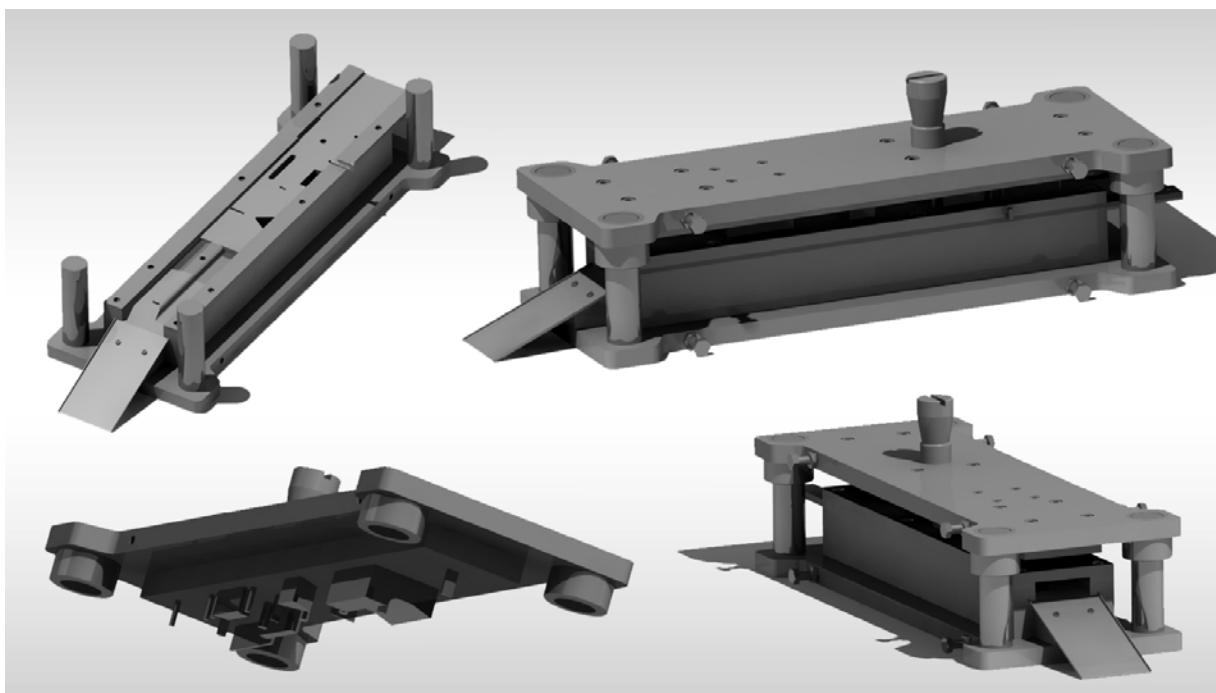
- **Jednostranný aktivní odvíják REBENDA DA 1030**
Plní funkci zásobníku materiálu, pomocí něj se materiál odvíjí k dalšímu zařízení na výrobní lince. Technické údaje viz **příloha 5**.
- **Rovnačka s automatickým podavačem ELTECH QPRM 300/4**
Pomocí ní dochází k rovnání materiálu ze svitku plechu a zároveň se podílí na zajištění kroku v nástroji. Technické údaje viz **příloha 6**.
- **Výstředníkový lis ŠMERAL S160**
Tento výstředníkový lis byl zvolen v kapitole 6.1; v jeho pracovním prostoru je upnut sružený postupový nástroj, prostřednictvím něhož je zadaná součástka vyráběna. Technické údaje viz **příloha 4**.

7 POPIS NÁSTROJE

Nástroj sestává ze dvou hlavních montážních celků – horní a spodní části. Tyto části jsou proti sobě vedeny čtyřmi vodicími sloupky o průměru 35 mm, přičemž v horní části nástroje jsou sloupky uloženy v kluzných pouzdrech a v dolní části nástroje jsou zalisovány do základní desky.

Stopka, spojená v horní části nástroje s upínací deskou, zajišťuje mechanické spojení s výstředníkovým lisem ŠMERAL S160 (viz volba stroje). K upínací desce je dále pomocí osmi šroubů M8 s vnitřním šestihranem přišroubována kotvící deska. V ní jsou pomocí osazení uloženy jednotlivé kruhové, tvarové a ostříhovací střížníky, hledáčky a ohybník – ten je zvlášť přišroubován čtyřmi šrouby M6 s vnitřním šestihranem. Mezi upínací a kotvící deskou je pak vložena kalená opěrná deska tak, aby nedocházelo k otlacení kotvící desky střížníky. Její rozměry kopírují kotvící desku. Do ohybníku je vložen odpružený hledáček, který během jednotlivých zdvihů nástroje zajíždí do protilehlého otvoru v ohybnici. Tímto se během celého ohýbacího procesu zpřesňuje vzájemná poloha součástí a nástroje.

Prvky spodní části nástroje jsou ukotveny na základní desce. V ní jsou zhotoveny otvory, jimiž vystřížený plechový odpad z jednotlivých kroků propadá skrze střížnici do připravených kontejnerů. Odpad je následně recyklován. Obdobně jako v horní části upínací deska, je střížnice připevněna k základní desce osmi šrouby M8 s vnitřním šestihranem, přičemž ohybnice je jištěna samostatnými čtyřmi šrouby M6. Na střížnici jsou přišroubovány vodicí lišty, které zajišťují vedení pásu plechu během tvářecího procesu. Oproti nástroji jsou předloženy o 80 mm. To usnadňuje prvotní zavádění pásu plechu do nástroje. Při této operaci obsluha linky použije načínací doraz, který musí manuálně zasunout do nástroje. Tím je zajištěn přesný první krok a jsou eliminovány délkové nepřesnosti od automatického podavače, který společně s krokovým ostříhovacím nožem zajišťují chod následných kroků. Na vodicích lištách leží přišroubovaná vodicí deska, ta vede jednotlivé střížníky a zároveň při zpětném zdvihu nástroje plní funkci stěrače případně ulpěného materiálu. Aby nedošlo k nadměrnému zajetí horní části nástroje do spodní, je na vodicí desce umístěn výškový doraz příslušné odpovídající výšky. Po odstřížení součásti v posledním kroku opouští hotová součástka prostřednictvím skluzu pracovní prostor nástroje do připravených beden. Na bocích horní i spodní části nástroje jsou přimontovány kotvící úchytné čepy, umožňující snadnější manipulaci s nástrojem při transportu. Vizualizace popisovaného nástroje je znázorněna na obr. 50.



Obr. 50 Vizualizace sruženého postupového nástroje

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem tohoto ekonomického zhodnocení je finanční studie efektivity a návratnosti výroby zadané součásti. Všechny vstupní hodnoty a nákladové položky zohledňují požadovaný objem výroby součásti 500 000 ks za rok, avšak nezohledňují náklady na automatickou výrobní linku, která se již v technickém parku dané firmy nachází.

Níže uvedené výpočty jsou v souladu se vstupními hodnotami v tab. 11.

Tab. 11 Vstupní hodnoty

Životnost nástroje	$T_s = 1\,250\,000$ zdvihů $\approx 2,5$ roku
Roční výrobní dávka	$Q = 500\,000$ ks
Jednicové mzdy	$JM = 100$ %
Výrobní režie	$VR = 445$ %
Správní režie	$SR = 120$ %
Ostatní přímé náklady	$OPN = 25$ %
Zpracovatelská režie	$ZR = 690$ %

- *Zpracovatelská režie*

$$ZR = JM + VR + SR + OPN = 100 + 445 + 120 + 25 = 690 \text{ [%]} \quad (8.1)$$

- *Pracovní třídy [22]*

Tab. 12 Pracovní třídy

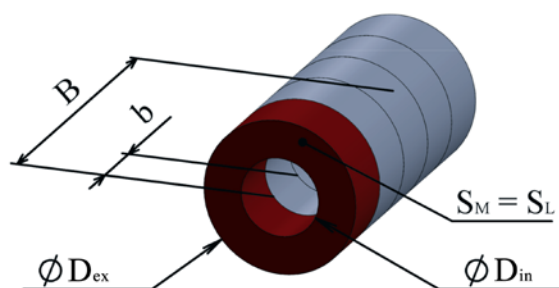
TTK6 (obsluha linky)	TTK6 (seřizovač)	TTK7 (nástrojař)
130 Kč/hod	150 Kč/hod	150 Kč/hod

Jednotlivé pracovní třídy jsou stanoveny pro Jihomoravský kraj a jsou v nich započteny náklady hrazené zaměstnavatelem, tj. sociální a zdravotní pojištění.

8.1 Přímé náklady

Přímé náklady zahrnují tu část nákladů, která lze jasně definovat v souvislosti s určitou kalkulační jednicí. Dají se zjistit přímo a přesně a představují výdaje za materiál, režie za mzdy a spotřebované energie. Přímé náklady podléhají příslušným technickohospodářským normám.

8.1.1 Náklady na materiál



Velikost můstku	$E = 2,5$ mm
Velikost ostříženého okraje	$F = 6$ mm
Šířka svitku plechu	$b = 67$ mm
Délka kroku	$K = 72,35$ mm
Využití materiálu	$\eta = 63,6$ %

Obr. 51 Schéma svitku pro výpočet

- *Hmotnost m_s jednoho svitku*

Vycházíme z maximálního průměru D_{ex} (1500 mm), který můžeme na jednostranném aktivním odvíjátku REBENDA DA 1030 použít; jeho maximální nosnost je 1000 kg [30].

$$m_s = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{D_{ex}^2 - D_{in}^2}{4} \cdot \pi \cdot b = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1500^2 - 590^2}{4} \cdot \pi \cdot 67 = 785,64 \text{ [kg]} \quad (8.2)$$

kde je ρ ... hustota oceli [kg.mm⁻³]
 V ... objem svitku [mm³]
 D_{ex} ... max. vnější průměr svitku [mm]
 D_{in} ... max. vnitřní průměr svitku [mm]
 b ... šířka svitku materiálu [mm]

□ *Plocha mezikruží svitku*

$$S_M = \frac{(D_{ex}^2 - D_{in}^2) \cdot \pi}{4} = \frac{(1500^2 - 590^2) \cdot \pi}{4} = 1\,493\,748,8 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (8.3)$$

□ *Délka jednoho pásu svitku plechu*

$$S_M \approx S_L = L \cdot s \Rightarrow L = \frac{S_M}{s} = \frac{1\,493\,748,8}{1,5} \cong 995\,832 \text{ [mm]} \cong 995,8 \text{ [m]} \quad (8.4)$$

kde je L ... délka pásu svitku [mm]
 s ... tloušťka plechu [mm]

□ *Počet výstřížků z jednoho svitku*

$$n_v = \frac{L-E}{K} = \frac{995\,832-2,5}{72,35} \cong 13\,764 \text{ [ks]} \quad (8.5)$$

kde je E ... velikost můstku [mm]
 K ... délka kroku [mm]

□ *Potřebný počet svitků na celou sérii*

$$q_c = \frac{Q}{n_v} = \frac{500\,000}{13\,764} \cong 37 \text{ [ks]} \quad (8.6)$$

□ *Využití materiálu*

Výpočet dle vzorce 2.15:

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_0}{S_P} \cdot 100 = \frac{13\,764 \cdot 3082,79}{66\,720\,744} \cdot 100 = 63,6 \%$$

□ *Zhodnocení odpadu*

$$V_o = \frac{100-\eta}{100} \cdot m_s \cdot p_o \cdot q_c = \frac{100-63,6}{100} \cdot 785,64 \cdot 5 \cdot 37 = 52\,905 \text{ [Kč]} \quad (8.7)$$

kde je p_o ... cena za 1 kg odpadu [Kč]

Výkupní cena za 1 kg železa byla stanovena dle ceníku firmy Barko s.r.o. [4].

□ *Náklady na materiál*

▪ Celkové

$$N_m = (m_s \cdot p_m \cdot q_c) - V_o = (785,64 \cdot 28 \cdot 37) - 52\,905 = 761\,018 \text{ [Kč]} \quad (8.8)$$

kde je p_m ... cena za 1 kg materiálu [Kč]

Prodejní cena svitku plechu za 1 kg materiálu S275JR byla stanovena dle nacenění firmy ROSSO STEEL, a.s. a zahrnuje i náklady za dělení a dopravu k zákazníkovi [28].

- Na jednu součást

$$N_{mj} = \frac{N_m}{Q} = \frac{761\,018}{500\,000} = 1,52 \text{ [Kč]} \quad (8.9)$$

Tab. 13 Náklady na materiál

Parametr	Hodnota	Jednotka
Cena za 1 kg materiálu ve svitku plechu	28	Kč
Cena za 1 kg materiálu odpadu	5	Kč
Využití svitku plechu	63,6	%
Plocha svitku plechu	66 720 744	mm ²
Plocha jednoho výstřížku	3082,79	mm ²
Počet výstřížků z jednoho svitku plechu	13 764	ks
Celková cena materiálu	761 018	Kč
Cena materiálu za jednu součást	1,52	Kč

8.1.2 Náklady na mzdy

Pracovní doba obsluhy linky je 8,5 hodin. Tato doba je rozdělena na jednotlivé časy:

- Výrobní čas: $t_{vs} = 6,5$ hod
- Kontrolní čas: $t_{ks} = 1$ hod
- Čas na údržbu: $t_{us} = 0,5$ hod
- Povinná přestávka na jídlo a oddech: $t_{ps} = 0,5$ hod (viz § 88 Zákoníku práce)

- *Doba výroby dané série*

$$t_v = \left(\frac{t_A}{60} + \frac{t_B}{60 \cdot n_v} \right) \cdot Q = \left(\frac{0,0167}{60} + \frac{30}{60 \cdot 13\,764} \right) \cdot 500\,000 = 157,32 \text{ [Nhod]} \quad (8.10)$$

kde je t_A ... čas jednotkové práce: $t_A = \frac{60}{60 \cdot 60} = 0,0167 \text{ [min]}$
 t_B ... čas dávkové práce: $t_B = 30 \text{ [min]}$ (výměnu svitku, příprava a kontrola)

Počet zdvihů výstředníkového lisu ŠMERAL S160 dle **přílohy 4** je 60 min^{-1} .

- *Počet součástí vyrobených za hodinu*

$$n_h = n_L \cdot 60 = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ [ks]} \quad (8.11)$$

kde je n_L ... využitelný počet zdvihů lisu [min^{-1}]

- *Počet součástí vyrobených za směnu*

$$n_{ssm} = t_{vs} \cdot n_h = 6,5 \cdot 3600 = 23\,400 \text{ [ks]} \quad (8.12)$$

- *Počet směn*

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{ssm}} = \frac{500\,000}{23\,400} \cong 22 \text{ [-]} \quad (8.13)$$

Série 500 000 ks součástí bude vyráběna 22 směn.

- *Náklady na mzdy*

- Celkové

$$N_{mz} = M \cdot t_v = 130 \cdot 157,32 = 20\,452 \text{ [Kč]} \quad (8.14)$$

kde je M ... hodinový plat obsluhy automatické výrobní linky [Kč]

- Na jednu součást

$$N_{mzj} = \frac{N_{mz}}{Q} = \frac{20\,452}{500\,000} = 0,041 \text{ [Kč]} \quad (8.15)$$

Tab. 14 Náklady na mzdy

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hodinová mzda	130	Kč/hod
Počet zdvihů lisu	60	min ⁻¹
Teoretický počet ks za hod	3600	ks
Kusů ze svítku	13 764	ks
Teoretický čas pro zpracování jednoho svítku	4,3	hod
Výměna svítku, zavedení pásu, kontrola, oprava	0,5	hod
Podíl mezd na ks	0,041	Kč
Podíl mezd na sérii	20 500	Kč

8.1.3 Náklady na energii

Náklady na energii se vypočítají z příkonů jednotlivých strojů.

- Celkové

$$N_e = (P_O + P_R + P_L) \cdot \left(\frac{t_A}{60} \cdot Q\right) \cdot p_e \text{ [Kč]} \quad (8.16)$$

$$N_e = (2,2 + 3,2 + 23) \cdot \left(\frac{0,0167}{60} \cdot 500\,000\right) \cdot 4,61 = 18\,220 \text{ [Kč]}$$

kde je P_O ... příkon odvíjáku [kW]
 P_R ... příkon rovnačky [kW]
 P_L ... maximální možný příkon lisu [kW] (účinník se během zatížení lisu mění)
 p_e ... cena za 1 kWh (V Jihomoravském kraji $p_e = 4,61$ Kč/kWh v roce 2013)

- Na jednu součást

$$N_{ej} = \frac{N_e}{Q} = \frac{18\,220}{500\,000} = 0,036 \text{ [Kč]} \quad (8.17)$$

Tab. 15 Náklady na energii

Parametr	Hodnota	Jednotka
Cena elektřiny za 1 kWh	4,61	Kč
Příkon odvíjáku	2,2	kW
Příkon rovnačky s podavačem	3,2	kW
Maximální příkon výstředníkového lisu	23	kW
Cena za spotřebovanou energii při výrobě série	18 220	Kč
Cena energie na výrobu jedné součásti	0,036	Kč

8.2 Nepřímé náklady

Tyto náklady zahrnují všechny společné výdaje na samostatný proces výroby součásti či další firemní činnosti. Mezi ně se řadí i společné více druhové výkony – správní a výrobní režie. Vzhledem k tomu, že nepřímé náklady nemají přímý vztah k objemu výroby, jejich rozpočtování je tak obtížnější.

- *Správní režie*

$$N_{sr} = 115 \% \cdot N_{mz} = 1,20 \cdot 20\,452 = 24\,542 \text{ [Kč]} \quad (8.18)$$

- *Výrobní režie*

$$N_{vr} = 445 \% \cdot N_{mz} = 4,45 \cdot 20\,452 = 91\,011 \text{ [Kč]} \quad (8.19)$$

8.2.1 Náklady na nástroj

Tyto nákladové položky zahrnují nákup materiálu, s ním spojenou logistiku, teplené zpracování materiálu, normalizované díly (z pravidla kolíky, podložky, pružiny, stopka, atd.). Největší touto nákladovou položkou pak bývá samotná výroba nástroje. Odhadovaný čas na výrobu nástroje $VČ = 220 \text{ Nh}$ v TTK7.

- *Náklady na jednicové mzdy*

$$JM = VČ \cdot TTK7 = 220 \cdot 150 = 33\,000 \text{ [Kč]} \quad (8.20)$$

- *Zpracovatelské náklady*

$$ZN = JM \cdot ZR = 33\,000 \cdot 690 \% = 227\,700 \text{ [Kč]} \quad (8.21)$$

- *Zisk nářad'ovny*

Zisk nářad'ovny činí 25 % ze zpracovatelských nákladů.

$$Z = ZN \cdot 25 \% = 227\,000 \cdot 0,25 = 56\,925 \text{ [Kč]} \quad (8.22)$$

- *Cena za materiál*

Odhadovaná cena za materiál je $M = 10\,000 \text{ Kč}$.

Tab. 16 Cena materiálu pro výrobu nástroje

Materiál	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Cena celkem [Kč]
Ocel třídy 11	100	30	3 000
Ocel třídy 19	60	95	5 700
Spojovací materiál	–	–	1 300
Cena celkem	–	–	10 000

Prodejní cena za 1 kg materiálu byla stanovena dle nacenění firmy Feron a.s. [13].

- *Náklady na nástroj*

$$N = ZN + Z + M = 227\,000 + 56\,925 + 10\,000 = 293\,925 \text{ [Kč]} \quad (8.24)$$

Odhadovaná celková cena nástroje je **300 000 Kč**.

8.3 Celkové náklady

- Celkové

$$N_C = N_m + N_{mz} + N_e + N_{sr} + N_{vr} + N \text{ [Kč]} \quad (8.25)$$

$$N_C = 761\,018 + 20\,452 + 18\,220 + 24\,542 + 91\,011 + 300\,000 = 1\,215\,243 \text{ [Kč]}$$

- Na jednu součást

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q} = \frac{1\,215\,243}{500\,000} = 2,43 \text{ [Kč]} \quad (8.26)$$

8.4 Cena součásti

Celková cena součásti je určena na základě dílčích nákladů na jednici a je navýšena o ziskovou marži, která činí 60 %.

$$p_s = 1,6 \cdot 2,43 = 3,88 \text{ [Kč]} \quad (8.27)$$

□ *Celkové tržby*

$$T_C = 1,6 \cdot 1\,215\,243 = 1\,944\,388 \text{ [Kč]} \quad (8.28)$$

□ *Celkový zisk*

$$Z_C = T_C - N_C = 1\,944\,388 - 1\,215\,243 = 729\,146 \text{ [Kč]} \quad (8.29)$$

Prodejní maloobchodní cenu součásti pak budou ovlivňovat další s ní spojené náklady, jako např. náklady na logistiku, balení, obchodní marže atd.

Tab. 17 Porovnání ceny součásti s nabídkami oslovených firem [12]

Vypočtená cena	TECHNOTRADE OBRÁBĚČÍ STROJE s.r.o.	HM-Metal s.r.o.
3,88 Kč	18,00 Kč	5,90 Kč

Vysoká cena součásti, poptávané u firmy TECHNOTRADE OBRÁBĚČÍ STROJE s.r.o., je způsobena tím, že se tato firma primárně nezabývá výrobou součástí, ale tvorbou prototypů a prodejem strojů.

8.5 Bod zvratu (break even point)

Tento bod formou tzv. „kritického bodu“ vyjadřuje vztah mezi obratem, náklady a ziskem. Jeho hodnoty je dosaženo právě při takovém objemu produkce, je-li zisk i ztráta v rovnováze. Bod zvratu můžeme vypočítat dle následujícího vztahu (8.30):

$$B_Z = \frac{FN}{p_s - vn} = \frac{415\,533}{3,88 - 1,561} = 179\,186 \text{ [ks]} \quad (8.30)$$

kde je

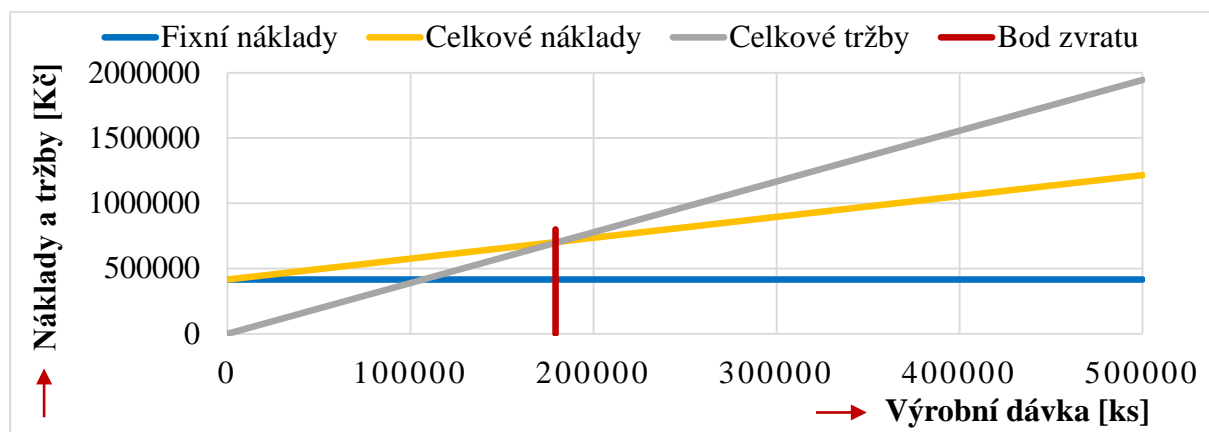
- FN ... fixní náklady [Kč]
- p_s ... cena jedné součásti [Kč]
- vn ... variabilní náklady [Kč]

□ *Fixní náklady*

$$FN = N_{sr} + N_{vr} + N = 24\,542 + 91\,011 + 300\,000 = 415\,533 \text{ [Kč]} \quad (8.31)$$

□ *Variabilní náklady*

$$vn = N_{mj} + N_{mzj} = 1,52 + 0,041 = 1,561 \text{ [Kč]} \quad (8.32)$$



Obr. 52 Bod zvratu

9 ZÁVĚRY

Diplomová práce zpracovává souhrnný návrh optimální technologie a konstrukčního řešení výroby západky zámku garážových vrat. Výchozím polotovarem součásti je plech o tloušťce 1,5 mm z oceli S275JR.

Na základě studie možných metod její výroby a po zvážení všech předností a nedostatků byla zvolena technologie výroby sdruženým postupovým nástrojem kombinací stříhání a ohýbání. Tato metoda přes svá charakteristická omezení plně vyhověla rozličným nárokům výroby zadané součásti. Správnost jejího výběru následně prokázalo i ekonomické zhodnocení, z něhož vyplývá, že v technicko-hospodářských podmínkách poplatných okamžiku zhotovení práce je investice na zavedení předmětné součásti do výroby návratná pro sérii čítající nejméně 179 186 ks, kde výrobní cena jednice činí 3,88 Kč.

Po zvážení možných variant postupů výroby a umístění výlisku na pásu plechu bylo zvoleno jako nejvhodnější podélné umístění výlisku na pásu plechu a použití nástroje, který bude součást vyrábět v celkem sedmi krocích. Tento konstrukční návrh se však i přesto neobešel bez kompromisního řešení, kdy bylo nutno použít pro výrobu méně vhodného řešení shodně orientovaných vláken na pásu plechu s osami ohybů součásti.

Vzhledem k velikosti celkové síly 475,9 kN, potřebné pro výrobu zadané součásti, byl zvolen výstředníkový lis ŠMERAL S160 o jmenovité síle 1600 kN spolu s dalším strojním vybavením pro zřízení automatické linky, které je s ním plně kombinovatelné.

Seznam použité literatury [5]

1. Auto latch striker for installation of garage door. *Alibaba.com Hong Kong Limited and licensors*. [online]. 2014 [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-detail/Door-Latch-striker_483208681.html
2. BAREŠ, Karel et al. *Lisování. Redaktor Jindřich Klůna*. 1. vyd. Praha: STNL, 1971, 544 s. ISBN 04-234-71.
3. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s. Redakce báňské a strojírenské literatury. ISBN 04-229-83.
4. Ceník kovů. *Barko, s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.druhotnesuroviny.cz/cenik-kovu.htm>
5. Citace PRO. *Citace.com: Generátor citací 3.0* [online]. [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>
6. CNC Řezání laserem. *KOVO Fůkal, s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.kovofukal.cz/o-firme/cnc-rezani-laserem.html>
7. Co je to řezání vodním paprskem?. *TALPA - RPF, s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
8. ČSN 41 1425. *Ocel obvyklých jakostí: Ocel 11 425*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1976, 12 s.
9. Deep Drawing Parts. *Qrbiz.com* [online]. 2012 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.qrbiz.com/product/1523395/Deep-Drawing-Parts.html>
10. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2003, 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
11. Elektronický valčkový podávač EVP. In: *ELTECH Slovakia spol. s r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: http://www.eltech.sk/docs/produkty/podavacia_rovnacka_QPRM/Podavacia_rovnacka_QPRM_-_Navod.pdf
12. *E-mailová korespondence s Ing. Davidem Vičarem* [online]. 3. 4. 2014, davidvicar@volny.cz.
13. *Ferona, a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/>
14. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
15. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
16. KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1978, 158 s. ISBN 60-964-78.
17. Kovovýroba (CNC technologie). *KOVRALEX s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://kovralex.cz/cs/metal-production/>
18. KVASNIČKA, Rostislav. Přesné a produktivní ohýbání plechu. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/presne-a-produktivni-ohybani-plechu.html>

19. LENFELD, Petr et al. Technologie plošného tváření – ohýbání. *Technologie II* [online]. 2005 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
20. LENFELD, Petr et al. Technologie plošného tváření - stříhání. *Technologie II* [online]. 2005 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
21. Manufacturing technologies. *SFS intec* [online]. 2014 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: http://www.sfsintec.biz/en/web/technologies_products/production_technologies/deep_drawing/prozess/prozess_1.html
22. Mzdový kalkulátor. *RA Management s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.platy-mzdy.cz/>
23. Nástrojárna. *VVP-Martin, s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.vvp-martin.cz/>
24. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.
25. NOVOTNÝ, Karel. *Přípravky a nástroje: Část tvářecí nástroje* [online]. 2002 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/pripravky_a_nastroje_novotny_zemcik.pdf
26. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
27. Obrábění vysekáváním: Vysekávací stroje. *TRUMPF Česká Republika* [online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/vysekovani.html>
28. Ocelové plechy za tepla válcované. *ROSSO STEEL A.S.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.rosso.cz/cz/produkty/ocelove-plechy-za-tepla-valcovane>
29. Odvíjecí zařízení. *P/A Bohemia s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.paboheemia.cz/website/mainmenu/webpage/webpage%5B2%5D/ch---1august08.pdf>
30. Pasivní/aktivní odvíjecí zařízení. In: *REBENDA* [online]. 2008 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: http://www.rebenda.cz/czech/prospekty/dp_da1030.pdf
31. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II: Plošné tváření* [online]. Ostrava, 2001 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
32. PLECHY – PROTIŠMYKOVÉ. *ALFUN a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.alfun.sk/sortiment/hlinik/plechy-a-pasy/plechy-protismykove>
33. Příslušenství garážových vrat. *Sekční vrata* [online]. 2014 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.sekcni-vrata.cz/?q=content/přislusnenstvi--garazovych-vrat>
34. ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1959, 540 s. DT 621.986.

35. ŘASA, Jaroslav a Radka JINDROVÁ. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2006 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem.html>
36. S275 S275JR Steel. *West Yorkshire Steel Limited*. [online]. 2012 [cit. 2014-03-21]. Dostupné z: <http://www.westyorkssteel.com/carbon-steel/s275/>
37. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0259-8.
38. ŠPINLEROVÁ, Marie. *TECHNOLOGIE: Obor Nástrojař* [online]. Opava, 2007 [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
39. TATÍČEK, František a Martin OUŠKA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2012 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
40. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2011 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
41. Vysekávání plechů: Vysekávací lis TRUMATIC 5000R. *PROMAT CZ spol. s r.o.* [online]. 2011 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.promatcz.cz/sluzby/vysekavani-plechu>
42. Výstředníkové lisy. *Svaz strojírenské technologie - SST* [online]. 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.sst.cz/katalog/product/id/68>
43. Waterjet Cutting. *ISF Signs, Inc.* [online]. 2013 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.isfsigns.com/another-service/>
44. Wayne Dalton Garage Door Lock Kit Assembly. *Express Garage Doors Inc.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <http://www.waynedaltonparts.com/Wayne-Dalton-Lock-Kit-Assembly-237138.html>
45. Разновидности труб водоснабжения. *Camping Manitoulin* [online]. 2014 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.campingmanitoulin.com/stroymaterialy/santehnika/2283-raznovidnosti-trub-vodosnabzheniya.html>

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
a	Vůle	[mm]
A	Střižná práce	[J]
A _o	Ohybová práce	[J]
b	Šířka obdélníka	[mm]
B _Z	Bod zvratu	[ks]
C	Součinitel střižné vůle	[-]
c _o	Koeficient závislý na šířce ohybnice	[-]
D	Průměr	[mm]
d	Průměr	[mm]
D _{ex}	Vnější průměr svitku	[mm]
D _{in}	Vnitřní průměr svitku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	Velikost odstřiženého okraje	[mm]
F _{celková}	Celková lisovací síla	[kN]
F _{CO}	Celková ohybová síla	[N]
F _{CS}	Celková střižná síla	[N]
F _K	Kalibrační síla pro ohyb	[N]
F _N	Fixní náklady	[Kč]
F _{OU}	Ohybová síla pro ohyb tvaru "U"	[N]
F _{OV}	Ohybová síla pro ohyb tvaru "V"	[N]
F _P	Přidržovací síla	[MPa]
F _S	Střižná síla	[N]
F _u	Stírací síla	[N]
F _v	Síla pro vysunutí výstřižku ze střižnice	[N]
h	Pracovní zdvih ohýbadla	[mm]
h _{el}	Hloubka elastického vniku	[mm]
h _{pl}	Hloubka plastického vniku	[mm]
I	Kvadratický moment setrvačnosti	[mm ⁴]
JM	Náklady na jednicové mzdy	[Kč]
k	Součinitel určující polohu neutrální osy	[-]
K	Délka kroku	[mm]
k _{eu}	Koeficient závislý na druhu materiálu	[-]
k _{ev}	Koeficient závislý na tloušťce. mat. a mech. vl. mat.	[-]
K _S	Střižný odpor	[MPa]
k _S	Kus	[-]
L	Délka pásu svitku	[mm]
l _{krit}	Kritická (maximální) délka střižníku	[mm]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
l_v	Vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
M_o	Ohybový moment	[N.m]
m_s	Hmotnost svitku	[kg]
n	Zvyšující koeficient	[-]
N	Náklady na nástroj	[Kč]
n_b	Součinitel bezpečnosti	[-]
N_C	Celkové náklady	[Kč]
N_{Cj}	Celkové náklady na jednu součást	[Kč]
N_e	Celkové náklady za energii	[Kč]
N_{ej}	Náklady za energii na jednu součást	[Kč]
n_h	Počet součástí vyrobených za hodinu	[ks]
n_L	Využitelný počet zdvihů lisu	[min ⁻¹]
N_m	Celkové náklady za materiál	[Kč]
N_{mj}	Náklady za materiál za jednu součást	[Kč]
N_{mz}	Celkové náklady za mzdy	[Kč]
N_{mzj}	Náklady za mzdy na jednu součást	[Kč]
n_{sm}	Počet směn	[-]
N_{sr}	Správní režie	[Kč]
n_{ssm}	Počet vyrobených součástí za 1 směnu	[ks]
n_v	Počet výstřižků z 1 svitku plechu	[ks]
N_{vr}	Výrobní režie	[Kč]
O	Střížný obvod	[mm]
OPN	Ostatní přímé náklady	[%]
p	Měrný tlak pro kalibrování	[MPa]
p_e	Cena elektřiny za 1 kWh	[Kč]
P_L	Maximální příkon lisu	[kW]
p_m	Cena za 1 kg materiálu	[Kč]
P_o	Příkon odvíjáku	[kW]
p_o	Cena za 1 kg odpadu	[Kč]
P_R	Příkon rovnačky	[kW]
p_s	Cena součásti	[Kč]
Q	Výrobní sérii	[ks]
q_c	Potřebný počet svitků na celou sérii	[ks]
R	Poloměr ohybníku a ohybnice	[mm]
R_0	Poloměr ohybu	[mm]
R_a	Drsnost povrchu	[μm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
R _{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R _{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
R _{min} '	Optimalizovaný minimální poloměr ohybu	[mm]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
S	Plocha kalibrovaného materiálu	[mm ²]
S ₀	Plocha výstřižku	[mm ²]
S _L	Plocha pásů svitku	[mm ²]
S _M	Plocha mezikruží svitku	[mm ²]
S _P	Plocha pásu plechu	[mm ²]
SR	Správní režie	[%]
S _s	Plocha stříhu	[mm ²]
S _s	Průmět plochy střižníku	[mm ²]
t _A	Čas jednotkové práce	[min]
t _B	Čas dávkové práce	[min]
T _C	Celkové tržby	[Kč]
t _{ks}	Kontrolní čas	[hod]
t _{ps}	Povinná přestávka na jídlo a oddech	[hod]
t _{us}	Čas na údržbu	[hod]
t _v	Doba výroby série	[Nhod]
t _{vs}	Výrobní čas	[hod]
v	Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí	[mm]
vn	Variabilní náklady	[Kč]
V _o	Zhodnocení odpadu	[Kč]
VR	Výrobní režie	[%]
x	Součinitel posunutí neutrální plochy	[mm]
z	Střižná vůle	[mm]
Z	Zisk nářadovny	[Kč]
Z _C	Celkový zisk	[Kč]
Z _N	Zpracovatelské náklady	[Kč]
Z _R	Zpracovatelské režie	[%]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
α	Úhel záběru, čela, úhel ohybu	[°]
γ	Úhel hřbetu, úhel odpružení	[°]
δ	Úhel stříhu	[°]
$\varepsilon_{1, 2, 3}$	Složky přetvoření	[-]
$\varepsilon_{t \max}$	Mezní přetvoření v krajních vláknech	[-]
η	Využití materiálu	[%]
λ	Součinitel plnosti	[-]
μ	Koeficient tření	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	Poloměr neutrální osy	[mm]
σ_1	Hlavní tahové napětí	[MPa]
σ_3	Hlavní tlakové napětí	[MPa]
σ_{DOV}	Dovolené napětí při otláčení	[MPa]
σ_K	Napětí na mezi kluzu	[MPa]
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]
φ	Úhel sklonu nože	[°]
Ψ	Součinitel zaplnění pracovního diagramu	[-]

Seznam obrázků

Obr. 1: Součásti vyráběné tvářením	10
Obr. 2: Vizualizace zadané součásti.....	11
Obr. 3: Základní rozměry zadané součásti	11
Obr. 4: Zámková sada garážových vrat.....	11
Obr. 5: Západka zámku garážových vrat	11
Obr. 6: Řezání laserovým paprskem	12
Obr. 7: Řezání vodním abrazivním paprskem.....	12
Obr. 8: Vysekávací lis	13
Obr. 9: Střížný nástroj	13
Obr. 10: Průběh stříhání – I. fáze	14
Obr. 11: Průběh stříhání – II. fáze	14
Obr. 12: Průběh stříhání – III. fáze.....	14
Obr. 13: Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání	15
Obr. 14: Mohrovy kružnice napjatosti	15
Obr. 15: Schéma pro stříhání s kvalitním povrchem díry	16
Obr. 16: Schéma pro stříhání s kvalitním povrchem výstřížku.....	16
Obr. 17: Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly.....	17
Obr. 18: Různé druhy zkosení břitů	19
Obr. 19: Porovnání průběhu střížné síly a střížné práce	19
Obr. 20: Stupňovité uspořádání střížníků.....	20
Obr. 21: Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy	20
Obr. 22: Schéma střížného nástroje.....	22
Obr. 23: Nevedené střížníky.....	23
Obr. 24: Vedený střížník	23
Obr. 25: Dělený střížník	23
Obr. 26: Příklady dělených střížnic.....	24
Obr. 27: Příklady upevnění vložek ve střížnici	24
Obr. 28: Určení těžiště početně	27
Obr. 29: Určení těžiště graficky	27
Obr. 30: Příklady vhodných a nevhodných tvarů výstřížků.....	29
Obr. 31: Požadavky na kritické rozměry výstřížku.....	30
Obr. 32: Požadavky na kritické rozměry výstřížku.....	30
Obr. 33: Schéma ohýbání.....	31
Obr. 34: Schéma napjatosti a deformace při ohybu tyčí a širokých pásů	32
Obr. 35: Deformační charakteristika ohýbaného materiálu	32
Obr. 36: Odpružení materiálu pro ohyb tvaru V a U	33
Obr. 37: Posunutí neutrální osy v místě ohybu	34
Obr. 38: Ohyb do tvaru V.....	35
Obr. 39: Způsoby eliminace odpružení	36
Obr. 40: Umístění osy ohybu v závislosti na směru válcování	36
Obr. 41: Vzdálenost od osy ohybu	37
Obr. 42: Schéma určení délky polotovaru.....	38
Obr. 43: Uspořádání výstřížků na páse plechu – Varianta 1	39
Obr. 44: Uspořádání výstřížků na páse plechu – Varianta 2.....	39
Obr. 45: Varianta 1 stříhání a ohýbání výlisku	40
Obr. 46: Varianta 2 stříhání a ohýbání výlisku	41
Obr. 47: Varianta 3 stříhání a ohýbání výlisku	41
Obr. 48: Těžiště jednotlivých částí nástroje	48
Obr. 49: Schéma výrobní linky	51
Obr. 50: Vizualizace sdruženého postupového nástroje	52
Obr. 51: Schéma svitku pro výpočet	53
Obr. 52: Bod zvratu.....	58

Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled mechanických a chemických vlastností a značení oceli S275JR.....	12
Tab. 2: Způsoby stříhání tabulového materiálu.....	17
Tab. 3: Geometrie funkčních částí břitů.....	25
Tab. 4: Výrobní tolerance střížníků a střížnic.....	25
Tab. 5: Uspořádání výstřížků na páse plechu.....	28
Tab. 6: Schémata napjatosti a deformace při ohybu.....	31
Tab. 7: Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály.....	33
Tab. 8: Hodnoty součinitele x	34
Tab. 9: Zhodnocení variant.....	40
Tab. 10: Hodnoty pro výpočet těžišť.....	48
Tab. 11: Vstupní hodnoty.....	53
Tab. 12: Pracovní třídy.....	53
Tab. 13: Náklady na materiál.....	55
Tab. 14: Náklady na mzdy.....	56
Tab. 15: Náklady na energie.....	56
Tab. 16: Cena materiálu pro výrobu nástroje.....	57
Tab. 17: Porovnání ceny součásti s nabídkami oslovených firem.....	58

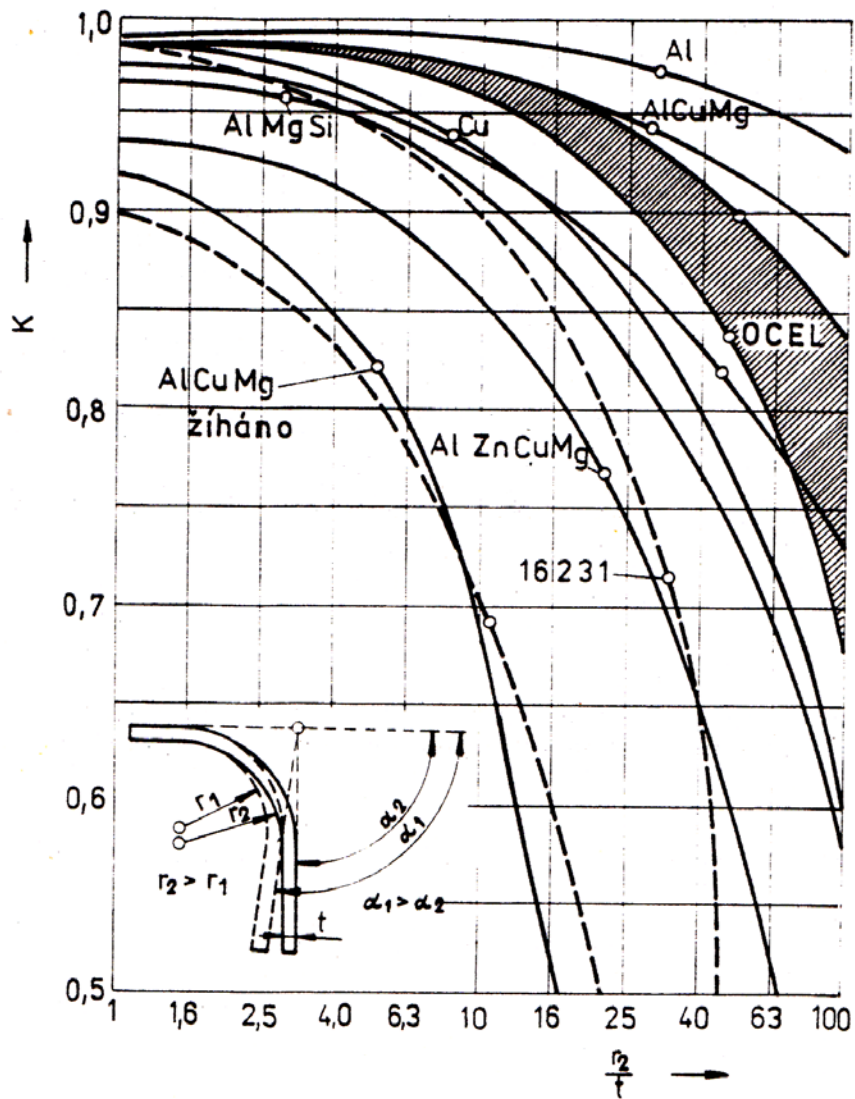
Seznam příloh

- Příloha č. 1 – Diagram optimální velikosti poloměrů rohů a hran u výstřížků
- Příloha č. 2 – Diagram pro orientační určení úhlu odpružení
- Příloha č. 3 – Tabulka volby velikosti můstku u výstřížků
- Příloha č. 4 – Výstředníkový lis ŠMERAL S160
- Příloha č. 5 – Jednostranný aktivní odviják REBENDA DA 1030
- Příloha č. 6 – Rovnačka s automatickým podavačem ELTECH QPRM 300/4

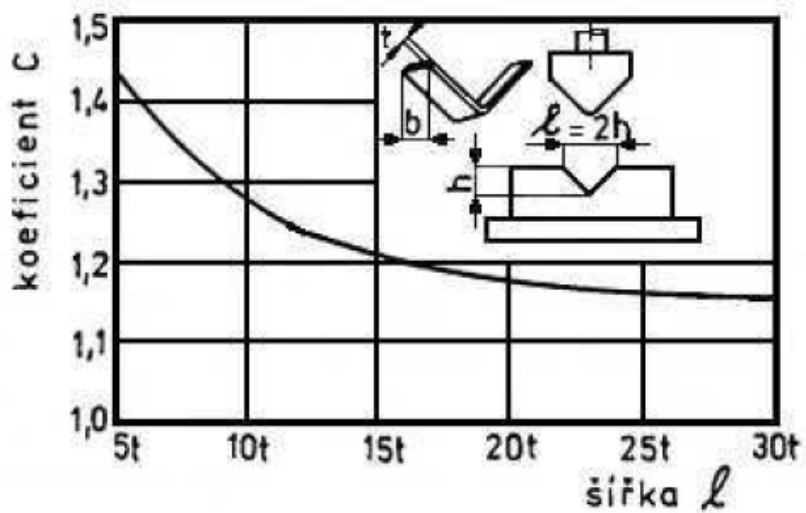
Seznam výkresů

Výkres sestavy	DP-S1-00/01
Kusovník	DP-K4-00/01 až 3
Výkres součásti	DP-V4-01/00
Výkres střížnice	DP-V2-02/00
Výkres střížníku	DP-V4-03/00
Výkres ohybníku	DP-V4-04/00

Příloha 1 [12]

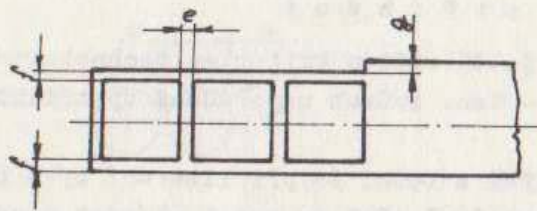


Příloha 2 [30]



Příloha 3 [9]

Tab. 17



Tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15 - 50		50-100		100 -200		200 -300		300 -400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1-0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

S 160

Výstředníkové lisy



Šmeral Brno a.s.

Křenová 65c
65825, Brno

Telefon: 532 167 111
Fax: 543 255 143

E-mail: obch@smeral.cz
WWW: www.smeral.cz

IČO: 46346139
DIČ: CZ46346139

Hlavní technické údaje

Pracovní rozsah

Tvářecí síla	1600 [kN]
Sevření	500 [mm]
Vyložení	400 [mm]

Stůl

Upínací plocha stolu	1200 x 800 [mm]
----------------------	-----------------

Beran

Upínací plocha beranu	860 x 520 [mm]
Stavitelný zdvih	20 - 160 [mm]
Počet zdvihů	40/60 [1/min]

Stroj

Celkový instalovaný výkon	23,0 [kW]
---------------------------	-----------

Příslušenství

Přidržovač
Náhon mechanizace



ELTECH Slovakia spol. s r.o.
91902 Dolné Orešany 450, Slovensko

Návod na obsluhu

**Podávacia rovnačka
QPRM 300/4**







2011

ÚDAJE O ZARIADENÍ

Technické údaje

max. šírka pásu.....	mm.....	300
hrúbka pásu.....	mm.....	4
max. šírka pásu pri max hrúbke.....	mm.....	900
max. podávacia rýchlosť.....	m/min.....	45
priemer valcov.....	mm.....	60
dĺžka stroja.....	mm.....	560
šírka stroja.....	mm.....	800
výška stroja.....	mm.....	1230
celková hmotnosť stroja.....	kg.....	630

	ELTECH Slovakia spol. s r.o. 919 02 Dolné Orešany 450 Slovenská republika www.eltech.sk eltech@eltech.sk				
Typ	QPRM 300-60	Un	400 V	In	10 A
Nr.	0194	f	50 Hz	IP	54
Rok výr.	2011	Pn	3,2 kW		
	24V DC	STN EN	602 04 - 1		
	24V DC	Sch.	194-QPRM-1,8		

REBENDA



DP/DA 1030
PASIVNÍ/AKTIVNÍ ODVÍJECÍ ZAŘÍZENÍ

POUŽITÍ

Odviják DP 1030 je určen k pasivnímu odvíjení svitkového materiálu. K odvíjení je tedy nutné vždy zařadit za odvíják rovnačku pásového materiálu. Odvíják DA 1030 je určen k aktivnímu odvíjení svitkového materiálu. Odvíjáky je možné zařadit do běžné tvářecí linky, kde velikost svitku nepřesáhne uvedené maximální parametry.

KONSTRUKČNÍ PŘEVEDENÍ

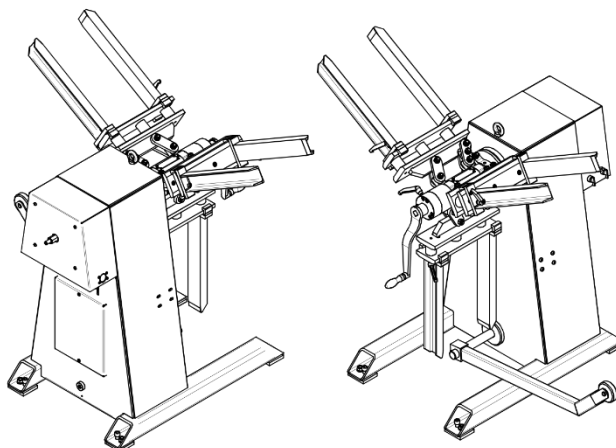
Oba typy odvíjáků jsou vybaveny tříčelistovým rozpínacím trnem, jehož rozsah je možné zvětšit za pomoci nastavovacích čelistí. Pod zadním krytem pasivního odvíjáku DP 1030 je uložena pneumatická brzda. Účinek brzdy je možné regulovat pomocí redukčního ventilu. Pro snadné nasazování svitku je možné rozpínací trn brzdou zaaretovat v libovolné poloze. Přítlačná páka je ovládána pneumatickým válcem, který je umístěn oproti tradiční konstrukci uvnitř stojanu, čímž se eliminuje jeho poškození. Aktivní odvíják DA 1030 je vybaven asynchronním motorem s brzdou, který je řízen frekvenčním měničem. Motor pohání přes exentrickou pomaloběžnou převodovku rozpínací trn. Aktivní odvíják DA 1030 je možné používat i pro navijení.

ZVLÁŠTNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ

Na přání zákazníka je dodáváno:

- nastavovací čelist pro zvětšení rozsahu rozpínacího trnu

TECHNICKÉ PARAMETRY



	DP 1030	DA 1030	
Maximální hmotnost svitku	1000		kg
Maximální šířka svitku	300		mm
Minimální vnitřní průměr svitku	390		mm
Maximální vnitřní průměr svitku	425		mm
Rozsah rozpínacího trnu*)	φ380 - φ435		mm
Maximální vnější průměr svitku	1500		mm
Vzdálenost osy odvíjení od základny	1050		mm
Celkové rozměry - šířka x hloubka x výška	1900x1290x1900	1900x1170x1900	mm
Hmotnost s příslušenstvím	430	470	kg
Připojovací napětí		230	V
Příkon		2,2	kW
Tlak vzduchu	0,6	0,6	MPa

*) Rozsah rozpínacího trnu lze zvýšit při použití nádstavců (nejsou součástí základního vybavení stroje). Maximální vnitřní průměr svitku je omezen na 590mm.

Ing. Karel REBENDA

konstrukce a výroba jednorúčkových strojů

Obřanská 65, 614 00 Brno • Česká republika • tel.: +420 541238528 • zázn./fax: +420 541238782
<http://www.rebenda.cz> • e-mail: rebenda@rebenda.cz