



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

NÁVRH NÁSTROJE PRO STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ **VYBRANÉ SOUČÁSTKY**

BENDING AND CUTTING PRESS MACHINE FOR REPRESENTATIV PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN KVAPIL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Kvapil

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

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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:

Návrh stroje pro stříhání a ohýbání vybrané součástky

v anglickém jazyce:

Bending and cutting press machine for representativ part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod do problematiky současných způsobů technologie tváření stříhání a ohýbání (popis, konstrukce strojů a nástrojů, schémata procesů tváření).
2. Návrh postupového nástroje a varianty s rozdělením na jednotlivé kroky (stříh, ohyb).
3. Posouzení jednotlivých variant podle ekonomické a technologické stránky projektu.
4. Vizualizace v CAD systému. Vyhotovení výkresové dokumentace vybraných dílů. Základní technicko-provozní parametry konstrukčního návrhu:
 - výroba 10 000 výrobků součásti „Výstřížek“ za rok
 - zajistit jednoduchost ovládání stroje obsluhou
 - splnění základních požadavků na bezpečnost provozu a obsluhy
 - ekonomické využití plochy pásu (minimalizace odpadu)
5. Výpočty střížných sil, střížné vůle, umístění stopky a další potřebné výpočty.
6. Porovnání navržených sestav s přihlédnutím na množství vyráběných kusů a dvou variant zakládání pásu plechu metodou multikriteriálního hodnocení navržených variant.
7. Závěr a vyhodnocení technicko-provozních vlastností a možností reálného využití v praxi.

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout v podmínkách domácího průmyslu střížný a ohýbací nástroj dle zadání. Obsahem DP je popis technologie tváření, návrh řešení, posouzení variant, částečná konstrukce vybraných prvků a vyhodnocení na základě ručního či strojního podávání pásu plechu.

Seznam odborné literatury:

Rudolf B., Kopecký M. a kol: Tvářecí stroje – základy stavby a využití, SNTL Praha, 1985

Kamelander I.: Tvářecí stroje I až IV, skriptum VUT v Brně, 1984 až 1986


Firemní literatura

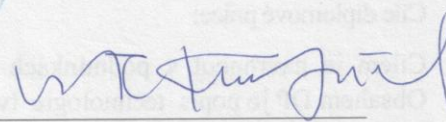
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 23.11.2012




doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu


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

ABSTRAKT

KVAPIL Jan: Návrh nástroje pro stříhání a ohýbání vybrané součástky

Diplomová práce, která je vypracovaná v rámci magisterského studia M-VSR, obsahuje stručný přehled a popis technologie stříhání a ohýbání. V práci je proveden výpočet, který je nezbytný pro konstrukci střížného a ohýbacího nástroje. Modely a výkresy jsou vytvořeny v softwaru SolidWorks 2012. Práce obsahuje obecný postup od zadání až po vyhotovení dané součástky.

Klíčová slova: plošné tváření, stříhání, ohýbání, nástroj, výpočet, návrh, lisovací nástroj

ABSTRACT

KVAPIL Jan: Bending and cutting press machine for representativ part

The Master's thesis, which is developer in an undergraduate degree in M-VSR, provides a brief overview and description of the cutting and bending technology. The thesis is carried out the calculation, which is essential for the design cutting and bending tools. Models and design are created in the software SolidWorks 2012. The Master's thesis includes a general procedure after the award until after copy the parts on it.

Keywords: sheet metal forming, cutting, bending, tool, calculation, suggestion, stamping tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KVAPIL, Jan. *Návrh nástroje pro stříhání a ohýbání vybrané součástky*. Brno, 2013. 86 s. Diplomová práce. FSI VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

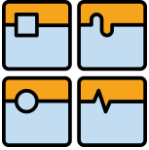
Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 24. 5. 2013

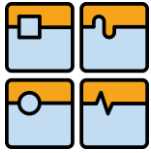
.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Radku Knoflíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

OBSAH	
1 Úvod	15
2 Rozbor zadání	16
2.1 Parametry výrobku	16
2.1.1 Rozbor materiálu výrobku	17
3 Technologické způsoby výroby	17
3.1 Počítačová podpora v technologických procesech	17
3.2 Technologie tváření	18
3.3 Tvářecí stroje	19
3.4 Varianty technologie výroby součástí	20
4 Technologie výroby pomocí laseru	21
4.1 Dělení materiálu laserem	21
5 Technologie stříhání	23
5.1 Technologie stříhání	23
5.2 Konstrukce střížných nástrojů	23
5.3 Proces stříhu	25
5.4 Střížná vůle	26
5.5 Střížná síla	27
5.6 Tvary střížníků	28
5.7 Přesné stříhání	29
6 Technologie ohýbání	31
6.1 Technologie ohýbání	31
6.3 Technologie ohýbání – odpružení	33
6.3 Technologie ohýbání - výpočty	35
7 Výpočtová část	37
7.1 Výpočet částí stříhadla	37
7.1.1 Výpočet využitelnosti pásu a nástřihový plán	37
7.1.2 Výpočet střížné síly a vůle	40
7.1.3 Základní rozměry střížnice a střížníků	42
7.1.4 Pozice stopky střížného nástroje	44
7.1.5 Shrnutí výsledků střížného nástroje	45
7.1.5 Popis nástroje na stříhání	45
7.3 Výpočet částí ohýbadla	47
7.3.1 Shrnutí získaných výsledků pro ohýbadlo	54



DIPLOMOVÁ PRÁCE

7.3.2 Zařízení pro ohýbání součástí	54
8 Analýza rizik strojního zařízení	60
9 Multikriteriální metoda hodnocení	63
10 Trendy v návrzích strojů	66
11 Závěr	67
12 Seznam použitých zdrojů.....	68
13 Seznamy.....	72
13.1 Seznam použitých symbolů a zkratek	72
13.2 Seznam obrázků.....	74
13.3 Seznam tabulek.....	75
13.4 Seznam výkresů.....	76
13.5 Seznam příloh	76
14 Přílohy.....	77



1 Úvod

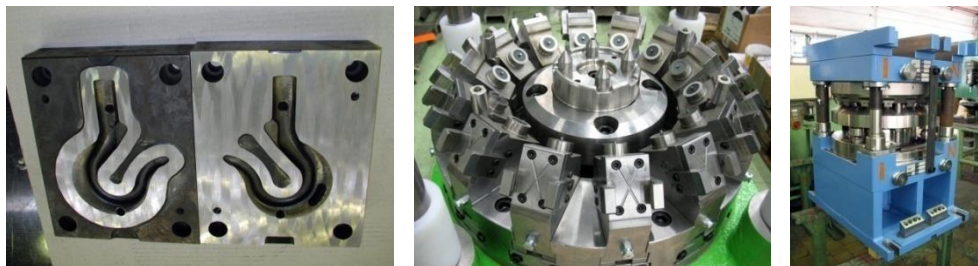
Z historie činností člověka víme, že byl neustále vystavován náročné, tvrdé a vyčerpávající práci. Proto člověk vyvíjel technické stroje či nástroje, které mu měly práci usnadňovat, ulehčovat nebo dokonce nahrazovat jeho práci kompletně. Vznikají různé technické a technologické postupy, kterými člověk dokáže dosáhnout vysoké produktivity, úspory materiálu s možností mechanizace a automatizace. Mechanizace je přínosem ve smyslu nahrazení práce lidských svalů stroji. Automatizace, která je vývojem výše než mechanizace, je založena na samočinném řízení konkrétního úkonu a jeho kontrole.

Tváření kovů je dosaženo různými technologiemi. Do těchto technologií lze zahrnout například stříhání, ohýbání, obrábění, slévárství či svařování. Většina tvářecích procesů probíhá za obecných dynamických podmínek. Vývoj experimentální a výpočetní techniky pomohl efektivněji analyzovat, modelovat a také matematicky popisovat všechny technologické děje v reálném čase. Výpočetní technika napomáhá realizovat (stanovovat) jinak obtížně stanovitelné optimální parametry tvářecích technologií, které jsou nezbytné pro nástroje a v celkovém měřítku i výrobu strojů. Moderní strojírenský průmysl by už bez počítačové podpory nemohl existovat. Počítačová podpora je přínosná jak v produktivitě, v kvalitě práce konstruktérů, tak také v udržování velkého množství dat a informací. [1, 2, 3]

Na obr. 1 jsou znázorněny vizuální ukázky výrobků, které jsou tvořeny v CAD systému a na obr. 2 jsou uvedeny ukázky nástrojů.



Obr. 1 Vizualizace výrobků pomocí CAD [40]



Obr. 2 Zobrazení nástrojů [4]



2 Rozbor zadání

Cílem diplomové práce je navrhnout nástroj na výrobek z plechu. Dle specifikací se jedná o držák do rezistoru. Tento výrobek je vyráběn v počtu 10 000 ks za rok. Výrobek bude vyroben vystřížením z pásu plechu a ohnutím do požadovaného tvaru. Zákazník požadoval střížný nástroj na lis a samostatný ohýbací stroj.

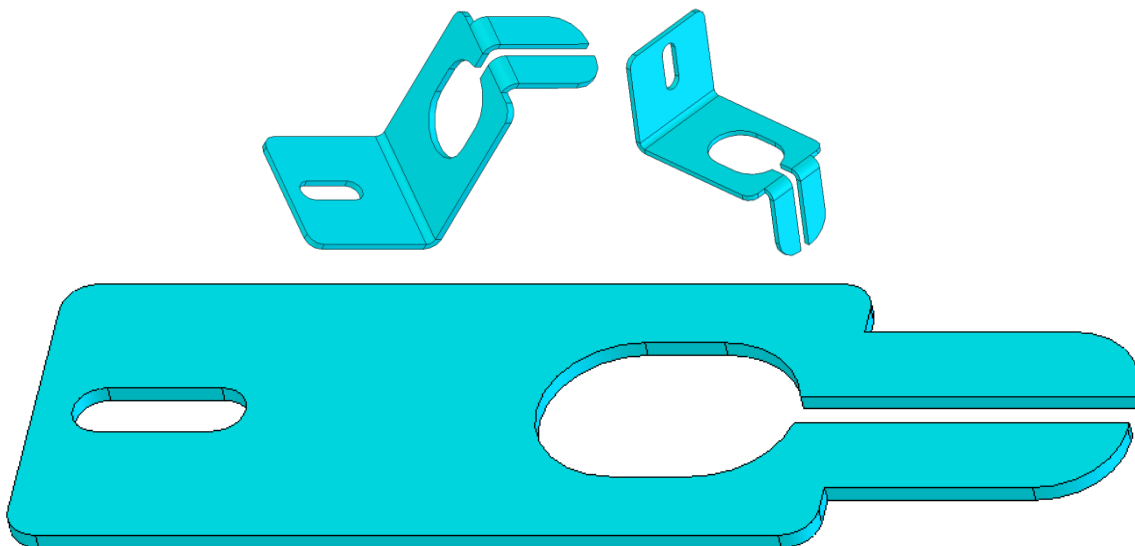
2.1 Parametry výrobku

Specifikované rozměry jsou uvedeny v příloze č. 1. Polotovar součásti má rozměr 30 x 97 mm a tloušťka plechu činí 1,5 mm. Materiál výrobku je ocel 1.0330. V tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty, které vycházejí z převodních tabulek materiálů (viz příloha č. 2).

Tab. 1 Převodní tabulka materiálu

č. mat.	ČSN	DIN
1.0330	11 320	St 12

Na obr. 3 jsou znázorněny 3D pohledy na výrobek. Na překreslení součástky bylo využito softwaru SolidWorks 2012.



Obr. 3 Izometrické pohledy a rozvinutý tvar výrobku, zpracováno autorem



2.1.1 Rozbor materiálu výrobku

Z přílohy č. 3 (materiálového listu) se stanovují tyto materiálové vlastnosti, které jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 2 Vlastnosti daného materiálu [6]

	Chemické složení				Mechanické vlastnosti	
	C	Mn	P	S	Rm	Re
1.0330	0,12 %	0,6 %	0,045 %	0,045 %	320 MPa	280 MPa

3 Technologické způsoby výroby

3.1 Počítačová podpora v technologických procesech

Rozvoj výpočetní techniky v posledních letech zaznamenal velký vstup do různých odvětví. Výpočetní technika se využívá v jednotlivých fázích životního cyklu výrobku. Řízení životního cyklu výrobku probíhá již od prvotní představy, přes jeho vývoj, výrobu, prodej, likvidaci, až po nové inovace výrobku. Na obr. 4 je znázorněno schéma PLM, což je systém pro řízení životního cyklu výrobku. [2, 7]



Obr. 4 Schéma monitorování výrobku pomocí informační technologie [7]



Počítačovou technologii při řešení problematiky plošného tváření lze přesněji použít na konstrukci dílů, pevnostní výpočty, návrh výrobních nástrojů a výpočtů. Výstupem počítačové podpory je celková technická dokumentace (výkresy, postupy pro obrábění, animace, vizualizace). V oblasti technologické přípravy výroby se počítačová podpora využívá zejména ke snižování časového rozmezí od návrhu konstrukce dílu po jeho vyhotovení. Silnou stránkou počítačové podpory je virtuální příprava modelů (nástroj, výrobek), která napomáhá odstraňovat potenciální chyby (v začátcích technologického procesu), zjednodušuje a urychluje práci konstruktérů. [2]

3.2 Technologie tváření

Technologii tváření kovů využíváme k trvalé přeměně polotovarů na výrobky. Při tomto procesu dochází ke změně tvaru, vlastností a rozměrů v důsledku působení vnějších sil. Je to proces, při kterém nevznikají třísky. Za deformace v materiálu mohou plastické deformace, ale soudržnost materiálu zůstává neporušena. Technologie tváření je spjata s fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu. Tyto změny ovlivňují výsledné vlastnosti materiálu po tváření. Výhodou technologie tváření je vysoká produktivita práce, přesnost a vysoká využitelnost materiálu. Nevýhodou je vysoká cena nástrojů a strojů. [21, 22]

Technologické procesy tváření dělíme podle:

- teploty,
- působení vnějších sil.

Technologie tváření dle teploty se dále dělí na tváření za tepla a za studena. Při tváření za studena dochází ke zpevňování materiálu. Toto zpevnění má za následek zvyšující mechanické vlastnosti (mez pevnosti a mez kluzu), ale snižuje se tažnost. Tváření za studena se provádí pro vysokou přesnost rozměrů, zlepšování vlastností zpevnění a zkvalitnění povrchu. Nevýhodou u tváření za studena je nerovnoměrné zpevnění a potřeba velkých tvářecích sil. Tváření za tepla má oproti tváření za studena výhodu v použití přibližně 10krát menší tvářecí síly a dochází k odstranění trhlin a bublin. Proces tváření za tepla má, ale nevýhody v nezpevňování materiálu, povrch je nekvalitní díky okujím, proces je zdlouhavý a nákladný. [22]

Tvářecí proces se dále dělí podle působení vnějších sil na:

- Tváření objemové
Deformace nastává ve všech směrech souřadného systému. Do tohoto procesu zařazujeme tažení drátů, válcování, protlačování a kování.
- Tváření plošné
Zde vznikají deformace ve dvou osách. Je vhodné pro ohýbání, tažení a stříhání. [22]



3.3 Tvářecí stroje

Tvářecí stroje se vyznačují pohybem nástroje proti materiálu, který je upevněn na pracovním stole. Tento pohyb, který zapříčiní přetváření materiálu, je uzpůsoben prostřednictvím mechanismu. Tvářecí stroje přetváří materiál bez odběru třísek. Základní rozdělení tvářecích strojů se děje dle způsobu realizace silových a energetických veličin. Rozdělujeme stroje na stroje silové, zdvihové a energetické.

Tvářecí stroje zdvihové využívají kinetickou i potenciální energii. Mezi tyto stroje lze zařadit mechanické lisy. Do mechanických lisů patří klikový lis, který je znázorněn na obr. 5.

Tvářecí stroje silové překonávají deformační odpor materiálu potenciální energií. Hlavním parametrem u těchto lisů je konstantní síla F (nezávislá na zdvihu). K těmto lisům řadíme hydraulický lis, který je vyobrazen na obr. 6.

Tvářecí stroje energetické využívají energii kinetickou pro přetváření materiálu. Tyto stroje zastupují buchary a jako hlavní veličina je zde zastoupena kinetická energie. Na obr. 7 je uveden buchar, který zastupuje energetické stroje. [23, 24]



Obr. 5 Klikový lis [25]



Obr. 6 Hydraulický lis [26]



Obr. 7 Buchar [27]

Dále stroje pro tváření dělíme dle relativního pohybu výstupního členu na:

- tvářecí stroje s přímočarým pohybem beranu:
 - pohyb nástroje (beranu) je mezi horní a dolní úvratí,
 - materiál je mezi beranem a stolem.
- tvářecí stroje s nepřímým pohybem beranu:
 - materiál přetváří pracovními válci,
 - rotační pohyb vykonává nástroj,
 - osy pracovních válců mají rovnoběžnou osu.

Tvářecí stroje rozdělujeme následovně:

LISY

- mechanické lisy
 - *klikové* - stříhání, ohýbání, ražení, kování a ostřihování
 - *výstředníkové* - stříhání, ohýbání, mělké tažení, protlačování, ražení, kruhové výstřížky, ohýbání U a V profilů
 - *kolenové* - plošné tváření, hromadná výroba
- hydraulické lisy
 - jsou vhodné pro kování, tažení, vytlačování, protlačování, ražení



DIPLOMOVÁ PRÁCE

BUCHARY

- mechanické buchary
 - pružinové: pro jednoduché a lehké kování
 - padací
- protiběžné buchary
- pneumatické buchary
- plynové buchary

ROTAČNÍ TVAROVACÍ STROJE

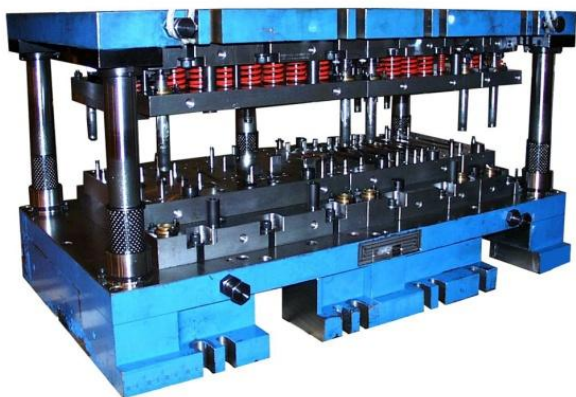
- ohýbací stroje - ohýbání plechů a tvarových profilů
- zakružovací stroje - ohýbání tenkých materiálů
- válcovací stolice - válcování plechů i profilů [23, 24]

3.4 Varianty technologie výroby součástí

V technologii tváření existuje několik způsobů výroby daného výrobku. Výrobek může být zhotoven na stříhacím a ohýbacím nástroji, na postupovém nástroji nebo pomocí dělicí technologie a ohybu. Jednotlivé druhy můžeme rozdělit do tří skupin způsobu výroby.

- 1) Vystřížení rozvinutého tvaru a následný ohyb – střížný a ohýbací nástroj.
- 2) Vystřížení a ohyb v jednom nástroji – sdužený nástroj.
- 3) Nekonenční způsob – dělení rozvinutého tvaru se provádí pomocí laseru, plazmou nebo vodním paprskem.

Na obr. 8 vlevo je znázorněna ukázka postupového nástroje a vpravo je uvedeno dělení materiálu pomocí laseru. Pro správné zvolení technologie výroby je důležité znát potřebné informace. Pro definování technologie je potřeba znát počet kusů, jednotlivé náklady na jednotlivé druhy výroby a další požadavky od zákazníka. Protože si zákazník stanovil ve specifikaci střížný nástroj pro vystřížení polotovaru a pro ohyb požaduje samostatný stroj, nebudou další varianty v této práci brány v potaz a bude navržen střížný nástroj a jednoúčelový ohýbací stroj. Zákazník nepožaduje finančně dražší variantu sduženého nástroje. [8]



Obr. 8 Postupový nástroj a dělení materiálu laserem [9, 10]



4 Technologie výroby pomocí laseru

Použití laseru se využívá v celé řadě oborů. Laser se dnes používá v chemii, energetice, metrologii, geodézii, medicíně, astronomii, biologii, technologii, ve vojenské technice, ve výpočetní technice a v automatizaci. Trendem dnešní doby je kombinace obráběcího stroje a laseru. [11]

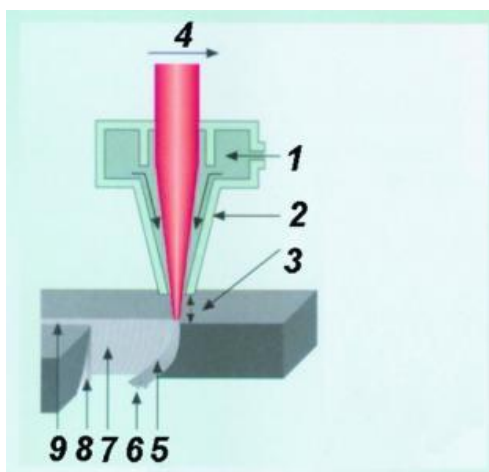
4.1 Dělení materiálu laserem

Laserová technologie se využívá z důvodu opracování materiálu bez kontaktu s daným výrobkem. Dále je možné opracovávat špatně přístupná místa a těžkoobrobitelné materiály. Technologie se využívá pro řezání, vrtání, gravírování a svařování. Mezi další odvětví, kde se používá laser, je zpracování plechů, tepelné zpracování, povrchové úpravy, měření, analýzy chemického složení atd. [11]

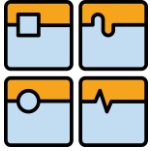
Řezání materiálu je prováděno následujícími třemi způsoby.

- Pálení
Laser ohřívá materiál + přiváděný plyn (kyslík), řeže se titan a korozivzdorné oceli. Kvalita řezu se dosahuje regulací výkonu laseru.
- Tavení
Materiál je roztaven působením laseru, dělí se nekovové materiály (keramiky, dřevo, papír, sklo). Výsledkem jsou kovové lesklé plochy, které nevyžadují další technologické úpravy.
- Sublimace
Materiál je odpařován v důsledku vysoké intenzity záření laseru. V dnešní době je málo používaný.

Princip metody dělení materiálu pomocí laseru je znázorněn na obr. 9. Popis pozic je následující. Pozice 1 – asistentní plyn, 2 – řezací tryska, 3 – pracovní vzdálenost trysky, 4 – rychlost, 5 – tavenina, 6 – odtavený materiál, 7 – stopy po paprsku laseru, 8 – tepelně ovlivněná oblast, 9 – šířka řezu. [12]



Obr. 9 Schéma laseru [12]



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Charakteristika procesu řezání laseru je následující.

- Rychlost řezání
Závisí na tloušťce a druhu řezaného materiálu, na požadované kvalitě řezu a na výstupním výkonu paprsku.
- Šířka řezné spáry
Je dána tloušťkou materiálu a druhem laseru (bývá 0,02 až 0,2 mm).
- Kvalita řezu
Posuzuje se dle kvality řezu (R_a 3,6 až 12 μm) a tepelně ovlivněné oblasti (0,05 až 0,2 mm). [34]

Níže jsou uvedeny výhody a nevýhody laserového dělení materiálu.

Výhody jsou:

- vysoká přesnost řezaných dílů u slabých a středních tlouštěk materiálu,
- řezání velmi malých otvorů, úzkých pásků, tvarů s ostrými úhly,
- pravouhlá řezná hrana,
- velmi malé přivedené teplo, žádné deformace obráběného předmětu,
- velmi malá šířka řezné spáry (0,2 – 0,4 mm),
- vysoká řezná rychlost,
- lze řezat téměř všechny technické materiály.

Nevýhody jsou:

- vysoké investiční a provozní náklady,
- omezení tloušťky materiálu: ocel = 25 mm, Al = 10 mm,
- nutné přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku,
- omezení stability paprsku u řezání konstrukční oceli,
- snížení stability procesu u řezání lesklých povrchů,
- menší účinnost. [34]



Obr. 10 Detailní pohled na obrobky po dělení laserem [33]



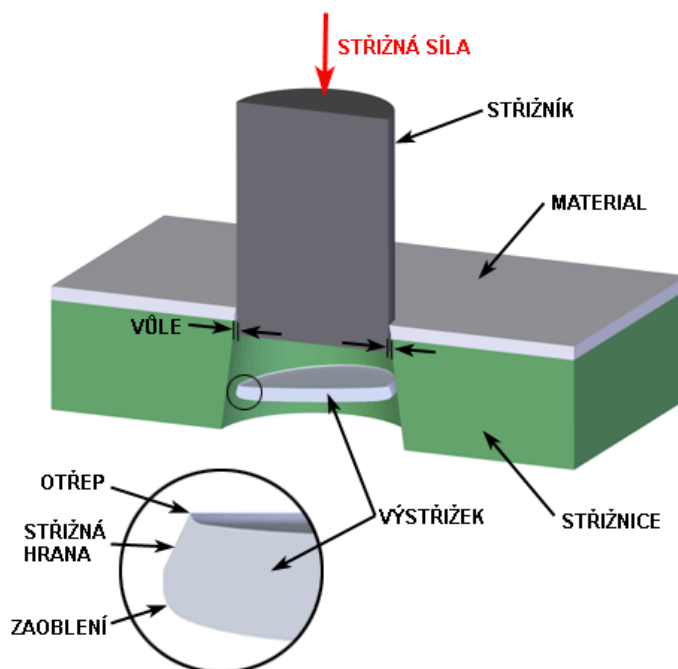
5 Technologie stříhání

5.1 Technologie stříhání

Při stříhání materiálu dochází ke zhotovení výstřížku (výrobek) a zbytkové části, která je odpad (nevyužitá plocha pásu). Stříhání materiálu lze rozdělit dle teploty procesu na technologii stříhání za tepla a za studena.

Technologie stříhání materiálu se dělí na:

- plošnou, kde se stříhají převážně plechy – jedná se o materiály tenké tloušťky,
- objemovou, kde se stříhají materiály o větší tloušťce např. trubky, tyče. [13]



Obr. 11 Schéma stříhání materiálu [14]

Při stříhání dochází k oddělování materiálu. Proces oddělování materiálu nastává současně nebo postupně podél křivky stříhu, která vzniká pod reakcí pohybu dvou břitů proti sobě, které vyvolávají smykové napětí. Na obr. 11 je znázorněn princip a popis stříhu materiálu. [13]

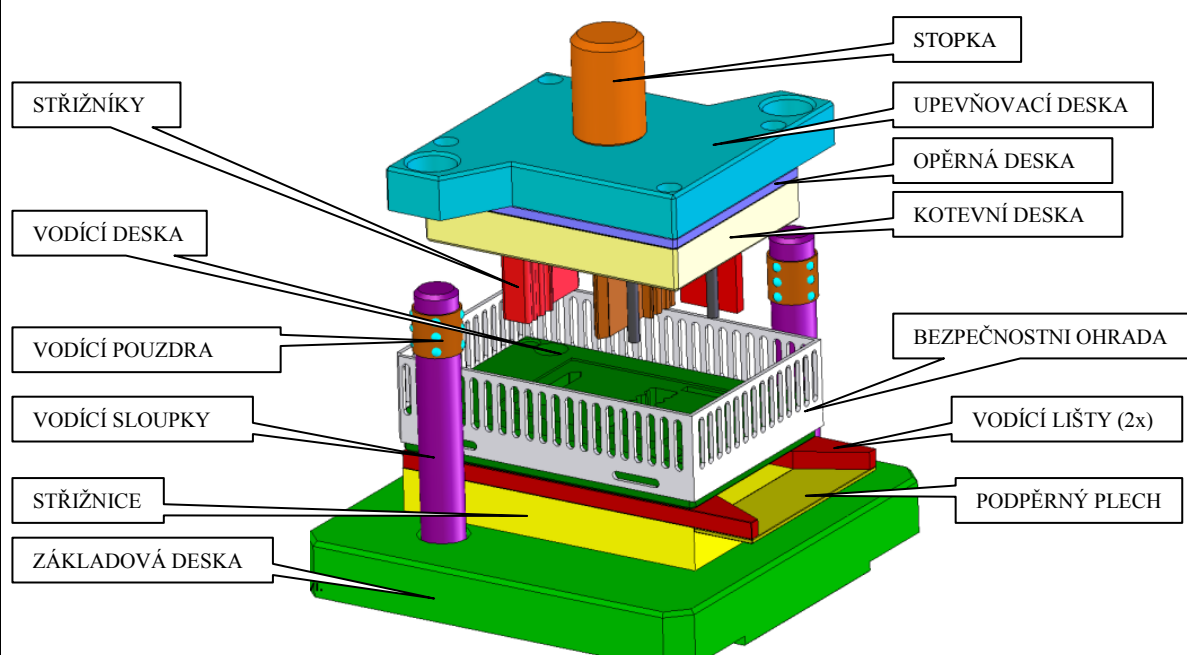
5.2 Konstrukce střížných nástrojů

Střížné nástroje dělíme na dvě části (střížná skříň a hlavice). Hlavice (horní část) je pohyblivá a je tvořena upínacím systémem do beranu lisu (pomocí stopky) a také se tato část spojuje se střížníky. Díry a otvory pro umístění stopky v upínací desce a střížníků v kotevní desce se zhotovují dle konkrétního typu výrobku. Skupina dílu hlavice se spojuje pomocí šroubů. Střížná skříň (spodní část) je pevná a je spojena se stolem lisu. Spojení střížné skříně



DIPLOMOVÁ PRÁCE

a stolu lisu se provádí pomocí upínek a šroubů. Z konstrukčního hlediska je důležité přesné ustavení všech desek vůči sobě, proto se desky spojují šrouby a kolíky. Obě části (střížná skříň a hlavice) musí být zkonstruovány se zajištěným přesným vedením vůči sobě. Přesné vedení, které zajistí přesnou polohu střížníku proti střížnici, je znázorněno na obr. 12. Z tohoto obrázku je patrné, že se jedná o dvě varianty. Tyto varianty jsou zastoupeny vodícími sloupky včetně vodícího vedení a vodící desky. U střížných nástrojů je důležitá poloha stopky. Stopka se umísťuje do těžiště beranu lisu. Pokud by nebyla splněna tato podmínka o těžišti, vznikaly by poté boční síly, které by navyšovaly nežádoucí zvýšení hnací síly lisu. [21, 28]



Obr. 12 Schéma střížného nástroje [40]

Střížné nástroje lze rozdělit podle kvalit stříhaných výrobků a složitosti střížného nástroje.

Nástroje dělíme následovně.

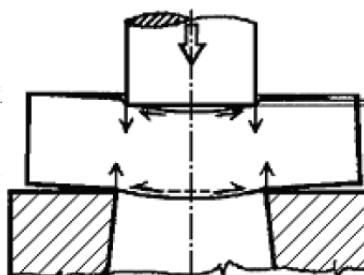
- **Jednoduchý střížný nástroj**
Používá se pro výrobu malých a středně velkých výrobků, které se vyrábí v malém počtu. Poloha obou částí stříhadla není vedena sloupky a ani vodící deskou. Vzájemná poloha je zajištěna přesným usazením v pracovním prostoru a beranem lisu. Pro tento typ stříhadla je nutné navrhnout stírání odpadu ze střížníků. [21, 28]
- **Postupový střížný nástroj**
Používá se pro složité výstřižky. Čím více má výstřižek složitější tvar, tím je potřeba více střížníků. Z tohoto důvodu dochází k vyhotovení výrobku až po tolika zdvizích, kolik je kroků v nástřihovém plánu. Postupový nástroj je díky své složité konstrukci drahým nástrojem. [21, 28]



- Sloučené nástroje
Tyto nástroje se využívají pro přesné výstřižky. Přesnost výstřižku je docílena současným pohybem (vystřížením) střížnice proti střížnici, takže se zároveň vystřihává jak vnitřní parametry, tak zároveň vnější. Současné vystřížení zajišťuje přesnou polohu děrování díry vůči poloze výstřižku. Tato funkce se využívá pro výrobu výrobku s vysokou přesností. Sloučené nástroje se využívají ve velkosériové výrobě, protože jejich výroba je drahá. [21, 28]
- Sdružené nástroje
Sdružené nástroje se používají pro stříhání i tažení současně, nebo tažení spojené s odstřížením okraje výstřižku. Nástroj je nejdražší z těchto jmenovaných nástrojů. [21, 28]

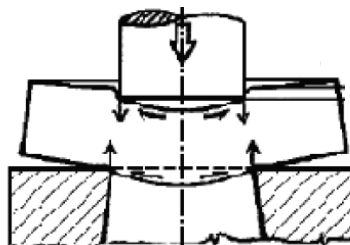
5.3 Proces stříhu

Proces stříhání materiálu se skládá ze tří kroků. V prvním kroku dochází k pružnému vnikání střížníku do povrchu stříhaného materiálu. Mechanické vlastnosti materiálu ovlivňují hloubku vnikání střížníku do materiálu, která činí 5 až 8 % tloušťky materiálu. V této fázi se vyskytuje nežádoucí jev. Tímto jevem je ohyb materiálu, který se tvoří mezi hranami střížníku a střížnice. [13]



Obr. 13 Schéma první fáze stříhu [13]

Ve druhém kroku nastává trvalá plastická deformace, protože napětí ve směru vnikání je větší než mez kluzu samotného materiálu. Hloubka vniknutí střížníku do materiálu je v této fázi větší než v předchozím kroku. Hloubka plastického vniknutí činí 10 až 25 % t . [13]

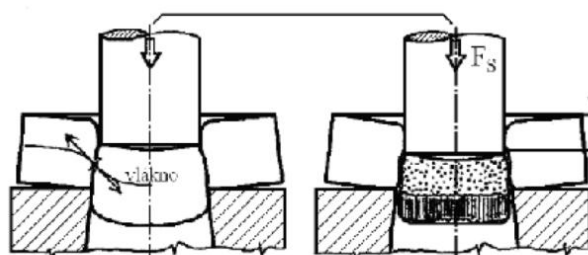


Obr. 14 Schéma druhé fáze stříhu [13]

V poslední fázi dosahuje napětí meze pevnosti ve stříhu τ_s . Tato fáze se vyznačuje vytvářením trhlinek, které se nazývají nástřih. Trhliny se šíří přes celou tloušťku stříhaného materiálu až dochází k odstřížení výstřižku. [13]



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Nástřih

Střih

Obr. 15 Schéma třetí fáze stříhu [13]

Proces šíření trhlin je ovlivněn velikostí střížné vůle a mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. U stříhání tvrdých a křehkých materiálů je rychlost šíření větší, a tudíž dochází rychleji k oddělení materiálu. [13]

5.4 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl parametrů tvarů střížníku a střížnice. Střížná vůle (v) a její jednostranný rozdíl (mezera) je $v_{1/2}$. Při konstruování střížných nástrojů se zodpovědně přistupuje k určení střížné vůle, jelikož vůle má vliv na kvalitu a jakost stříhu, spotřebu energie, životnost nástrojů atd. Střížná vůle musí být rovnoměrně odsazená (offset od střížníku) od střížné křivky stříhu. Při nerovnoměrném rozložení dochází k povrchovým vadám, ostřinám a ke zhoršení kvality střížné plochy. Konstruktor předchází nežádoucím vlivům a volí střížnou vůli především podle druhu a tloušťky stříhaného materiálu. Vzhledem k tloušťce stříhaného materiálu se vůle volí v rozmezí 3 až 20 %. Procentuální hodnoty se volí z tab. 3. [13, 15]

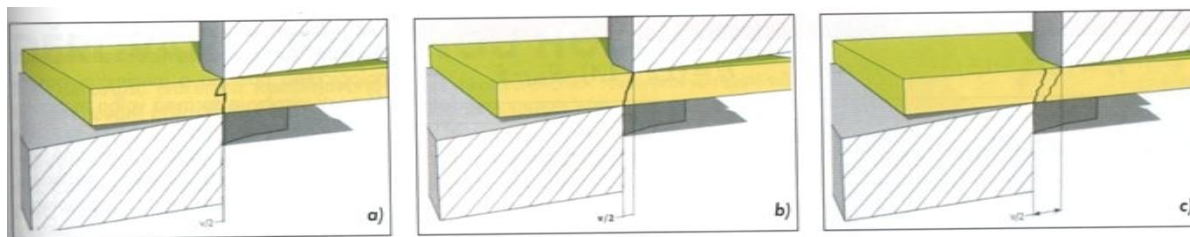
Tab. 3 Velikost střížné vůle [16]

Druh materiálu	Střížná vůle (% t)	
	Do 2,5 mm	2,5 až 6mm
Ocel měkká	5	7 až 8
Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
Hliník	4 až 7	5 až 9
Dural	7 až 8	7 až 10
Měď měkká	4 až 5	5 až 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7
Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 až 6	5 až 7
Papír, lepenka	2 až 3	3
Fibr, textil	2 až 4	-

Pro správné nastavení střížné vůle, která zároveň ovlivňuje kvalitu stříhané plochy, je důležité docílení stavu, kdy trhliny, které se šíří, se setkávají v momentě, kdy je výstřížek odstříhnut. Pokud je střížná vůle větší, dochází k odtržení materiálu (trhliny se mýjejí), a tudíž



k nekvalitnímu povrchu obvodu výstřižku (otěrová plocha je rozšířena na větší část střížné plochy) a k ohybu stříhané součásti. Při návrhu menší střížné vůle dochází k nárůstu pásma lomu. Na obr. 16 je znázorněn průběh šíření trhliny vzhledem k velikosti vůle (a – malá vůle, b – správná vůle, c – velká vůle). [13, 15, 16]



Obr. 16 Velikost vůle na průběh trhliny [17]

Výpočet střížné vůle se provádí dle vzorce 1, který je různý pro tloušťky stříhaného materiálu. [16]

Pro plechy do tl. ≤ 3 mm:

$$v = 2 \cdot C \cdot t \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad (1)$$

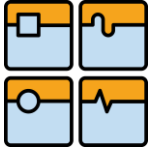
Pro plechy o tl. ≥ 3 mm:

$$v = 2 \cdot (1,5t - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad (2)$$

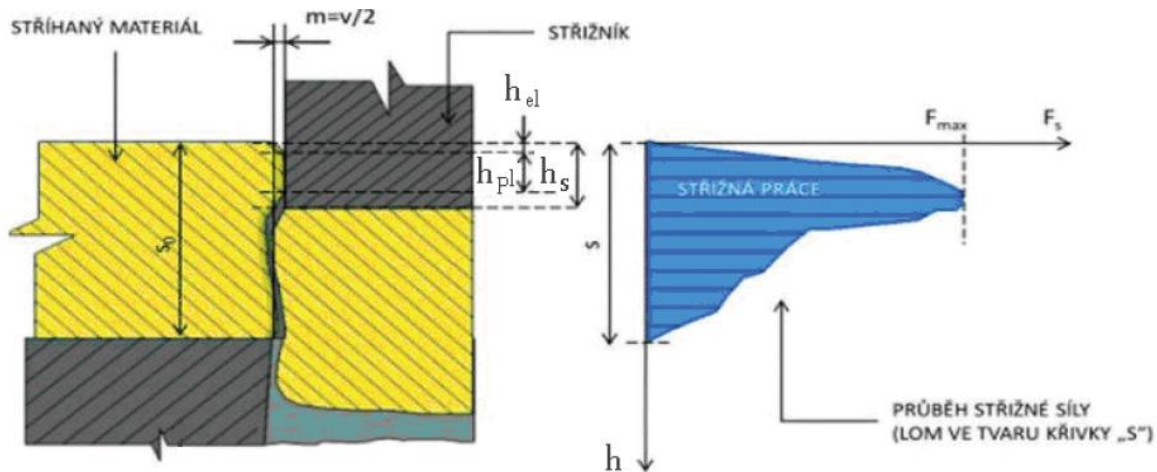
Součinitel C se volí v rozsahu 0,005 – 0,035. Spodní hodnoty rozsahu zajistí kvalitnější střížnou plochu, naopak vyšší hodnoty součinitele zajistí minimální použití střížné síly. [16]

5.5 Střížná síla

Pro technologický proces stříhání je nutné specifikovat střížnou sílu, která vzniká působením střížných dvojic. Střížná síla je důležitá z hlediska koncepce stroje. Podle střížné síly je modifikován nejen samotný stroj, ale i nástroj. Ve skutečnosti nedochází k čistému smyku, ale namáhání jsou kombinovaná. Z tohoto hlediska se síla předimenzuje o 20 až 50 % více. Při stříhání křehkých materiálů dochází ke krátkému vniknutí střížníku a následnému porušení v materiálu. Houževnaté materiály při vnikání střížníku se zpevňují. Zpevňování má negativní vliv, protože roste střížný odpor a síla. Samotný růst odporu a síly nastává od meze kluzu až po mez pevnosti materiálu. Průběh střížné síly je znázorněn na obr. 17. [17]



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 17 Průběh střížné síly [17]

Úpravou střížných hran střížníků docílíme snížení střížné síly. Modifikace hran zpravidla bývá zešikmením pod určitým úhlem. Taková úprava docílí snížení síly o 30 až 40 %. [17]

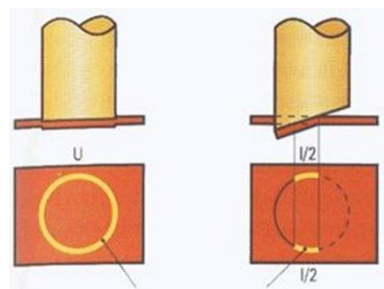
Výpočet střížné síly se provádí dle vzorce 3: [17]

$$F_s = k \cdot l \cdot t \cdot \tau_{PS} \quad (3)$$

kde: k – konstanta (1 až 1,3)
 l – obvod výstřížku (mm)
 t – tloušťka materiálu (mm)
 τ_{PS} – pevnost ve stříhu, $\approx 0,8 \cdot R_m$ (MPa)

5.6 Tvary střížníků

Při stříhání větších výstřížků se samozřejmě síla zvětšuje. Výpočet střížné síly pak může překročit nad požadovanou (maximální) sílu lisu. Ke snížení střížné síly využijeme konstrukčního zásahu do tvaru střížníku popřípadě střížnice. Různé tvary (šikmá, skloněná hrana) střížníku ovlivňují délku (obvod) stříhu viz obr. 18. [13, 17]

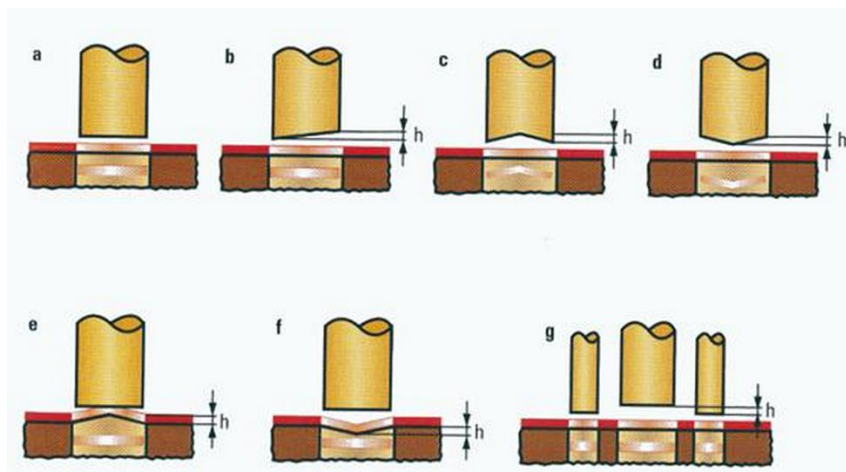


Obr. 18 Dvě varianty stříhu: vlevo rovná, vpravo šikmá plocha střížníku [13]



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční úpravu můžeme provést jak na střížníku, tak i na střížnici. Různé varianty jsou znázorněny na obr. 19 (a-rovný stříh; b-jednostranné zkosení střížníku; c, d-oboustranné zkosení střížníku; e, f-zkosení střížnice; g-stupňovité uspořádání střížníků). [13]

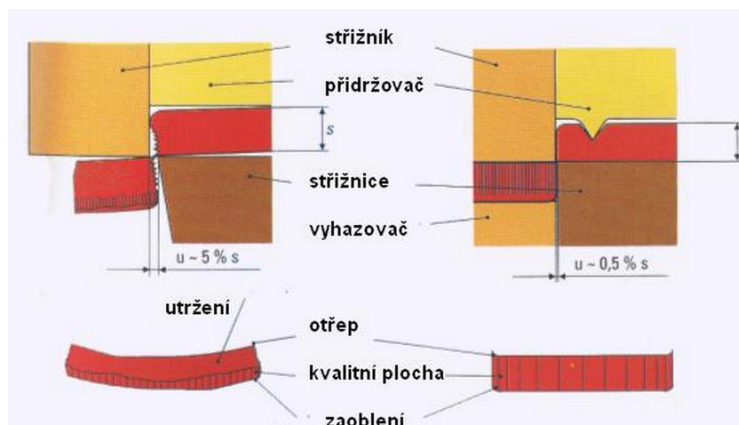


Obr. 19 Varianty na úpravu střížníku a střížnice [13]

Konstrukční řešení zešikmení tvaru střížníku má ovšem vliv na kvalitu výstřížku či odpadu. U návrhu se musí brát zřetel na určení odpadu a výstřížku. Například při vystříhování se upravuje střížná hrana na obou stranách střížnice, přičemž se docílí toho, že výrobek je rovný a odpad ohnutý. Při děrování se upravuje střížník a střížnice je rovná, poté je výrobek rovný a odpad opět ohnutý. Oboustranné zešikmení má výhodu ve vyrovnávání síly střížníku, a tudíž se nevychyluje z osy. Pokud je potřeba výrobek opatřit o nastřížení, provádí se jednostranným zešikmením. [13, 16, 17]

5.7 Přesné stříhání

Při předchozím popisu stříhání s vůlí dochází k nepřesnostem jak u dodržení rozměrů, tak u kvality střížné plochy (resp. drsnost). Pro dodržení parametrů (dle výkresu) výstřížku obvykle následuje po vystřížení další sled technologických operací k docílení požadovaného výrobku. Aby byla výroba efektivnější a byly vynechány další operace, využívá se přesného stříhání (viz obr. 20). [13, 16, 17]

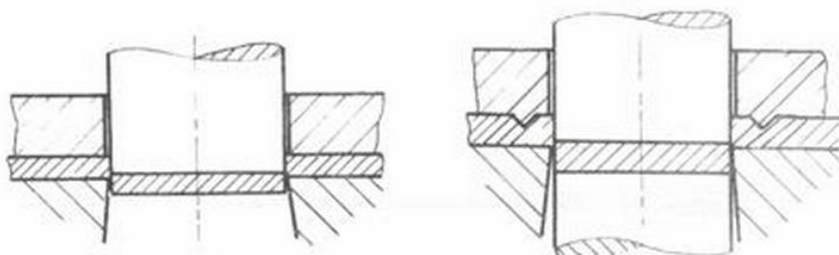


Obr. 20 Schéma přesného stříhání [13]



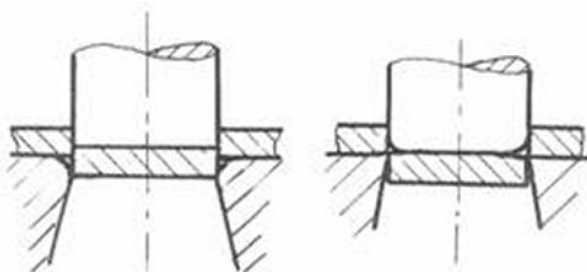
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Přesné stříhání lze definovat jako stříhání bez vůle, stříhání s přidržovačem, stříhání se zápornou vůlí, stříhání s nátlacnou hranou a reversní stříhání. Stříhání s přidržovačem se využívá k docílení zlepšení povrchu střížných ploch a k zamezení prohýbání okrajů výstřížku. Stříhání s nátlacnou hranou mění napjatost ve střížné ploše. Od nátlacné hrany vzniká ještě navíc složka tlaková, která usnadňuje a zlepšuje kvalitu povrchu výstřížku respektive smyk materiálu. Na obr. 21 je znázorněn způsob přesného stříhání s přidržovačem a s nátlacnou hranou. [13, 16, 17]



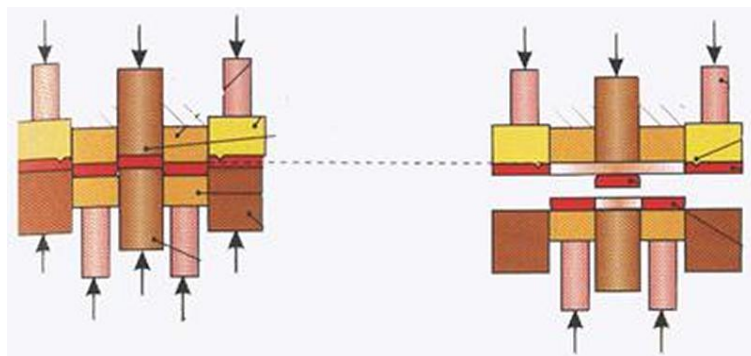
Obr. 21 Přesné stříhání s přidržovačem a s nátlacnou hranou [16]

U stříhání bez vůle se u střížníku střížná hrana ostří (brousí) a u střížnice se střížná hrana zaobluje. Pokud se zaoblí střížnice, vzniká pak kvalitní povrch díry. Pokud se brousí střížnice a střížník se zaoblí, pak má výstřížek kvalitní povrch. Na obr. 22 je znázorněno, jaké úpravy jsou vhodné pro docílené kvality povrchu (díra, výstřížek). [16]



Obr. 22 Stříhání pro kvalitní díru (vlevo), stříhání pro kvalitní obvod (vpravo) [16]

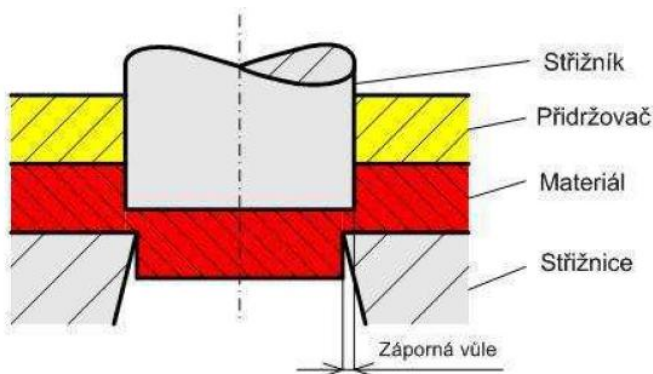
Reverzní stříhání je specifické v sevření materiálu z obou stran. Reverzní stříhání má dvě fáze. V první fázi se zhotoví nástřih do hloubky 25 % a ve druhé fázi se směr stříhu obrací a dokončí se vlastní stříh. Výstřížky vznikají se zaoblenými hranami z obou stran, a tudíž není potřeba odjehlovat otřep, který vzniká u výstřížku s vůlí. Pohyb, při kterém se pohybuje střížnice proti střížníku, je znázorněn na obr. 23. [13]



Obr. 23 Pohyb střížníků a střížnic při reverzním stříhání [13]



Stříhání se zápornou vůlí znamená, že rozměry střížníku jsou o 0,2 % tloušťky plechu větší, než je rozměr střížnice. Aby nedošlo k destrukci nástrojů, musí střížník zastavit v rozmezí 0,2 až 0,5 mm nad úrovní střížnice. Schéma je uvedeno na obr. 24. [13]

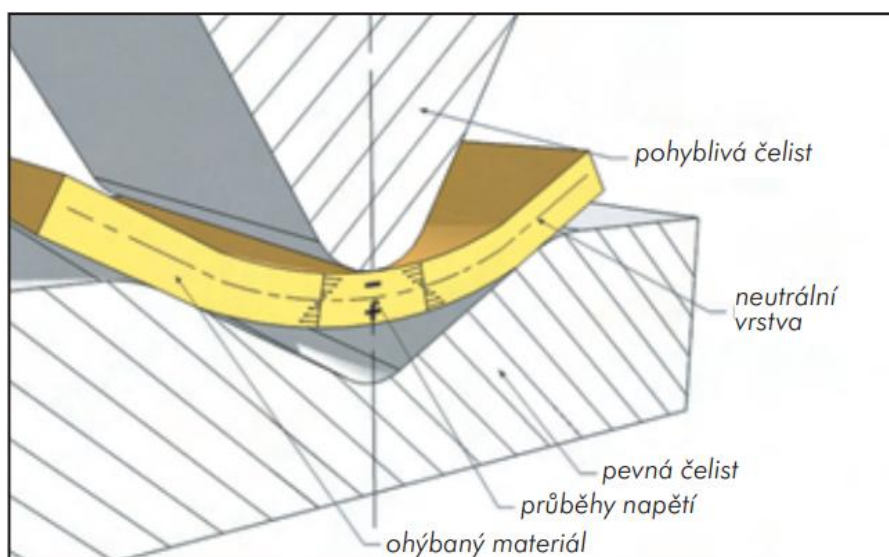


Obr. 24 Schematický popis stříhání se zápornou vůlí [13]

6 Technologie ohýbání

6.1 Technologie ohýbání

Při technologii ohýbání je materiál vzniklým napětím trvale deformován bez podstatné změny průřezu. Ohýbání je technologický proces tváření, kde nástroj nazýváme ohýbadlem, skládajícím se z ohybnice a ohybníku. Ohýbání vychází ze zákonů plasticity (stejně jako pro další způsoby tváření), kde se dosahuje deformace plastické a elastické překročením meze kluzu. Proces ohýbání můžeme provádět jak strojně, tak i ručně. U strojního ohýbání se využívá lisů nebo ohraňovacích strojů. U ručního tváření se využívá ručních strojů. Na obr. 25 je znázorněn princip s popisem jednotlivých částí ohýbání. [18, 19]



Obr. 25 Schéma ohýbání [18]



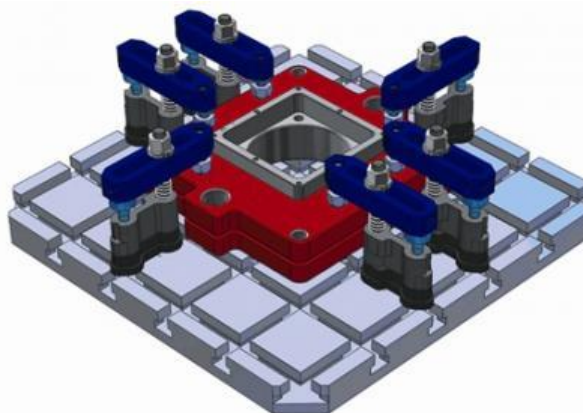
DIPLOMOVÁ PRÁCE

V průběhu ohýbání se materiál pod vlivem nástrojů deformuje. Deformace nastává pod reakcí lokální síly nebo vnějším momentem. Při ohybu materiálu vzniká na vnitřní straně tlakové napětí (vrstvy kovu stlačují) a na vnější straně vzniká tahové napětí (vrstvy kovu se natahují). Mezi těmito dvěma vrstvami vzniká třetí, která se nazývá neutrální vrstva. Neutrální vrstva (vlákno) je specifická, protože se nenatahuje a ani nestlačuje jako dvě předchozí vrstvy. Tato neutrální vrstva je tedy bez napětí a také její délka zůstává pořád konstantní (stejná). Aby neutrální vlákno zůstávalo stejně dlouhé, dochází k jeho posunům. Při startu procesu ohýbání se nachází neutrální vlákno uprostřed průřezu materiálu. Při ohybu se posouvá směrem ke vnitřní straně, kde vzniká tlakové napětí. Z tohoto posunu neutrálního vlákna je zřejmé, že není shodné s osou těžiště ohýbaného materiálu. Zmíněná poloha neutrálního vlákna je důležitá z hlediska technologie. Využívá se pro určování minimálního poloměru zaoblení a pro výpočet parametrů polotovaru (rozvinu). Poloměrem zaoblení můžeme specifikovat dva druhy ohybů. Rozdělujeme je na ohyb s malým poloměrem $r/t \leq 6$ a na ohyb s velkým poloměrem $r/t \geq 12$. U ohybu s malým poloměrem dochází k posunu neutrální vrstvy směrem k menšímu poloměru zaoblení (blíže ke stlačovaným vláknům), a tudíž dochází ke změně průřezu. U ohybu s velkým poloměrem vznikají malé pružné plastické deformace, u kterých lze předpokládat, že neutrální vrstva se nikam nepohybuje a zůstává na středu tloušťky daného materiálu. Ze znalosti polohy neutrální vrstvy se vypočítají parametry rozvinu polotovaru pro různé druhy zaoblení. Výsledná délka polotovaru (v rozvinutém stavu) je součtem jednotlivých délek zaoblení a délek rovných částí výrobku.[18]

6.2 Konstrukce nástrojů na ohýbání

V praxi se nejčastěji používají ohýbadla, která jsou vhodná pro prosté ohýbání konkrétních výrobků. Tyto ohýbadla se používají na mechanických a hydraulických lisech. Konstrukce těchto nástrojů je složena z pohyblivé části (ohybniku) a pevné části (ohybnice), která je spojena se stolem lisu. Pohyblivá část je upnuta pomocí stopky do beranu lisu. Pevná část se upíná prostřednictvím základové desky k pracovnímu stolu stroje. [21, 28]

Nástroje pro přesné ohýbání se konstruují podobně jako střížné nástroje, kde se přidávají vodící sloupky. Vodící sloupky zabezpečí přesnou polohu obou částí nástroje. Pro zajištění správné polohy polotovaru se navrhnou dorazy, které se upínají na ohybnicu nebo se konstruuje zahlobení přímo v ohybnicu pro zakládání polotovaru. Tyto tvary však prodražují výrobu samotné ohybnice a zhoršují údržbu, protože u montovaných dorazů je snadnější výměna při poškození funkčních hran (ploch). Další výhodou u dorazů je jejich variabilita (přestavení), která umožní změnu vstupních rozměrů polotovarů. U ohýbání se využívá přidržovače, který má funkci jak podpírání při ohýbání, tak po ohybu slouží jako vyhazovač. Pro konstrukci složitějších výrobků se doplňují nástroje o boční čelisti, které se doplňují o pružiny, které zaručí zpětný chod. Pro snadnější, flexibilnější, levnější a rychlejší výměnu nástroje je vhodné využít univerzálního řešení. Z těchto důvodů se nástroje konstruují za použití normalizace a typizace jako stavebnicové celky. Ukázka stavebnicového systému složeného z normalizovaných částí je uvedena na obr. 26. [21, 28]

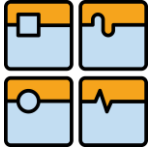


Obr. 26 Schéma stavebnicového systému [29]

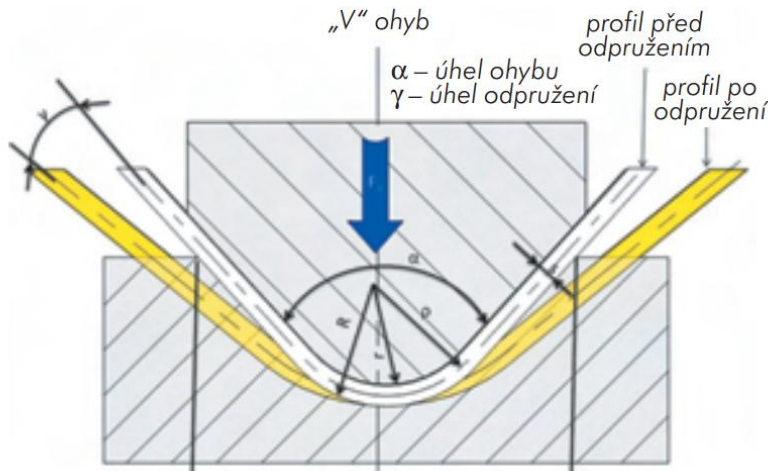
Z technologického hlediska se funkční části nástroje zakalí. Nástroj se vyrábí o stejných parametrech jako výrobek (zaoblení ohýbané hrany výlisku). Pro zajištění co nejdelší životnosti nástroje se volí co nejkvalitněji obrobene funkční plochy (leštěné). K docílení co nejjednoduššího založení polotovaru mezi dorazy se volí konstrukční úprava v podobě sražené vnitřní hrany. Aby nedocházelo k posunu polotovaru k jedné straně, lze použít přidržovače nebo kolíky. Tento nežádoucí posun vede k nesprávnému ohybu. Při návrhu ohýbaného výrobků je vhodné uvažovat vzájemnou polohu osy ohybu oproti otvorům, protože se pak deformují. Funkcí přidržovačů je udržovat polotovar ve správné poloze. Přidržovače jsou mechanické (pružinové) nebo vzduchové. Umisťují se buď přímo na nástroj, nebo zvlášť jako další přídavné technologické zařízení. Pro odstranění výrobku z nástroje se využívá vyhazovačů. Jejich konstrukce je mechanická, pružinová, vzduchová nebo vázaná na pohyb beranu. U stavebnicových systémů jsou díly rozděleny na stálé součásti (nosné, vodící a upínací) a přestavitelné (funkční a opěrné). Funkční a opěrné součásti se zhotoví podle tvaru a velikosti výrobku. [21, 28]

6.3 Technologie ohýbání – odpružení

Odpružení materiálu je nežádoucí jev, který vzniká po odlehčení tvářecích nástrojů. Odpružení se specifikuje na zpětné odpružení, jelikož vzniká zpětně (proti) po tváření. Zpětné odpružení je definováno úhlovou odchylkou γ , která se mění s délkou ramene. Tento jev je určován elastickou deformací v blízkosti neutrální osy. Pro správné určení odpružení je potřeba znát vlastnosti materiálu, poloměr ohybu, tloušťku materiálu a způsob ohýbání. Odpružení se zvětšuje s klesající tloušťkou materiálu a se zvětšujícím se poloměrem ohybu. Odpružení lze obecně definovat v rozsahu 3° až 15° . Pro přesnější určení se využívá poměru poloměru ohybu (r) a tloušťky materiálu (t) r/t . Princip odpružení je znázorněn na obr. 27. [18]



DIPLOMOVÁ PRÁCE

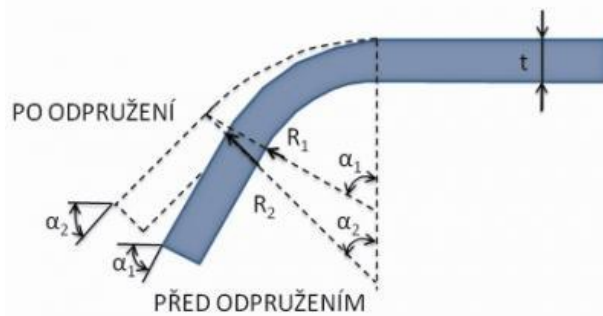


Obr. 27 Princip odpružení při ohýbání [18]

U plošného tváření ohybem nastává několik typů odpružení. Mezi tyto typy odpružení patří:

- úhlová změna,
- natočení boční stěny,
- zakřivení hrany,
- zakřivení povrchu,
- natočení,
- celková změna tvaru.

Na obr. 28 je znázorněna úhlová změna. Z tohoto obrázku je patrné, že úhlová změna je definována jako úhlový rozdíl mezi součástí a nástrojem po odlehčení tvářecí síly. Tento nežádoucí jev je způsobován ohybovým momentem, který je způsoben rozdílným napětím ve směru tloušťky plechu během ohýbání přes poloměr ohybu. Tento jev má vliv také na zvětšení ohýbaného poloměru. [19]



Obr. 28 Odpružení – úhlová změna [19]

Nežádoucím jevům při ohýbání se předchází různými postupy. Mezi různé postupy řadíme:

- ohýbaný materiál ohýbáme přes požadovaný úhel (empiricky nebo z tabulek) - nástroj je větší/menší o korekci γ ,



- zvětšení lisovací síly na konci ohýbaného cyklu - dochází k plastické deformaci v místě ohybu a úhlová změna se snižuje,
- využití prolisů na výlisku - úhlová změna se téměř eliminuje,
- pomocná vyztužovací žebra v místech ohybu. [18]

Poloměr ohybu by se měl konstruovat z hlediska odpružení co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti a tloušťce materiálu co největší (pro určení poloměru ohybu je vhodné použít tabulku – příloha 4). Kromě již dříve zmíněných problémů vznikají další technologické nežádoucí vlivy, jako je praskání materiálu a tvoření vln. Praskání materiálu nastává na vnější straně ohybu a je způsobeno zpevněním materiálu nebo průběhem vláken. Doporučuje se, aby směr vláken byl kolmý na osu ohybu. [20]

Přesnost u ohýbání je ovlivněna několika faktory, mezi které patří tvar a rozměry ohýbaného výlisku, stejnorodost mechanických vlastností, počet ohybů, tloušťka ohybů a přesnost ohýbacího nástroje. Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí se volí zpravidla dle tloušťky materiálu. [18]

6.3 Technologie ohýbání - výpočty

Pro ohýbání součástí je důležité znát vstupní a výstupní parametry. Tyto parametry se zjišťovaly nejdříve zkušební metodou. V dnešní době využíváme nomogramů (např. nomogram odpružení pro různé materiály viz příloha 5), z kterých určíme hodnoty, a přes vzorce docílíme hodnot, které se využívají ke konstrukci nástrojů. [18]

Poloměr neutrální vrstvy zjistíme dle výpočtového vztahu 4:

$$\rho = r + t \cdot x \quad (4)$$

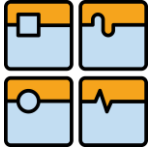
kde: ρ - poloměr neutrální vrstvy [mm]
 r - poloměr zaoblení [mm]
 x - součinitel posunutí neutrální vrstvy [-]
 t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

Délka oblouku vychází z:

$$L = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} \quad (5)$$

kde: L - délka oblouku [mm]
 α - úhel ohybu [°]
 ρ - poloměr neutrální vrstvy [mm]

Ohyb můžeme rozdělit na ohyb tvaru “V” a “U”. Dle zadání je uveden pouze výpočet pro ohyb tvaru “V”.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výpočet síly:

$$F_{OT} = \frac{b \cdot t^2}{l_p} \cdot R_m \quad (6)$$

kde: F_{OT} – maximální ohýbací síla [N]

b – šířka polotovaru [mm]

l_p – vzdálenost podpěr [mm]

t – tloušťka polotovaru [mm]

R_m - mez pevnosti materiálu [MPa]

Ohýbaný výrobek se pro výpočty definuje jako nosník o dvou podporách, který je zatížen samostatnou silou, která prochází středem dvou podpěr. [18]

Výpočet práce:

$$A = F_{OT} \cdot h \cdot k_1 \quad (7)$$

kde: A - práce [J]

h - zdvih [mm]

k_1 - koeficient průběhu F ($k_1 = 1/3$)



7 Výpočtová část

Zvolená součástka se bude vyrábět pomocí střížného nástroje a ohýbacího stroje. V této kapitole jsou provedeny výpočty, které jsou nezbytné pro konstrukci jednotlivých dílů nástroje. Výpočtové vztahy se skládají z rozvinutého tvaru, nástřihového plánu – využití pásu, výpočtu střížné síly, ohybové síly, úhlu odpružení a z výpočtů vztahů pro určení rozměrů střížníků a střížnice.

7.1 Výpočet částí stříhadla

V technologii stříhání se materiál dělí podle daného obvodu střížníku a střížnice. Při procesu stříhání se materiál odděluje na výrobek a odpad. Stříhání je ovlivněno mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. Výpočty v této kapitole jsou prováděny dle normy ČSN 22 6015. Tato norma obsahuje směrnice pro výpočtové vztahy a konstrukci střížného nástroje. Tato kapitola bude obsahovat nástřihový plán, určení těžiště, střížný odpor, střížnou sílu a jednotlivé rozměry střížníků a střížnic.

7.1.1 Výpočet využitelnosti pásu a nástřihový plán

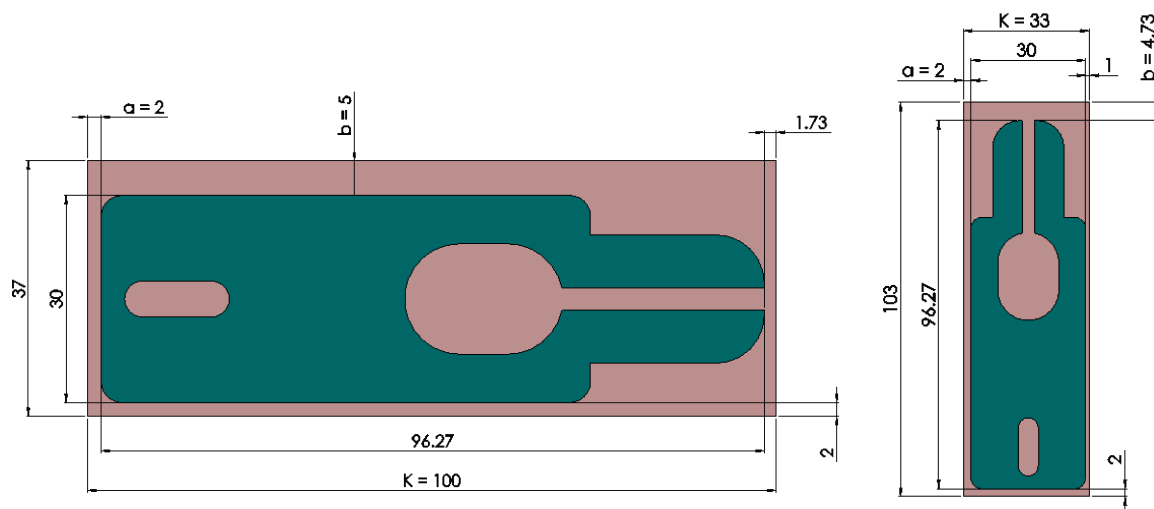
U stříhání se zhotovuje výrobek z pásu nebo z tabule plechu. Proto se musí správně navrhnout rozložení (umístění) výrobků na plochu polotovaru. Důležité je zohlednění všech faktorů, které rozvržení ovlivňují. Konstruktor musí zohlednit tvar a rozměry výstřížku. Jednořadé uspořádání se využívá pro malý počet kusů. U sériové výroby se řadí výstřížky do několika řad za sebou nebo u složitých tvarů se optimálně rozloží s ohledem na využití materiálu. Pro správný návrh polotovaru (pásu plechu) je třeba znát velikost můstků, protože šířka je součtem šíře výrobku a potřebných můstků a okrajů. Můstky a okraje tvoří technologické odpady. Velikost můstků a okrajů se určí z tabulky 4 v závislosti na tloušťce materiálu. Minimální hodnota postranního odpadu činí 2 mm a přídavek pro boční střížník je hodnota 2,3 mm (byla zvolena hodnota 3 mm), která zaručí přesný krok (takt).

Tab. 4 Velikost můstků a okrajů [21]

Materiál	Tloušťka pásu t	Výstřížky		Přídavek pro odstřihovače a výstřížky šířky než 80 mm
		šířka do 10 mm	šířka 10 až 80 mm	
Měkká a středně tvrdá ocel, mosazný a bronzový plech	0,2 až 0,4	1,0	1,5	2,0
	0,4 až 0,6	1,0	1,5	2,0
	0,6 až 1,0	1,0	1,5	2,0
	1,0 až 1,5	1,4	2,0	2,3
	1,5 až 2,0	1,6	2,5	2,5
	2,0 až 3,0	2,0	3,0	3,0
	3,0 až 4,0	2,5	3,5	3,5
	4,0 až 5,0	3,0	4,0	4,0
	5,0 až 6,0	3,5	4,5	4,5
	6,0 až 7,0	4,0	5,0	5,0
7,0 až 8,0	4,5	5,5	5,5	
8,0 až 9,0	5,0	6,0	6,0	
9,0 až 10,0	5,5	6,5	6,5	
Měděný zinkovaný a hliníkový plech	0,2 až 0,5	2,0	3,0	4,0
	0,5 až 1,0	1,0	2,0	3,0
	1,0 až 1,5	1,5	2,5	3,5
	přes 1,5	1,2 t	1,5 t	2,0 t
Tvrzený papír, fibr, lepenka	do 0,4	2,0	3,0	5,0
	0,4 až 1,0	1,5	2,5	4,0
	přes 1,0	2,0 t	2,5 t	3,0 t



Varianty návrhu umístění na polotovar pásu plechu jsou znázorněny na obr. 29.



Obr. 29 Rozvržení tvaru výstřižku – horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo)

Na obr. 29 jsou navrženy dvě varianty (horizontální a vertikální). V následujícím kroku budou porovnány tyto varianty rozložení výrobku výpočtovým vztahem pro procentuální využití materiálu.

Výpočtový vztah využití materiálu [30]:

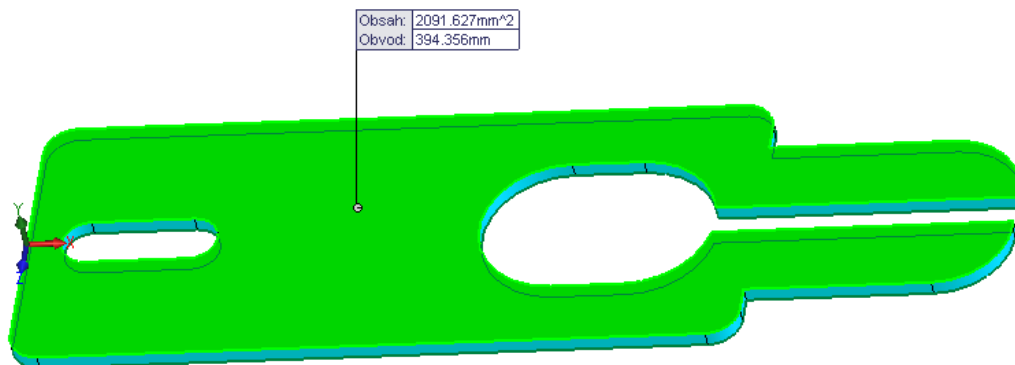
$$X = \frac{\sum S}{S_c} \cdot 100 \quad (8)$$

X – využití materiálu [%]

$\sum S$ – součet obsahů ploch všech výstřižků [mm^2]

S_c – celková plocha spotřebovaného materiálu [mm^2]

Využitelnost materiálu pro horizontální variantu je následující. Do výpočtového vztahu (8) je potřeba znát obsah výstřižku (plocha výstřižku je pro obě varianty stejná). Plocha výstřižku se získá pomocí softwaru SolidWorks 2012, což je znázorněno na obr. 30.



Obr. 30 Praktické využití CAD technologie – plocha



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využitelnost materiálu pro horizontální variantu lze získat dle výpočtového vztahu 8:

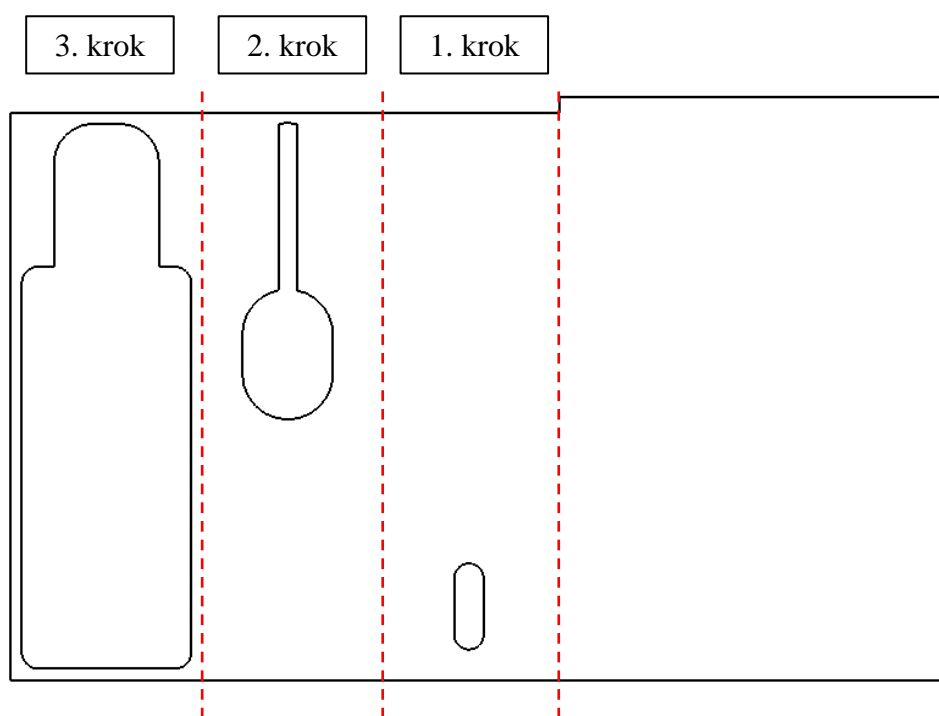
$$X_H = \frac{2091,6}{3700} \cdot 100 = 56,5 \%$$

Výpočtový vztah využití materiálu pro vertikální variantu je (8):

$$X_V = \frac{2091,6}{3399} \cdot 100 = 61,5 \%$$

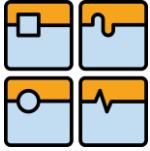
Varianty uspořádání jsou zvoleny s ohledem na co efektivnější využití plochy pásu a s co možná nejmenším odpadem. Směr vláken, který se určuje zejména pro ohyb, v tomto případě není uvažován, jelikož výrobek nebude silově namáhán. Uspořádání je zvoleno jednořadé, jelikož se jedná o malosériovou výrobu. Pro další postup v konstrukci je uvažováno s variantou vertikálního rozložení.

Nástřihový plán je znázorněn na obr. 31, který je navržen pro vertikální rozložení výstřižku.



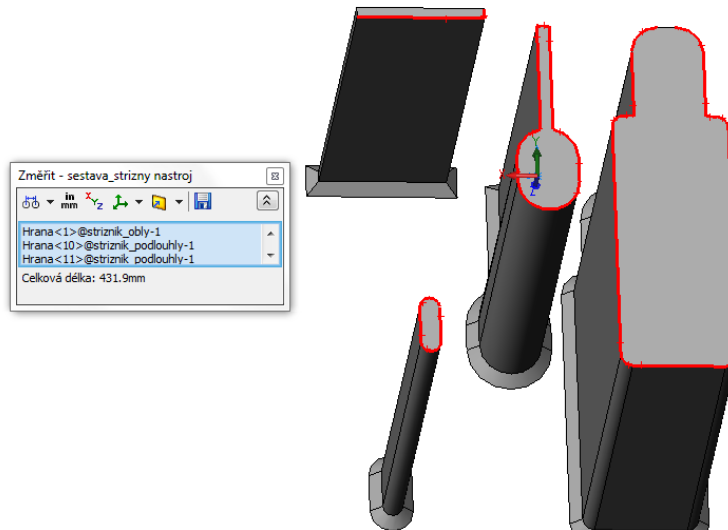
Obr. 31 Nástřihový plán s kroky stříhu

Proces stříhání je složen ze tří kroků. V prvním kroku stříhá boční střižník, který definuje krok, a drážkový střižník. Ve druhém kroku je vystřižen druhý otvor. V závěrečném třetím kroku je vystřižen výstřižek (polotovar pro ohyb).



7.1.2 Výpočet střížné síly a vůle

Pro výpočet střížné síly je potřeba znát celkový obvod střížných hran (u bočního střížníku $\frac{1}{2}$). Na obr. 32 je znázorněn součet střížných hran za pomoci počítačového CAD softwaru.



Obr. 32 Zvýrazněné a sečtené délky střížných hran střížníků

$$F_s = l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot (1 \div 1,3) \quad [30] \quad (9)$$
$$F_s = 431,9 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 320 \cdot 1,2 = 199\,019,52 \text{ N}$$

l – délka stříhu [mm]

$(1 \div 1,3)$ – opravný koeficient

V této práci byla zvolena hodnota 1,2.

Z důvodu stírání výstřížku ze střížníku a vytlačení výstřížku ze střížnice je potřeba vypočítat síly a připočíst tyto výsledky ke střížné síle. Tyto síly se definují jako F_u a F_v . Jejich výpočtové vztahy jsou uvedeny v ČSN 22 6015 [30].

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s \quad (10)$$

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n \quad (11)$$

k_{eu} , k_{ev} - koeficient podle druhu materiálu se určuje z tabulky 8

n – počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla

Tab. 5 Koeficient dle druhu materiálu [30]

Materiál	Koeficient	
	k_{eu}	k_{ev}
Ocel	0,10 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al	0,09	0,02 až 0,04



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Z tabulky 5 byly zvoleny koeficienty $k_{eu} = 0,12$ a $k_{ev} = 0,05$.

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s = 0,12 \cdot 199\,019,52 = 23\,882,3424 \text{ N}$$

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n = 0,05 \cdot 199\,019,52 \cdot 1 = 9\,950,976 \text{ N}$$

Celková střížná síla:

$$F_{CS} = F_s + F_u + F_v \quad [30] \quad (12)$$

$$F_{CS} = 199\,019,52 + 23\,882,34 + 9\,950,97 = 232\,852,8 \text{ N}$$

Pro dosažení této síly byl zvolen excentrický lis, kterým disponuje zákazník. Lis je označen 25T (možné alternativy 40T a 63T) a maximální rozměry nástroje mohou být 340x440 mm.

Střížná vůle

Výpočet střížné vůle se provádí s ohledem na tloušťku plechu. Pro účely této práce byl zvolen výpočtový vztah (13) pro tloušťku materiálu 1,5 mm. Rozměr střížné vůle se navrhuje takový, aby se docílilo dobré kvality střížné plochy. Protože je střížná vůle rozdíl mezi střížníkem a střížnicí, tak se při děrování (otvor je výrobkem) upravuje střížnice zvětšením o vůli. Při vystřihování (výstřížek je výrobek) se navrhuje rozměr součásti. Rozměr součásti se zároveň rovná rozměru střížnice a upravuje se střížník, který se zmenšuje o střížnou vůli. [30]

Výpočtový vztah střížné vůle pro tl. do 3mm [30]:

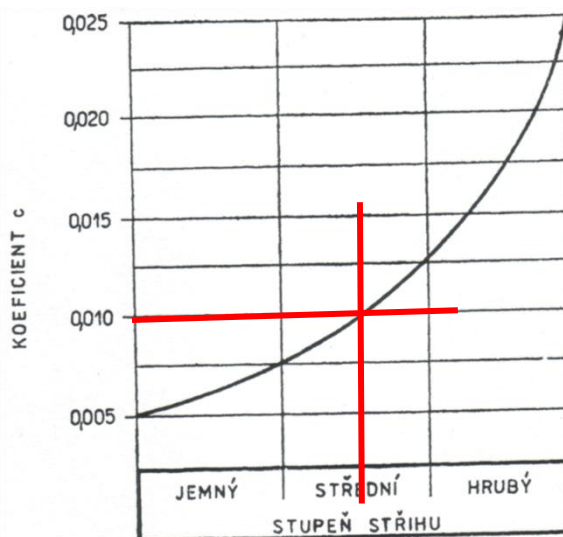
$$v = \frac{v_{1/2}}{2} = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{k_s} \quad (13)$$

v – střížná vůle [mm]

$v_{1/2}$ – střížná mezera [mm]

k_s – střížný odpor (hodnota dle tabulky z ČSN 22 6015 je 240 ÷ 340 – byla zvolena hodnota 290 MPa)

c – koeficient závislý na stupni stříhu (viz obr. 30)



Obr. 33 Diagram koeficientu c [30]



Hodnota c je 0,01 dle grafu na obr. 33, když je zvolen střední stupeň stříhu. Stupně stříhu odpovídají kvalitě povrchu stříhaného materiálu.

Při dosazení hodnot do výpočtového vztahu (13) pro střížnou vůli dostaneme [30]:

$$v_{1/2} = \frac{v}{2} = 0,01 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{290} = 0,08 \text{ mm}$$
$$v = 2 \cdot v_{1/2} = 2 \cdot 0,08 = 0,16 \text{ mm}$$

7.1.3 Základní rozměry střížnice a střížníků

V této kapitole jsou vypočteny základní rozměry střížníků a střížnice. Pro výpočtové vztahy je použita norma ČSN 22 6015. Pro návrh je nezbytné znát tolerance výstřížku, dále také správnou volbu děrování a vystřihování. Děrováním vzniká otvor, který je závislý na skutečných rozměrech střížníku. S ohledem na budoucí opotřebení střížníku (hran) je účelné zvětšit parametry o toleranci. U vystřihování vzniká vnější obrys součástky, a je tedy nutné použít přídavek proti opotřebení střížnice.

Protože výrobek nemá toleranci na žádném rozměru, je třeba vycházet ze všeobecné tolerance ČSN ISO 2768m-K (příloha 4).

Pro střížník drážkový (krok první), který je znázorněn na obr. 34, platí tyto výpočtové vztahy (příloha 5):

$$RAD = (JR + 0,5 \cdot P) - TA = (5,2 + 0,5 \cdot 0,09) - 0,023 = 5,245 - 0,023 \text{ mm}$$

$$RED = (JR + 0,5 \cdot P + V) + TE = (5,2 + 0,5 \cdot 0,09 + 0,16) + 0,032 = 5,405 + 0,032 \text{ mm}$$

$$RAD = (JR + 0,5 \cdot P) - TA = (15,2 + 0,5 \cdot 0,160) - 0,035 = 15,28 - 0,035 \text{ mm}$$

$$RED = (JR + 0,5 \cdot P + V) + TE = (15,2 + 0,5 \cdot 0,16 + 0,16) + 0,054 = 15,44 + 0,054 \text{ mm}$$

RAD – rozměr střížníku při děrování

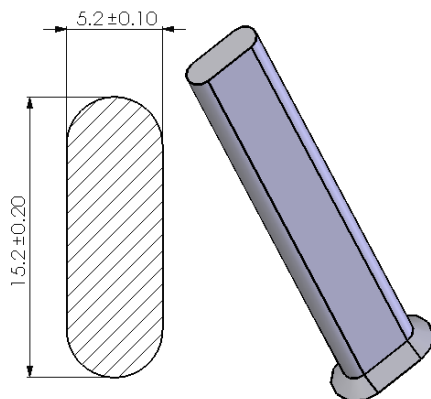
RED – rozměr střížnice při děrování

JR – jmenovitý rozměr součásti

P – přípustná míra opotřebení (příloha 6)

TA – výrobní tolerance střížníku (příloha 6)

TE – výrobní tolerance střížnice (příloha 6)



Obr. 34 Střížník drážkový



DIPLOMOVÁ PRÁCE

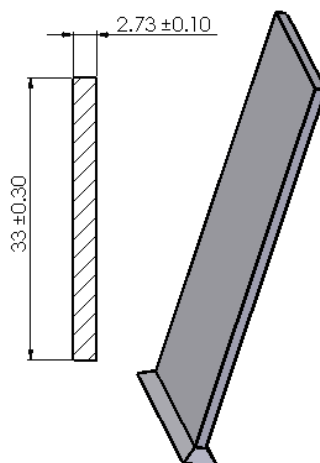
Pro střížník boční, který je znázorněn na obr. 35, platí (krok první):

$$\text{RAD} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P}) - \text{TA} = (2,73 + 0,5 \cdot 0,09) - 0,023 = 2,775 - 0,023 \text{ mm}$$

$$\text{RED} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P} + \text{V}) + \text{TE} = (2,73 + 0,5 \cdot 0,09 + 0,16) + 0,032 = 2,935 + 0,032 \text{ mm}$$

$$\text{RAD} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P}) - \text{TA} = (33 + 0,5 \cdot 0,23) - 0,057 = 33,115 - 0,057 \text{ mm}$$

$$\text{RED} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P} + \text{V}) + \text{TE} = (33 + 0,5 \cdot 0,23 + 0,16) + 0,089 = 33,275 + 0,089 \text{ mm}$$



Obr. 35 Boční střížník

Pro střížník v kroku 2 platí tyto výpočtové vztahy:

$$\text{RAD} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P}) - \text{TA} = (3,2 + 0,5 \cdot 0,09) - 0,023 = 3,245 - 0,023 \text{ mm}$$

$$\text{RED} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P} + \text{V}) + \text{TE} = (3,2 + 0,5 \cdot 0,09 + 0,16) + 0,032 = 3,405 + 0,032 \text{ mm}$$

$$\text{RAD} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P}) - \text{TA} = (16 + 0,5 \cdot 0,16) - 0,035 = 16,08 - 0,035 \text{ mm}$$

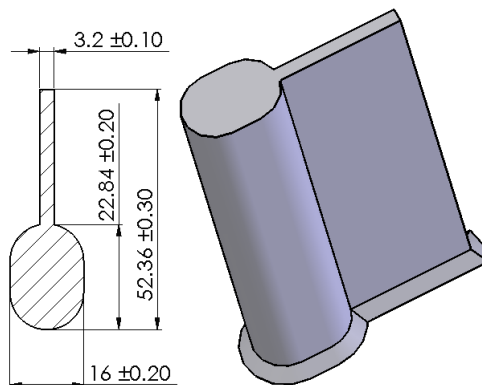
$$\text{RED} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P} + \text{V}) + \text{TE} = (16 + 0,5 \cdot 0,16 + 0,16) + 0,054 = 16,24 + 0,054 \text{ mm}$$

$$\text{RAD} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P}) - \text{TA} = (22,84 + 0,5 \cdot 0,16) - 0,035 = 22,92 - 0,035 \text{ mm}$$

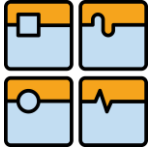
$$\text{RED} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P} + \text{V}) + \text{TE} = (22,84 + 0,5 \cdot 0,16 + 0,16) + 0,054 = 23,08 + 0,054 \text{ mm}$$

$$\text{RAD} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P}) - \text{TA} = (52,36 + 0,5 \cdot 0,23) - 0,057 = 52,475 - 0,057 \text{ mm}$$

$$\text{RED} = (\text{JR} + 0,5 \cdot \text{P} + \text{V}) + \text{TE} = (52,36 + 0,5 \cdot 0,23 + 0,16) + 0,089 = 52,635 + 0,089 \text{ mm}$$



Obr. 36 Střížník v kroku 2



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pro parametry střížníku ve třetím kroku nástřihového plánu jsou důležité tyto výpočtové vztahy (příloha 7):

$$RAV = (JR - 0,5 \cdot P - V + TA) - TA = (18,6 - 0,5 \cdot 0,16 - 0,16 + 0,035) - 0,035 = 18,395 - 0,035 \text{ mm}$$

$$REV = (JR - 0,5 \cdot P) + TE = (18,6 - 0,5 \cdot 0,16) + 0,054 = 18,52 + 0,054 \text{ mm}$$

$$RAV = (JR - 0,5 \cdot P - V + TA) - TA = (30 - 0,5 \cdot 0,16 - 0,16 + 0,035) - 0,035 = 29,795 - 0,035 \text{ mm}$$

$$REV = (JR - 0,5 \cdot P) + TE = (30 - 0,5 \cdot 0,16) + 0,054 = 29,92 + 0,054 \text{ mm}$$

$$RAV = (JR - 0,5 \cdot P - V + TA) - TA = (71,03 - 0,5 \cdot 0,23 - 0,16 + 0,057) - 0,057 = 70,812 - 0,057 \text{ mm}$$

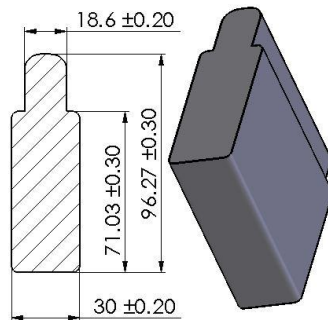
$$REV = (JR - 0,5 \cdot P) + TE = (71,03 - 0,5 \cdot 0,23) + 0,089 = 70,915 + 0,089 \text{ m}$$

$$RAV = (JR - 0,5 \cdot P - V + TA) - TA = (96,27 - 0,5 \cdot 0,23 - 0,16 + 0,057) - 0,057 = 96,052 - 0,057 \text{ mm}$$

$$REV = (JR - 0,5 \cdot P) + TE = (96,27 - 0,5 \cdot 0,23) + 0,089 = 96,155 + 0,089 \text{ m}$$

REV - rozměr střížnice při vystřihování

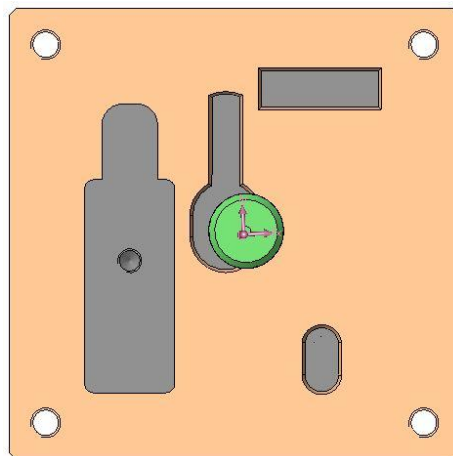
RAV - rozměr střížníku při vystřihování



Obr. 37 Střížník v kroku 3

7.1.4 Pozice stopky střížného nástroje

Střížný nástroj se upíná do beranu lisu pomocí stopky. Umístění stopky nástroje se zavádí přímo do těžiště všech střížných sil, protože by byl nástroj namáhán a funkční části by se rychleji opotřebovávaly. K určení těžiště můžeme použít matematického výpočtu nebo grafického řešení. Pro tuto práci bylo použito software SolidWorks 2012 k určení pozice stopky. Umístění těžiště je znázorněno na obr. 38. [21]



Obr. 38 Pozice stopky – těžiště střížné hlavy

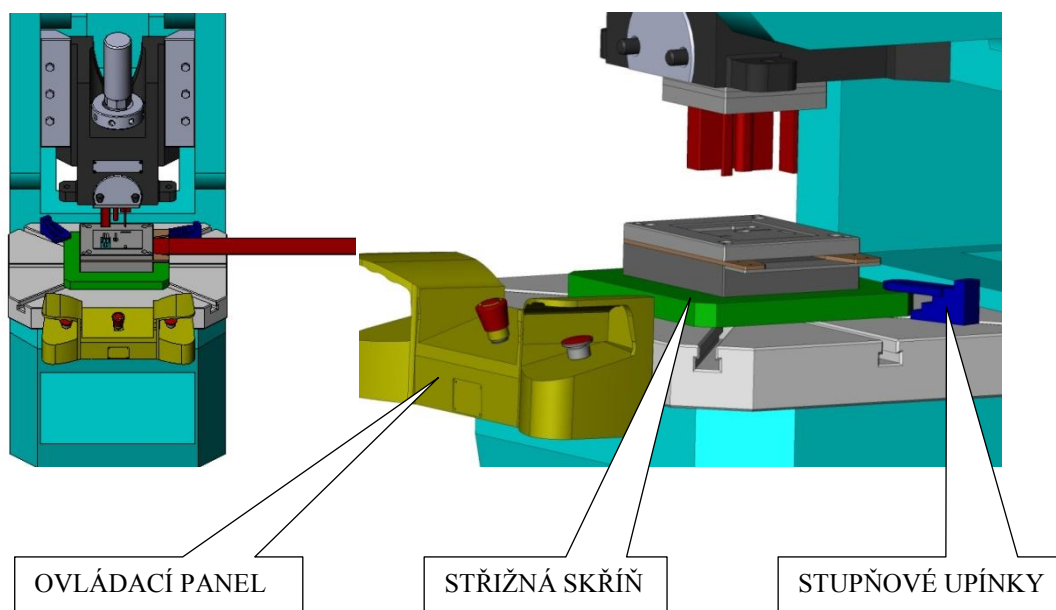


7.1.5 Shrnutí výsledků střížného nástroje

Střížná vůle: $v = 0,16 \text{ mm}$
Střížná mezera: $v_{1/2} = 0,08 \text{ mm}$
Střížná síla: $F_{CS} = 232\,852,8 \text{ N} = 232 \text{ kN}$
Lis: excentrický lis s uzavírací silou 25 t
Rozměry střížníků a střížnice jsou uvedeny v kapitole 7.1.3.
Těžiště střížné hlavice je uvedeno v kapitole 7.1.4.

7.1.5 Popis nástroje na stříhání

Střížný nástroj se upíná na lis 25T. Na obr. 39 je znázorněn celkový pohled a detailní pohled do pracovního prostoru. Střížná skříň se upíná na stůl lisu pomocí upínek (na obr. 39 modrá součást). Při malé výšce nástroje se pod základní desku střížné skříňe zasunuje ocelový (distanční) hranol z důvodu, aby nedocházelo k vyjetí beranu z vedení. Pokud se střížná skříň podloží, musí se dbát na to, aby byl otvor pro výrobky průchozí. Pro bezpečný provoz je navržen na lis dvouruční ovládací panel.

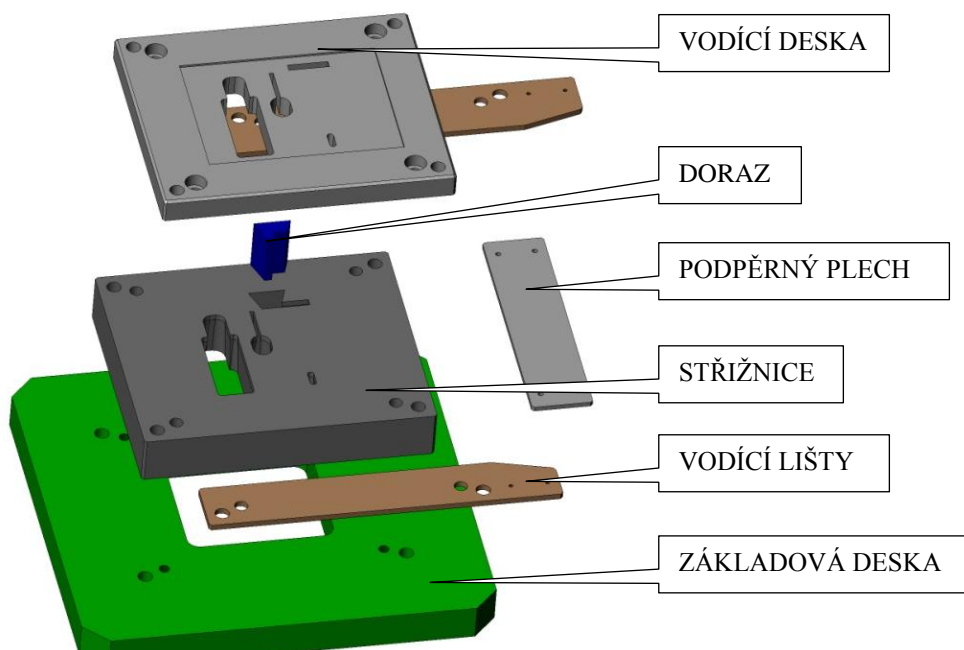


Obr. 39 Pohledy na střížný nástroj

Střížná skříň je složena z jednotlivých dílů, což je znázorněno na obr. 40. U střížné skříňe se používají kolíky a šrouby. Kolíky zajišťují správnou polohu jednotlivých desek (vodící a střížná deska) vůči sobě. Střížná skříň se pevně upevňuje na základovou desku lisu.



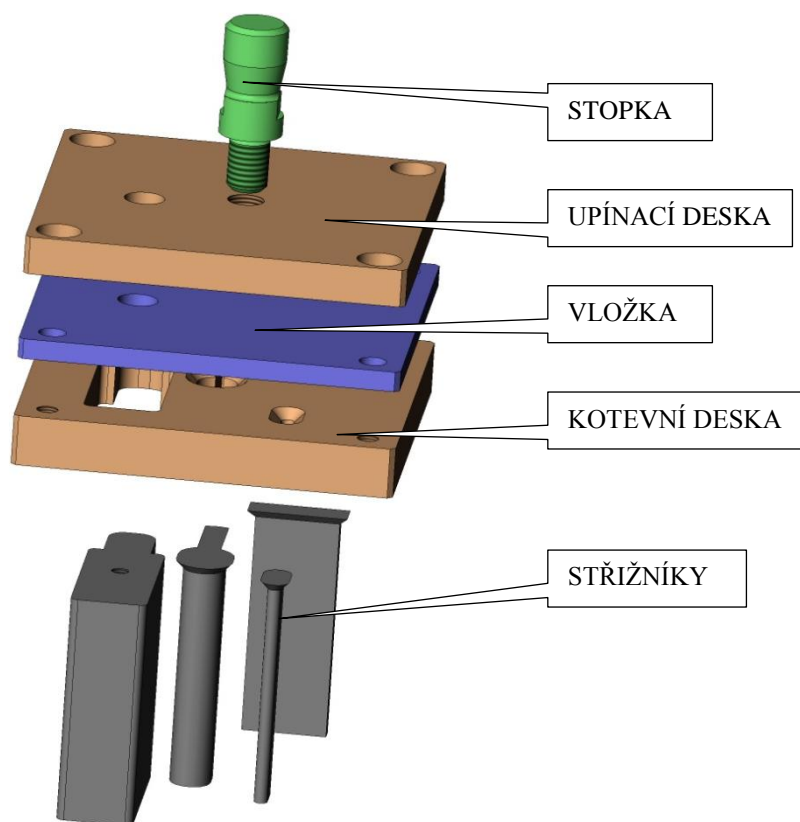
DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 40 Jednotlivé díly střížné skříně – rozložený pohled

Základová deska je nejrozměrnější. Pro tuto desku byl zvolen materiál 11 600. Vodící lišty vedou pás plechu a s ohledem na kontakt (případné otláčení) byl zvolen materiál 19 312 s technologickou úpravou kalení na 58 HRC. Střížnice je navržena z materiálu 19 436 a se zakalením na 60 HRC. U střížnice byla zvolena fazetka a úkos (4°) pro snadný odvod odstříženého materiálu. Fazetka se konstruuje pro přebroušení horní plochy (naostření), aby se nezměnily parametry. Doraz pro první založení pásu je navržen z materiálu 19 312 a se zakalením na 60 HRC. Vodící desky je navrženo zapuštění z důvodu mazání střížníků. U vodících lišt je navržen podpěrný plech, který napomáhá zavedení pásu plechu pod střížníky. Podpěrný plech je z materiálu 11 370.

Horní část nástroje je hlavice. Hlavice a její části jsou znázorněny na obr. 41. Hlavice se upíná pomocí stopky do beranu lisu. Součástí hlavice jsou tři desky, které se upínají pouze šrouby, protože není nutná vzájemná poloha desek. Pro desky upevňovací a kotevní byl zvolen materiál 11 600. Pro vložku byl vybrán materiál 19 312 se zakalením na 58 HRC. Pro všechny střížníky byl určen materiál 19 436 s tepelnou úpravou kalením na 60 HRC. Pro ukotvení střížníků v kotevní desce bylo zvoleno osazení (roznýtování). Pro největší střížník bylo zvoleno šroubové spojení (M8) z důvodu snadné údržby a montáže.



Obr. 41 Střižná hlavice – rozložený pohled

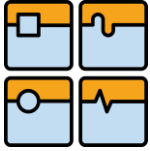
7.3 Výpočet částí ohýbadla

Výstupními hodnotami z výpočtu pro ohýbací nástroj jsou síla ohýbání, vůle nástroje, zaoblení hran a odpružení. Jako vstupní veličiny se u výpočtu pro ohýbací nástroj zohledňují vlastnosti materiálu, tloušťka polotovaru, tvar ohybu, poloměr ohybu a šířka polotovaru. Výpočty provedené v této kapitole jsou provedeny dle normy ČSN 22 7340. Dosavadní výpočtové vztahy (v teoretické části) jsou pouze obecné a jsou uvedeny v technických publikacích. [31]

První výpočet bude určení rozvinutého tvaru výrobku. Norma ČSN 22 7340 uvádí, že u poloměrů kde r/t je větší nebo rovno 12, je možné předpokládat pozici neutrální vrstvy v ose tloušťky materiálu. Ve většině případů se ohyb uskutečňuje o malém poloměru (r/t je menší než 6). Materiál se při ohybu deformuje (změna tloušťky, průřezu a posunutí neutrální vrstvy na stranu stlačovaných vláken). Výpočtový vztah, který definuje poloměr neutrální vrstvy, se provede dle vztahu (14):

$$\rho = r + t \cdot x \quad (14)$$
$$\rho = 1,5 + 1,5 \cdot 0,41 = 2,115 \text{ mm}$$

Parametr x (součinitel posunutí neutrální vrstvy [-]) se určí dle následující tabulky 6 (poměr r/t je $1,5/1,5 = 1$).



DIPLOMOVÁ PRÁCE

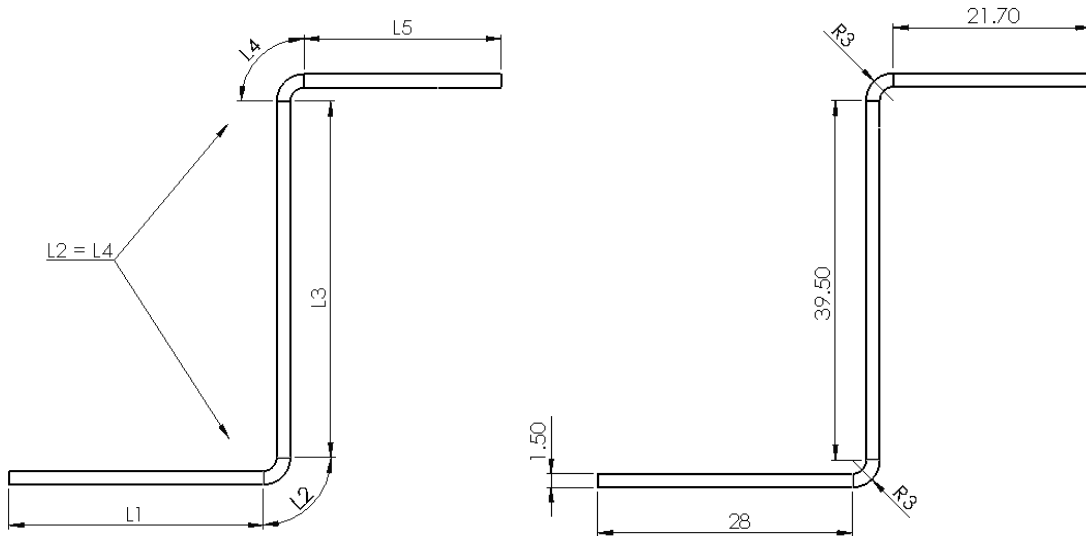
Tab. 6 Součinitel x [31]

	Pevnost materiálu R_m	$\frac{r}{t}$													
		0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2		
součinitel x	do 400 MPa	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45		
	nad 400 MPa									0,35	0,36	0,37	0,38		
	Pevnost materiálu R_m	$\frac{r}{t}$													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
součinitel x	do 400 MPa	0,46	0,47	0,48	0,49			0,5							
	nad 400 MPa	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48		0,49				

Pro zjištění rozvinutého tvaru polotovaru je nezbytné spočítat délku oblouku neutrální vrstvy v úseku ohybu. Na výrobku jsou dva ohyby shodné, jak je patrné z obr. 42 s parametry. Výpočet je proveden pro L_2 , protože $L_2 = L_4$.

$$L = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} \quad (15)$$

$$L_2 = \frac{\pi \cdot 2,115 \cdot 90}{180} = 3,322 \text{ mm}$$



Obr. 42 Délky pro analýzu rozvinutého tvaru



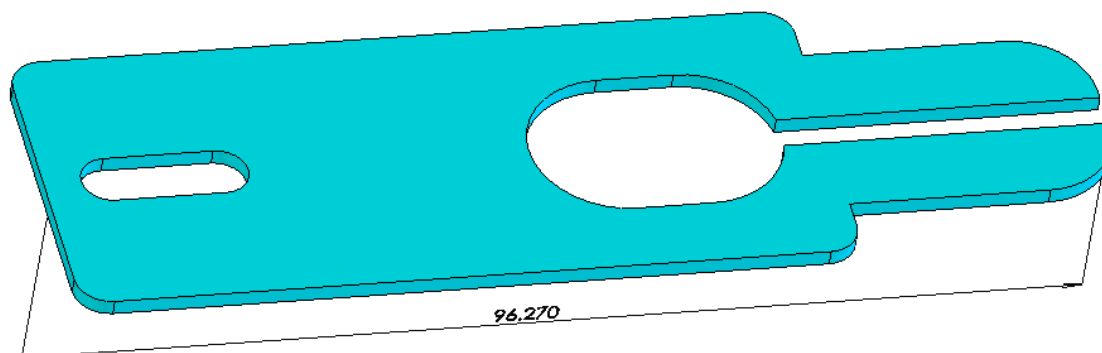
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Celková délka rozvinutého plechu je součet jednotlivých ramen (oblouky a přímé úseky).

$$L = \Sigma L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (16)$$

$$L = 28 + 3,322 + 39,5 + 3,322 + 21,7 = 95,844 \text{ mm}$$

Pro kontrolu správnosti výpočtu můžeme použít software, který vyobrazí rozvinutý tvar, a následné okótování zajistí další hodnotu k posouzení. Vizualizace rozvinutého tvaru je znázorněna na obr. 43.



Obr. 43 Parametr rozvinutého tvaru pomocí CAD softwaru

Při ohýbání vzniká zaoblení na výrobku. Zaoblení je zvoleno takové, aby se předešlo případným deformacím, které mohou vzniknout při nevhodném zvolení. Závislost minimálního poloměru je na ohýbaném materiálu a jeho tepelném zpracování. Jelikož v zadání není polotovár tepelně zpracován, nebude tento faktor vstupovat do výpočtu. U ohybu se řeší krajní vlákna v materiálu (jsou nejvíce namáhaná). Na vnější straně, kde se vlákna natahují, musí konstruktér zabránit tvoření trhlinek. Tvoření trhlinek se předchází konstrukcí minimálního poloměru. K určení hodnoty minimálního poloměru bylo využito tabulky z normy ČSN 22 7340. V tabulce 7 je uvedena hodnota 1,6 mm, která je menší než R3 (viz obr. 42), takže tuto podmínku výrobek splňuje.

Tab. 7 Minimální poloměr [31]

Ocel o pevnosti v tahu R_m v MPa	Ohyb napříč nebo podél vláken	Nejmenší poloměr ohybu pro tloušťky plechu										
		1	nad 1 do 1,5	nad 1,5 do 2,5	nad 2,5 do 3	nad 3 do 4	nad 4 do 5	nad 5 do 6	nad 6 do 7	nad 7 do 8	nad 8 do 10	nad 10 do 12
do 392	napříč	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20
	podél	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25
nad 392 do 490	napříč	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25
	podél	1,2	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32
nad 490 do 637	napříč	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25
	podél	1,6	2,5	4	5	8	10	12	16	20	25	32

Poznámka: V tabulce uvedené nejmenší poloměry ohybu platí pro úhly ohybu β rovné nebo menší než 120° . Pro β větší než 120° je nutno zvolit nejbližší větší poloměr ohybu.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Na konci ohýbaní (na výrobek již nepůsobí ohýbací síla) se projevuje snaha materiálu vrátit se do původního tvaru. Tento jev je nežádoucí a musí se s ním počítat pro návrh nástroje. Projevuje se zvětšením úhlu otevření a nepatrným zvětšením poloměru ohybu.

Výpočet odpružení se provádí dle výpočtového vztahu:

$$\alpha_1 = 180 - K_o \cdot (180 - \alpha_2) \quad (17)$$

α_1 - úhel otevření po odpružení [°]

α_2 - úhel otevření před odpružením [°]

K_o - součinitel dle následující tabulky 8 (zvoleno 0,99)

Tab. 8 Součinitel K [31]

Materiál	Součinitel K pro	
	$\frac{r}{t} = 1$	$\frac{r}{t} = 10$
oceli vhodné pro tváření	0,99	0,97
korozivzdorné oceli	0,96	0,92
hliník Al 99,5 měkký	0,99	0,98
polotvrký	0,98	0,93
hliník Al 99 měkký	0,99	0,98
polotvrký	0,98	0,92
slitina AlMn měkká	0,99	0,97
polotvrdá	0,98	0,90
slitina AlMg2 měkká	0,985	0,96
polotvrdá	0,98	0,88
slitina AlMg3 měkká	0,985	0,94
polotvrdá	0,98	0,90
mosaz Ms 70, Ms 68	0,975	0,915

Po dosazení do výpočtového vztahu:

$$\alpha_1 = 180 - 0,99 \cdot (180 - 90) = 90,9^\circ$$
$$90,9^\circ = 90^\circ + 0,9^\circ \Rightarrow 0,9^\circ \cdot 60 = 54'$$

Dle normy ČSN ISO mK2768, která se předepisuje na výkresy, je patrné že odpružení 54' překračuje nepředepsanou úchylku úhlového rozměru, která činí $\pm 30'$. Norma ČSN ISO mK 2768 je uvedena v příloze 4. Pro správný návrh je nutné provést přepočet.

$$\alpha_1 = 180 - K_o \cdot (180 - \alpha_2)$$
$$\alpha_1 = 180 - 0,99 \cdot (180 - 89,1) = 90,009^\circ$$
$$90,009^\circ = 90^\circ + 0,009^\circ \Rightarrow 0,009^\circ \cdot 60 = 0,54'$$

Výsledné odpružení materiálu je přijatelné jak z hlediska technologie, tak také z hlediska výroby a dodržení výsledného tvaru. Nástroj se navrhne s vrcholovým úhlem 89,1°.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Na nástroji byl vypočten potřebný úhel k vytvoření ohybu. Následně je zapotřebí znát parametr zaoblení pohyblivé části nástroje. Přibližný poloměr zaoblení pohyblivé části r_p se vypočte dle následujícího vztahu (18):

$$r_p = \frac{1}{\frac{1}{r} + 3 \cdot \frac{R_e}{E \cdot t}} \quad (18)$$

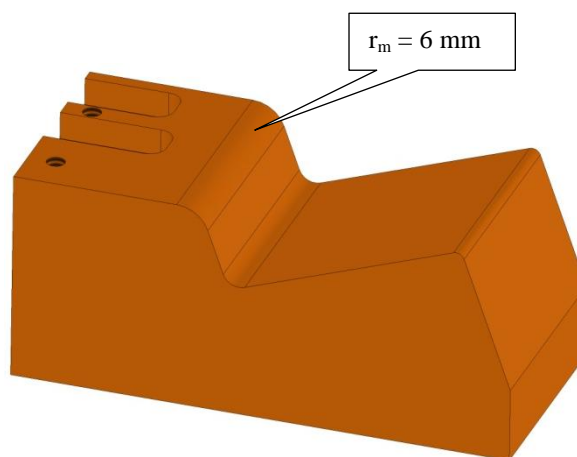
r_p - poloměr zaoblení [mm]

R_e - mez kluzu [MPa] – dle materiálu 280 MPa

E - modul pružnosti v tahu [MPa] – pro ocel $2,1 \cdot 10^5$ MPa

$$r_p = \frac{1}{\frac{1}{1,5} + 3 \cdot \frac{280}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,5}} = 1,494 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení činné části ohybníku (pohyblivé části) se navrhuje ve většině případů stejný jako poloměr ohýbané součásti. Pokud by zákazník požadoval dodržení přesnosti, rádius se navrhne dle výpočtu. Pohyblivý nástroj je navržen se zaoblením $r_p=1,5$ mm, jelikož na výkrese od dodavatele není rozměr tolerován. Nejvhodnější kontrola správnosti je vyzkoušení nástroje a zareagování na tyto zkušební (prvotní) ohyby. Poloměr pevné části ohybnice se určuje dle $r_m = 2 \cdot t$ až $6 \cdot t$. Pro rádius r_m bylo zvoleno $4 \cdot t$, takže rádius pevné části je $r_m = 6$ mm. Ohybnice s popisem zaoblení je znázorněna na obr. 44.



Obr. 44 Ohybnice s poloměrem zaoblení

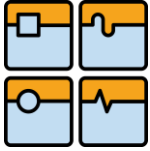
Výpočet ohýbací síly se provede dle následujícího výpočtového vztahu:

$$F_{OV} = \frac{c_o \cdot R_m \cdot b_o \cdot t^2}{l_v} \quad (19)$$

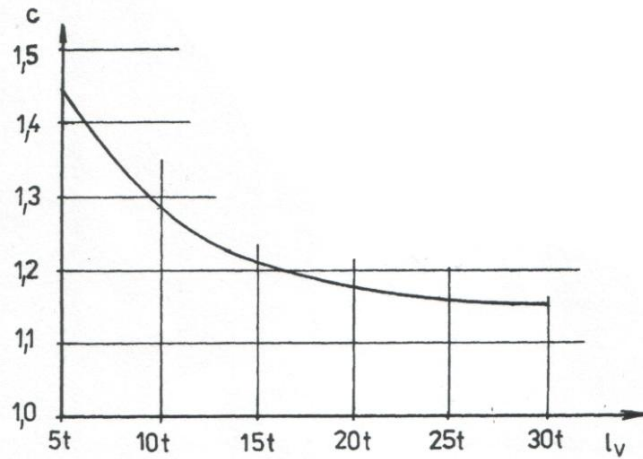
c_o – součinitel podle diagramu na obr. 45 [-]

l_v – vzdálenost ohýbacích hran (obr. 46) [mm]

b_o – šířka ohybu (obr. 46)



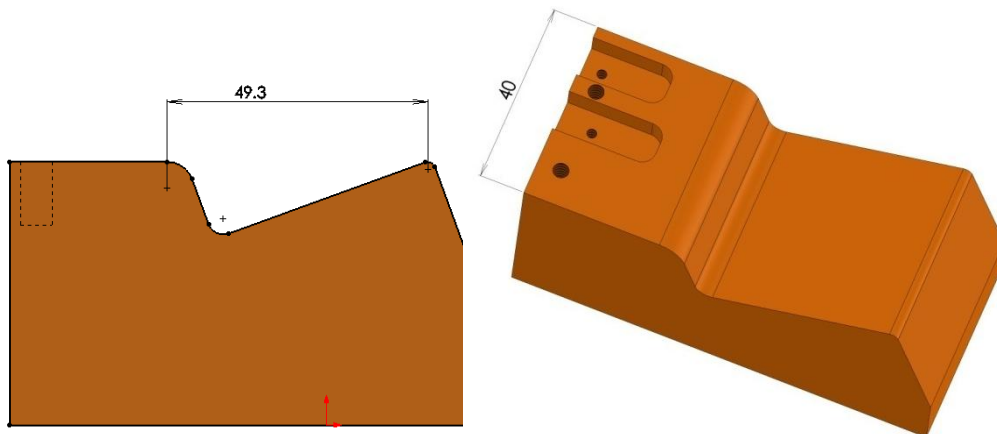
DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 45 Diagram součinitele c [31]

$$F_{OV} = \frac{1,1 \cdot 280 \cdot 40 \cdot 1,5^2}{49,3} = 562,3 \text{ N}$$

Z obr. 42 je zvolena hodnota 1,1, protože vzdálenost ohýbacích hran je více jak 30t. Norma uvádí, že v tomto případě se volí 1,1.



Obr. 46 Vzdálenost ohýbacích hran

Do výpočtu se musí také započítat tření. Toto tření vzniká mezi rozvinutým tvarem plechu a dotýkajícími se plochami pevného nástroje (ohybnicí).

Síla k překonání tření:

$$F_T = 0,3 \cdot F_{OV} \quad (20)$$

$$F_T = 0,3 \cdot F_{OV} = 0,3 \cdot 562,3 = 168,7 \text{ N}$$



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Celková ohýbací síla se pak vypočte součtem ohýbací a třecí síly:

$$F_{CO} = F_{OV} + F_T \quad (21)$$

$$F_{CO} = 562,3 + 168,7 = 731 \text{ N}$$

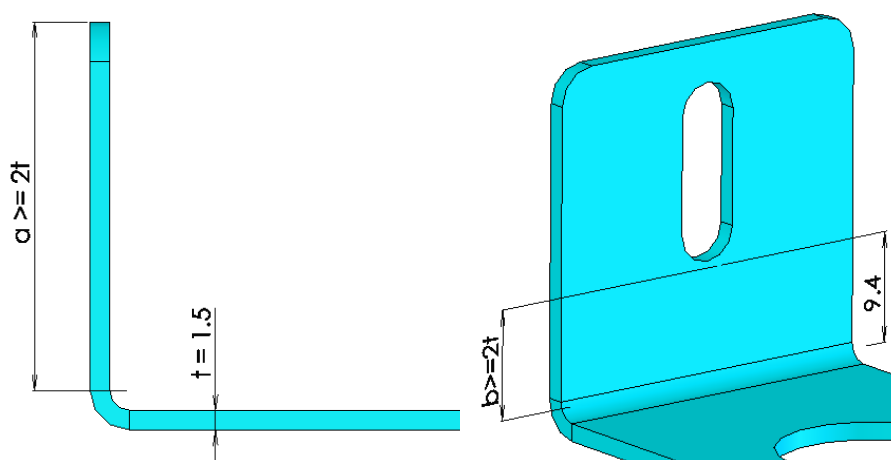
Od dodavatele SMC byl vybrán lineární pneumatický motor s označením CDQ2B50-100DCM. Tento typ pneumatického motoru (dle přílohy 8) je s tlačnou silou 1 060 N při pracovním tlaku 6 bar.

Výpočet práce pro ohyb:

$$A_{OV} = m \cdot \frac{F_{CO} \cdot h_V}{1000} \quad (22)$$

$$A_{OV} = \frac{1}{3} \cdot \frac{731 \cdot 13,781}{1000} = 3,35 \text{ J}$$

Mezi další parametry, které jsou nezbytné pro dosažení správného ohybu, řadíme nejmenší délku ohýbaného ramene a z pohledu deformací se kontroluje vzdálenost otvorů ležících blízko ohybu. Vzdálenosti od ohybu jsou naznačeny na obr. 47.



Obr. 47 Vzdálenosti od ohybu (ramene a otvorů) [31]

Délka ramene:

$$a \geq 2 \cdot t \quad (23)$$

a – nejmenší vzdálenost ramene od ohybu [mm]

t – tloušťka materiálu [mm]

$$a \geq 2 \cdot 1,5$$

$$a \geq 3 \text{ mm}$$

Na základě porovnání výsledné hodnoty s hodnotou na obr. 42, který obsahuje hodnoty obou ramen (28 mm a 21,7 mm), lze říci, že podmínka nejmenší vzdálenosti ramene od ohybu je splněna.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$b_z \geq 2 \cdot t \quad (24)$$

b_z – nejmenší vzdálenost otvoru od ohybu [mm]

$$b_z \geq 2 \cdot 1,5$$

$$b_z \geq 3 \text{ mm}$$

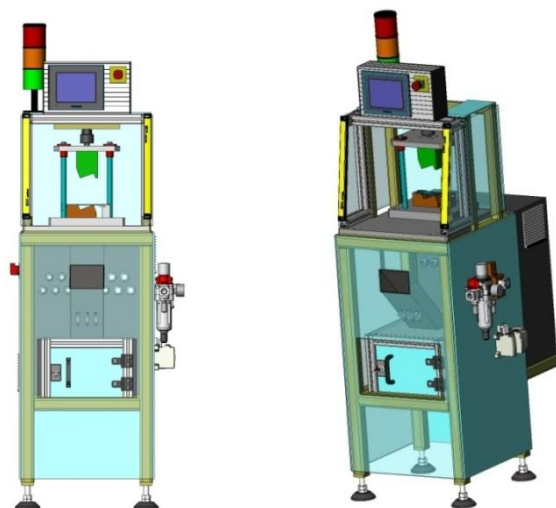
Tato podmínka je splněna, protože na obr. 47 je hodnota vzdálenosti větší.

7.3.1 Shrnutí získaných výsledků pro ohýbadlo

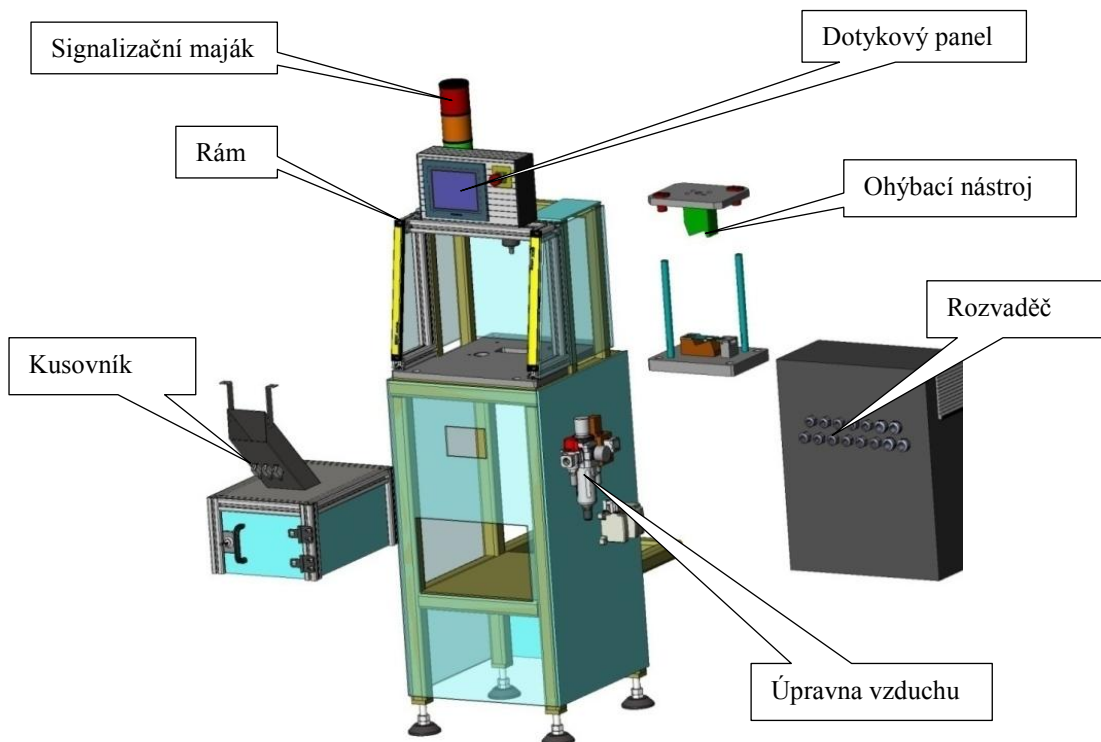
Celková délka rozvinutého tvaru:	$L = 95,844 \text{ mm}$
Nejmenší poloměr ohybu:	$R = 3 \text{ mm}$
Vrcholový úhel ohybníku:	$\alpha = 89,1^\circ$
Poloměr zaoblení ohybníku:	$r_p = 1,5 \text{ mm}$
Celková ohýbací síla:	$F_{CO} = 731 \text{ N}$
Lineární pneumatický motor:	CDQ2B50-100DCM s $F = 1\,060 \text{ N}$
Minimální délka ramene od ohybu:	$a \geq 3 \text{ mm}$
Minimální vzdálenost otvoru od ohybu:	$b_z \geq 3 \text{ mm}$

7.3.2 Zařízení pro ohýbání součástí

Pro ohyb výrobku byl na základě autorových zkušeností z praxe navržen jednoúčelový ohýbací stroj. Skládá se ze svařovaného rámu, na kterém jsou namontovány další podsestavy stroje. Z vnějšího pohledu je stroj zakrytován ve spodní části plechy a v horní části (pracovní část) je krytován průhledným makrolonem UV s tloušťkou 5 mm. Na stroji, jak je patrné z obr. 49, jsou znázorněny bezpečnostní prvky jako signalizační maják typu XVMB2RAG od firmy Schneider, ovládací dotykový panel Pro-Face se stop tlačítkem. Pracovní prostor je chráněn světelnými závorami od firmy Sick. Stroj je přístupný z přední části pro obsluhu. Pro případný servis je ze zadní části umístěn rozvaděč a v pravé spodní části je umístěna úpravna vzduchu. V přední spodní části se nachází kusovník popř. zmetkovník. Na obr. 48 je vyobrazen celý pohled na stroj. Na dalším obr. 49 jsou detailněji popsány podsestavy.

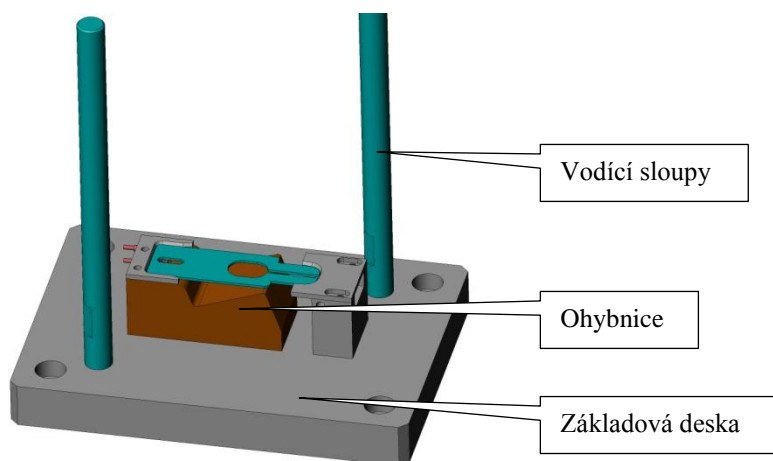


Obr. 48 Celkový pohled na jednoúčelový stroj



Obr. 49 Vizualizace podsestav – rozložená sestava

Ohýbací nástroj je umístěn na desce, která je z materiálu 11 600. Pro docílení přesného vedení spodního a horního dílu nástroje byly navrženy vodící sloupy z materiálu 12 050 a povrchově kalené na 62HRC. Pro usnadnění montáže jsou navrženy dvě ofrézované plošky, které slouží pro zasunutí utahovacího klíče. Spodní část ohýbacího nástroje je znázorněna na obr. 50.

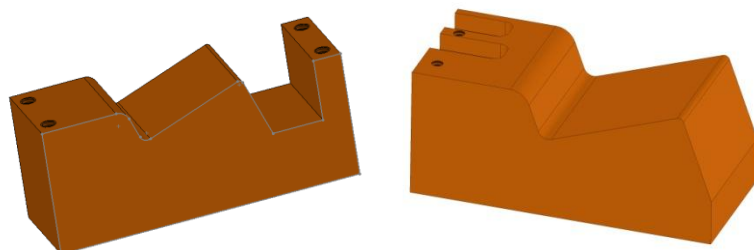


Obr. 50 Spodní část ohýbacího nástroje

Tvar ohybnice je možné navrhnout několika způsoby. Důležitý je profil pro ohyb výsledného tvaru. Návrh obsahuje dvě varianty, které jsou uvedeny na obr. 51. U první varianty se ohybnice skládá z jednoho kusu a u druhé varianty z více částí.

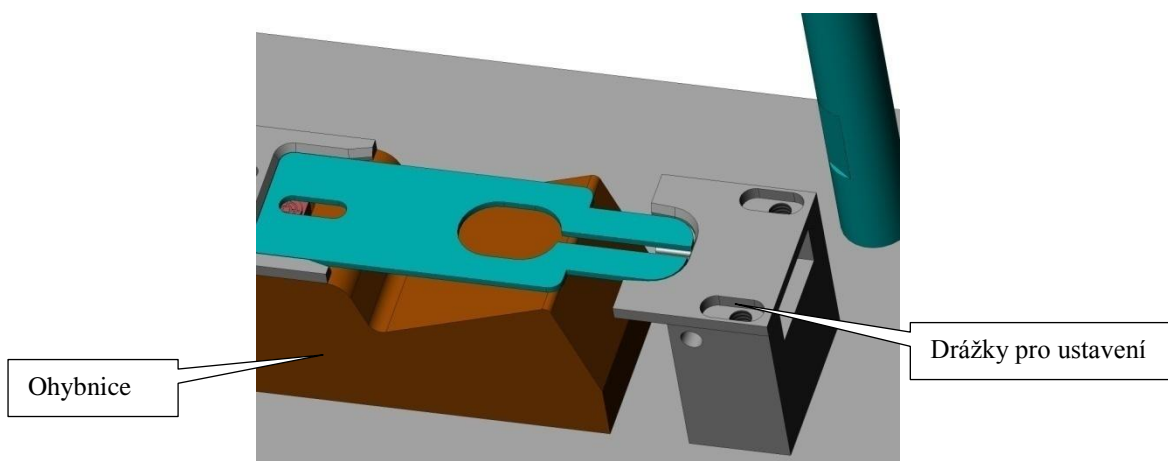


DIPLOMOVÁ PRÁCE



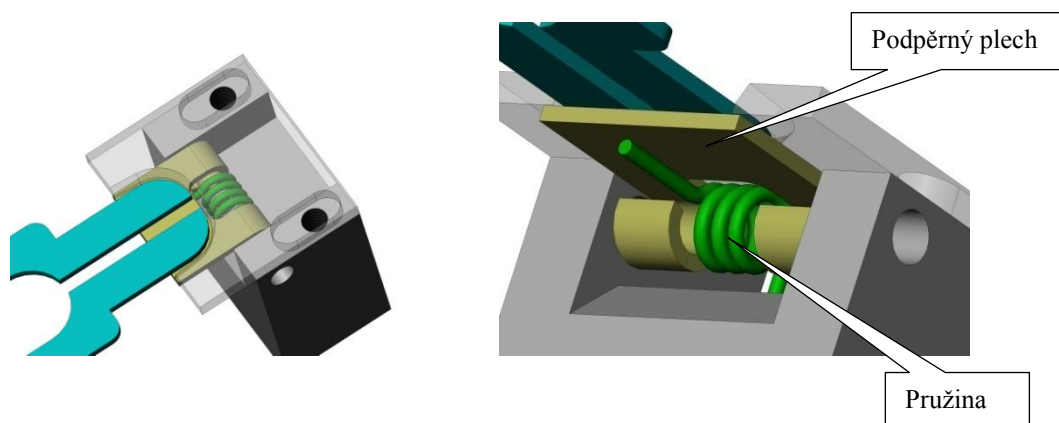
Obr. 51 Ohybnice – dvě varianty

Byla vybrána druhá varianta, protože zaručuje variabilní možnost doladit montáž (rozměr) přímo na daný polotovaru. Tato varianta docílí snadného seřízení při montáži pomocí drážek, které zajistí variabilitu možností upnutí. Drážky, které zajistí upřesnění pozice, jsou vyobrazeny na obr. 52. Materiál pro ohybnici byl zvolen 19 436 se zakalením na 60 HRC.



Obr. 52 Detail prvků k usazení polotovaru

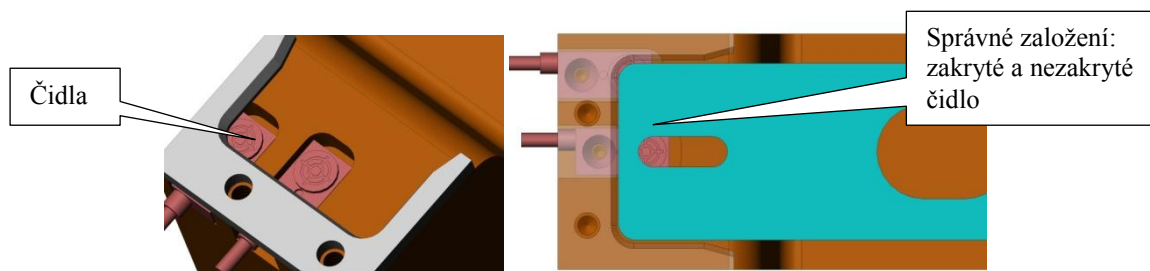
Při kontaktu polotovaru plechu s ohybnicí je patrná nedostatečná styčná plocha, která by mohla být problémem při zakládání na pozici. Mohou vznikat chyby založení, a to např. převrácení nebo nevdorovné polohy polotovaru. Z těchto důvodů byl navržen podpěrný plech na pravé straně ohybnice. Pro docilení odklopení podpěrného plechu byla navržena pružina. Pružina s podpěrným plechem je znázorněna na obr. 53.



Obr. 53 Detail na pružinu pro podporu polotovaru

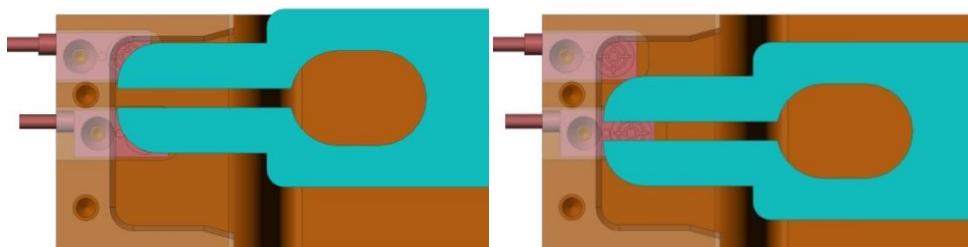


Pro správné zajištění polohy polotovaru před vlastním ohýbáním byla navržena kontrola pomocí dvou čidel. Obě čidla se ukládají do vyfrézovaných kapes, které jsou pod úrovní rozvinutého polotovaru vystřiženého plechu. Čidla jsou typu IQ4 – 6042019 a dodává je firma Sick. Čidla jsou indukční proximity, mají kompaktní rozměry a k ohybnici se spojují pomocí zápusťných šroubů, které zajistí pevnou pozici na ohybnici. Umístění čidel je znázorněno na obr. 54.



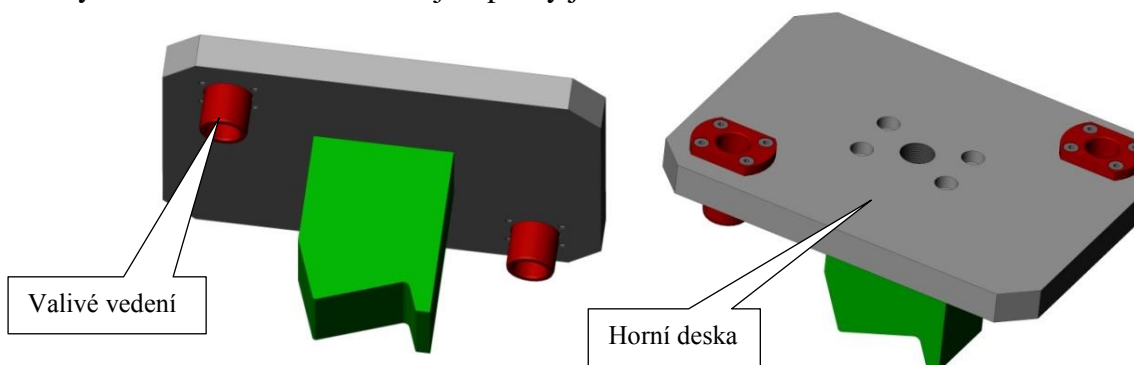
Obr. 54 Dvě čidla pro kontrolu správného založení polotovaru

Pro správné umístění čidel musí konstruktér předpovídat možné chyby založení polotovaru. Na obr. 55 jsou znázorněny varianty „špatného“ založení, které mají vliv na pozici polotovaru proti čidlům. Vzhledem k tomu, že nelze předejít všem možným variantám, je třeba upravit případná vylepšení již na hotovém stroji.



Obr. 55 Varianty špatného založení polotovaru

Horní část ohybového nástroje je složena z desky (materiál ocel 11 600), která se upíná k pneumatickému motoru, z ohybníku a z lineárního valivého vedení. Materiál ohybníku je 19 436 a se zakalením na 60 HRC. Lineární valivé vedení je typu SHTNZ16_40 od firmy Misumi. Horní část nástroje s prvky je znázorněna na obr. 56.

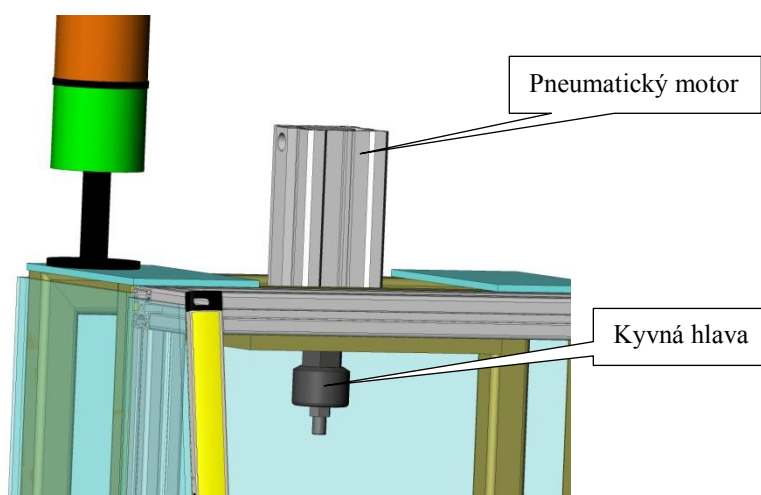


Obr. 56 Horní nástroj ohýbacího nástroje



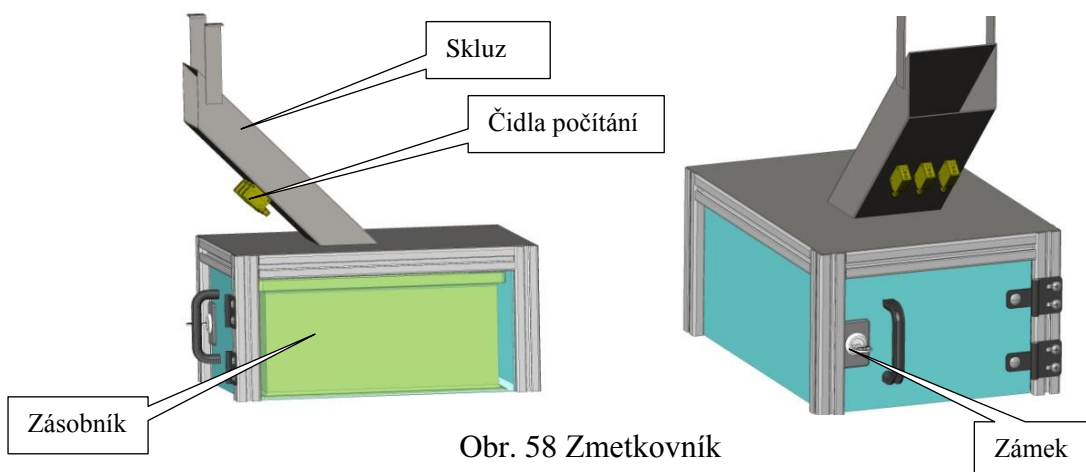
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pro pohyb ohybníku byl použit lineární pneumatický motor CDQ2B50-100DCM, který splňuje vypočtenou sílu pro ohyb z kapitoly 7.3.1 (příloha 8). Pro spojení lineárního pneu-motoru s deskou, která je spojena s ohybníkem, je použito kyvné hlavy typu JB63-10-150. Kyvná hlava vymezuje vůle, které vznikají při samotném provozu nebo již při samotné montáži popř. po nepřesnostech vyráběných dílů. Detail pneu-motoru a kyvné hlavy je uveden na obr. 57.



Obr. 57 Horní část zařízení – detail na kyvnou hlavu

V přední části stroje byl navržen kusovník nebo zmetkovník. Je tvořen skluzem pro snadnou dopravu dílů. Pro počet kusů je skluz vybaven 3 čidly typu WT100_P3430 od firmy Sick. Pro správnou kontrolu obsahuje zámek na dveřích, takže přístup má pouze pověřená osoba. Popis a vyobrazení je znázorněno na obr. 58.



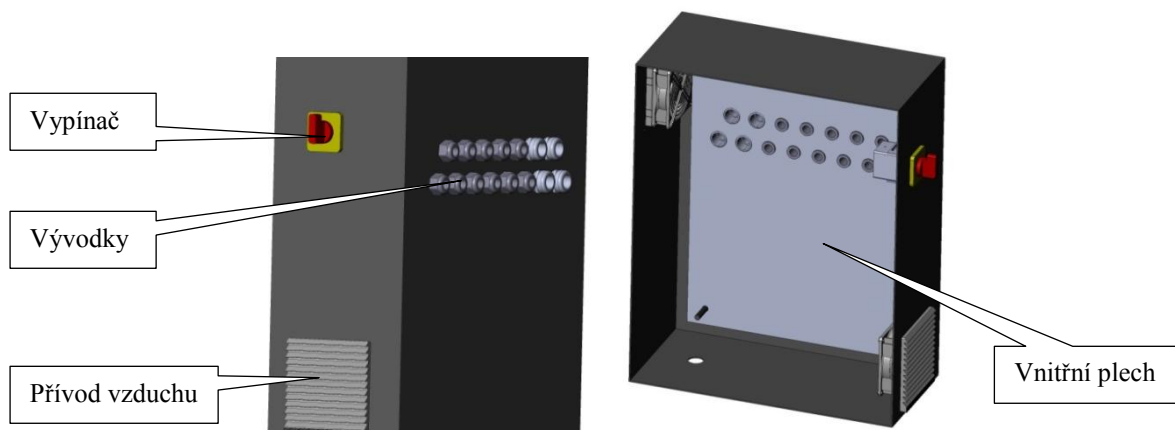
Obr. 58 Zmetkovník

V zadní části stroje je přístup k rozvaděči. Rozvaděč má standardní rozměry, takže konstruktér-elektrikář si navrhne parametry a po následné konzultaci s konstruktérem-mechanikem navrhnu rozvaděč k danému zařízení. Rozvaděč obsahuje vnitřní plech, na který se zavěšují DIN lišty, vývodky pro kabely, hlavní vypínač.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

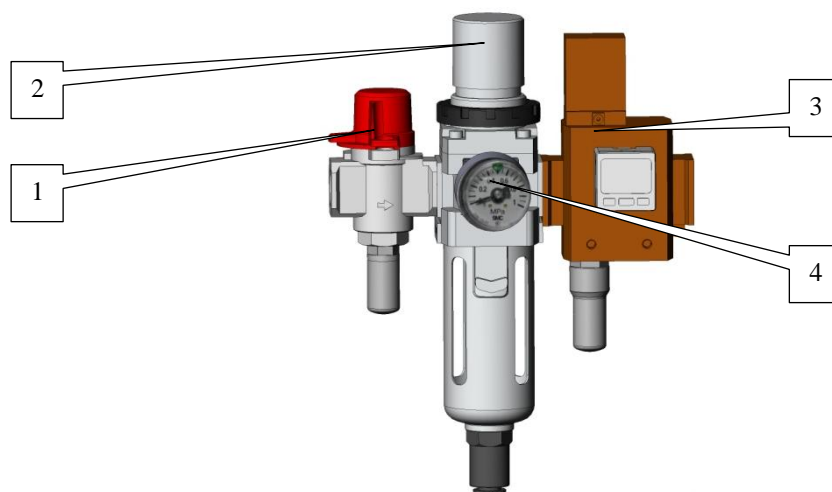
Pro přívod chlazení vzduchem rozvaděč obsahuje ventilátor. Rozvaděč, který dodává firma Rittal, je zobrazen na obr. 59.



Obr. 59 Rozvaděč – elektroinstalace

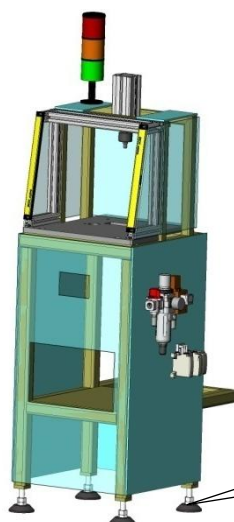
Úpravna tlakového vzduchu je umístěna na pravé straně stroje, poblíž hlavního elektrického rozvaděče. Odtud je vzduch rozveden k jednotlivým ventilům.

Uzavření přívodu tlakového vzduchu je prováděna na úpravně tlakového vzduchu ručním uzavíracím (uzamykatelným) ventilem **1**. Nastavení tlaku vzduchu je prováděno redukčním ventilem **2**. Elektricky se uzavře přívod vzduchu pomocí ventilu **3**. Ukazatel tlaku je kruhový manometr **4**. **Při opravě pneumatické soustavy musí obsluha uzavřít přívod tlakového vzduchu.** Úpravna vzduchu je znázorněna na obr. 60.

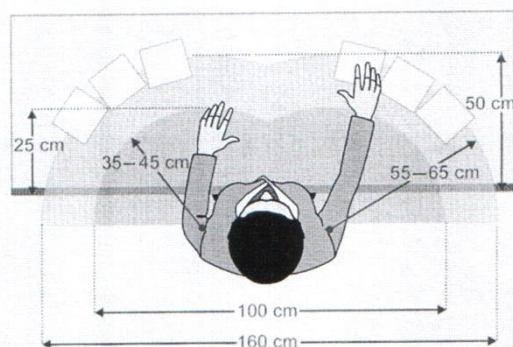


Obr. 60 Úpravna vzduchu

Rozměry stroje jsou navrženy k bezpečnosti konstrukce a k zónám pro dosah obsluhy. Výška pracovní desky (zakládání) a vzdálenost zakládání jsou zvoleny dle ČSN EN ISO 13 857 (obr. 62). Ze spod svařovaného rámu jsou navrženy stavěcí nohy typu ACP-D-100_M16x185, které jsou naklápěcí a obsahují otvory pro zakotvení. Dodavatel je Europlast CZ. Díky stavěcím nohám je umožněno měnit výšku pracovní výšky viz obr. 61.



Obr. 61 Ohýbací stroj - stavitelné nohy



Obr. 62 Vzdálenosti pro obsluhu dle normy [35]

8 Analýza rizik strojního zařízení

Dle předpisů Evropské unie musí být u každého strojního zařízení posouzeny jeho skutečné technické vlastnosti se všemi nebezpečnými prvky. Nejdůležitější je směrnice Evropského parlamentu 2006/42/ES ze dne 17. května 2006, o strojních zařízeních. Tato směrnice ovlivňuje tyto výrobky:

- strojní zařízení,
- vyměnitelná přídatná zařízení,
- bezpečnostní součásti,
- příslušenství,
- neúplná strojní zařízení. [32]

Nařízení obsahuje, jaká zajištění musí učinit výrobce, než strojní zařízení uvede do provozu:

- splnění základních požadavků bezpečnosti a ochranu zdraví,
- technickou dokumentaci k zařízení,
- návod k použití,
- označení CE,
- prohlášení o shodě. [32]

Směrnice 2006/42/ES obsahuje základní požadavky na bezpečnost daného strojního zařízení. Konstruktor již při návrhu konstrukce musí brát zřetel na bezpečnost strojního zařízení. Provádí se posouzení a následné snížení rizik. Stanovují se nebezpečné prostory, provádí se analýza významných nebezpečí, odhadují se rizika při poranění, omezují se nebezpečí a upozorňují uživatele o nebezpečí. [32]

Nebezpečné prostory jsou:

- pracovní prostor střížného nástroje,
- pracovní prostor ohýbacího nástroje.

Tabulka č. 9 obsahuje nebezpečné prostory s vyznačenou polohou a specifikovaným typem nebezpečí.

Tab. 9 Typy nebezpečí [32]

Název komponenty systému	Poloha komponenty systému	Typ nebezpečí
Střížný nástroj	Přední manipulační prostor	Mechanická - stříh
Pás plechu	Boční manipulační prostor	Mechanická - stlačení
Ohýbací nástroj	Přední manipulační prostor	Mechanická - stlačení
Pneumatický okruh - ohyb	Rozvod po celém stroji	Mechanické - šlehnutí
Pneumatický motor - ohyb	Horní část manipulačního prostoru	Mechanická - stlačení

Při analýze důležitých nebezpečí bylo využito norem ČSN EN ISO 12100-1:2004, ČSN EN ISO 12100-2:2004. V tabulce 10 je vypsán popis nebezpečných událostí pro střížný nástroj a také pro ohýbací nástroj. Tabulka 11 obsahuje formulář pro odhad a snížení rizik.

Tab. 10 Analýza významných nebezpečí [32]


ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Typ stroje: střížný a ohýbací nástroj
Poř. číslo	Fáze životního cyklu zařízení	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-1:2004, ČSN EN ISO 12100-2:2004		Popis nebezpečné události
		Stručný popis	Id. Č.	
1	Běžný provoz	Stříh pohybujícími se prvky	4.2.1	Hrozí stříh prstů střížným nástrojem.
2	Běžný provoz	Ohyb - pohybujícími se prvky	4.2.2	Hrozí stlačení prstů nebo rukou pneumatickým nástrojem.
3	Běžný provoz	Pořezání následkem pohybujících se částí	4.2.3	Hrozí pořezání prstů řezným nástrojem.
4	Seřizování	Úraz vedením stačeného vzduchu (šlehnutí)	4.2.4	Hrozí úraz při práci na pneumatickém rozvodu, které jsou pod tlakem.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tab. 11 Formulář pro odhad rizik [32]

VUT v Brně FSI	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA		stroj: střížný nástroj
	zpracoval: Jan Kvapil		datum: 20.4.2013
Číslo nebezpečí dle ČSN EN 1050:	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN 12100: Mechanická nebezpečí	
1	4.2.1	Nebezpečí stlačení	
Životní etapa stroje:	provoz	Nebezpečný prostor:	pracovní prostor
Ohrožené osoby:	obsluha stroje, seřizovač	provozní stav stroje:	stroj v provozu, údržba
Popis nebez. situace/události:	<i>Stlačení mezi pohyblivými a pevnými částmi stroje při pohybu v osách</i> <i>Hrozí nebezpečí stlačení pracovníka nebo části jeho těla</i>		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění s trvalými následky	Velikost rizika 10
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých okolností	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 1: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření (dle ČSN EN ISO 12100-1:2004)			
Popis opatření:	<i>Neexistuje opatření zabudované v konstrukci</i>		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění s trvalými následky	Velikost rizika 10
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých okolností	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření (ČSN EN ISO 12100-1:2004)			
Popis opatření:	Zařízení opatřeno obouřučným ovládním pro spuštění střížného nástroje		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké poškození	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 - zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - možné za jistých okolností	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná	Jan Kvapil	20.4.2013

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 63
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 Multikriteriální metoda hodnocení

Mezi cíle této práce patří vyhodnocení na základě ručního či strojního podávání pásu plechu. Protože nedošlo ke spolupráci se zákazníkem, nelze problematiku analyzovat, ale budou zhodnoceny varianty výroby rozvinutého polotovaru střížným nástrojem nebo nekonvenčním způsobem (dělení laserem). Záměrně je tato kapitola umístěna na konci práce, protože zákazník požadoval střížný nástroj a ohýbací stroj (vlastní lisy – využití vlastních kapacit). Toto hodnocení je navrženo navíc jako další možná alternativa k již navrženým nástrojům.

Při konstrukci strojů a nástrojů se konstruktérský tým musí rozhodnout, která z navržených variant je správná. Rozhodování ovlivňuje několik faktorů, a to cena, výrobní vybavenost, konstrukční kapacity, technologie výroby apod. K samotnému rozhodnutí lze dojít zkušeností nebo metodou multikriteriálního hodnocení. Zkušený konstruktér je schopný dle svých znalostí upřednostnit určitou variantu, ale pokud konstruktér nemá dostatečné zkušenosti, může si vypomoci metodou hodnocení. [36, 39]

Nejpoužívanější metody multikriteriálního hodnocení jsou:

- metoda pořadí,
- bazická metoda,
- metoda Pattern,
- vážená bodovací metoda.

Výsledkem hodnocení by mělo být posouzení každé z variant a posouzení jejich výhodnosti. U každého projektu se porovnávají dvě stránky, a to technická (značení τ) a ekonomická (značení ϵ). Technická a ekonomická stránka se posléze vynášejí do diagramu ($\epsilon=f(\tau)$). Pro tuto práci byla zvolena bodovací bazická metoda.

Pro technické hodnocení byly zvoleny tyto vlastnosti:

- složitost zařízení,
- kvalita plochy,
- přesnost,
- údržba.

Pro ekonomické hodnocení byly vybrány následující vlastnosti:

- pořizovací náklady,
- provozní náklady,
- servisní náklady.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technická hodnota τ

Faktory a vlastnosti označíme jako T_1, T_2, \dots, T_n , tj. $T(1, \dots, n)$

kde : n = maximální počet faktorů, parametrů, vlastností

n = obvykle (1-100)

Hodnotu každého faktoru vyjádříme pomocí třídničky t_1, t_2, \dots, t_j

se stanovenou (zvolenou) stupnicí, tj. : $t(1, \dots, j)$

kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti

t_j = maximální hodnota

kde slovní hodnocení:

$t_1 = 0$ = nevyhovující (min)

$t_2 = 1$ = velmi slabé

$t_3 = 2$ = vyhovující

$t_4 = 3$ = dobré

$t_5 = 4$ = velmi dobré

$t_6 = 5$ = výborné (tj. vzorové, ideální, 100%)

Procentuální vyjádření faktorů, parametrů, vlastností: $p_T = 100/t_j$ [%]

Význam jednotlivých faktorů, parametrů, vlastností pak rozlišíme koeficienty $g_n (\leq 1)$,

tedy : $0 < g_n \leq 1$

Technický stav hodnocené varianty dle a různých hledisek je pak:

$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_j \cdot t_j, \dots, g_n \cdot t_n)$

Konečná technická hodnota varianty je pak vyjádřena:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{\max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_j} \leq 1 \quad (25)$$

kde : g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, vlastností

t_j = hodnota i -tého faktoru, parametru, vlastnosti

n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

V procentuálním vyjádření: $\tau \leq 100$ %

Konečná technická hodnota činí: $\tau = 100$ %

Hodnocení dělení laserem:

Tab. 12 Technické hodnocení

č.	vlastnost	ozn.	t_j	g_n	p_T	t_n
1	složitost zařízení	T1	3	0,7	33,3	2,1
2	kvalita plochy	T2	2	0,9	50	1,8
3	přesnost	T3	5	0,9	20	4,5
4	údržba	T4	4	0,5	25	2

Výsledná technická hodnota: $\tau = 0,69$



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tab. 13 Ekonomické hodnocení

č.	vlastnost	ozn.	t_j	g_n	p_T	t_n
1	pořizovací náklady	T1	1	0,8	100	0,8
2	provozní náklady	T2	4	0,9	25	3,6
3	servisní náklady	T3	5	0,5	20	2,5

Výsledná ekonomická hodnota: $\varepsilon = 0,62$

Hodnocení dělení střížným nástrojem:

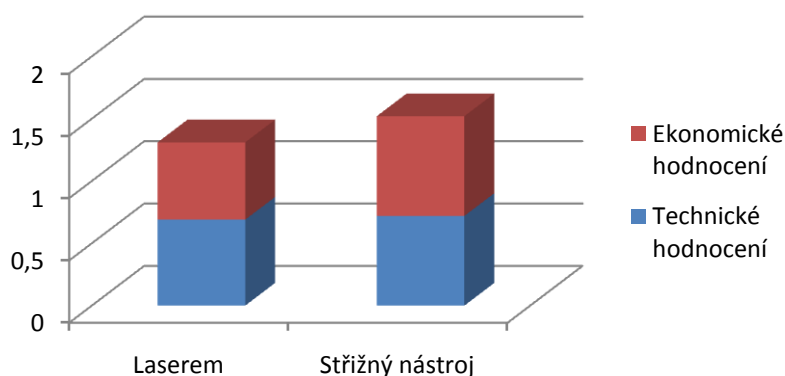
Tab. 14 Technické hodnocení

č.	vlastnost	ozn.	t_j	g_n	p_T	t_n
1	složitost zařízení	T1	2	0,9	50	1,8
2	kvalita plochy	T2	4	0,8	25	3,2
3	přesnost	T3	4	0,7	25	2,8
4	údržba	T4	1	0,5	100	0,5

Výsledná technická hodnota: $\tau = 0,72$

Tab. 15 Ekonomické hodnocení

č.	vlastnost	ozn.	t_j	g_n	p_T	t_n
1	pořizovací náklady	T1	2	0,8	50	1,6
2	provozní náklady	T2	3	0,9	33,3	2,7
3	servisní náklady	T3	2	0,5	50	1

Výsledná ekonomická hodnota: $\varepsilon = 0,80$ 

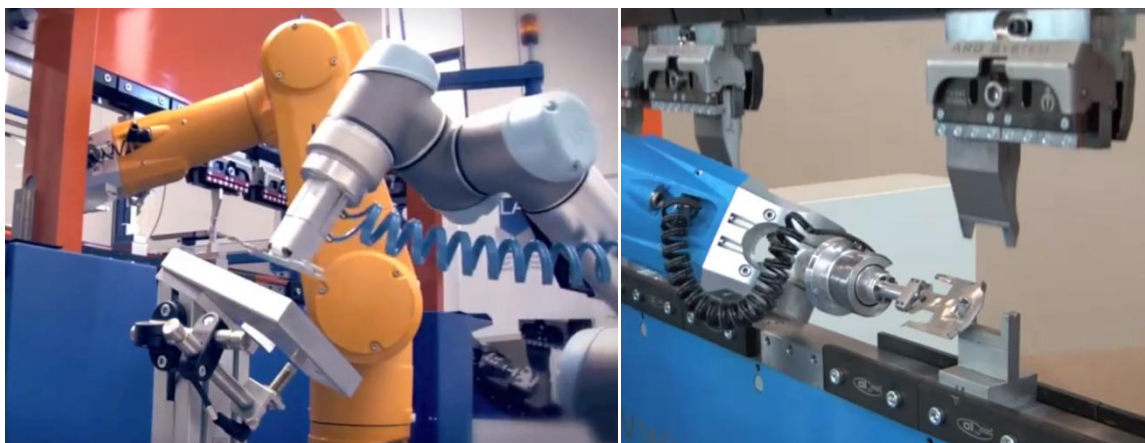
Obr. 63 Výsledek multikriteriálního hodnocení

Z grafu na obr. 63 vyplývá, že po technické stránce jsou technologie dělení podobné. Z ekonomické stránky vyplývá, že dělení laserem je výhodnější. Z tohoto závěru doporučuji zvážit zvolení technologie pro případnou realizaci výroby daného zařízení.

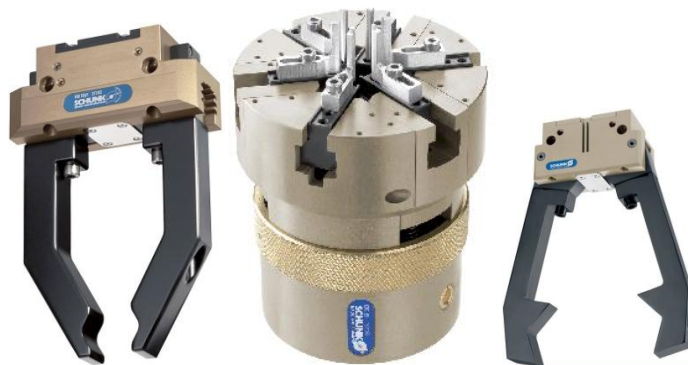


10 Trendy v návrzích strojů


Ve firmě Lux spol. s r. o. je možné se ve stále větším měřítku setkat s využitím robotů namísto manipulátorů. Dodavatelé robotů jsou firmy Mitsubishi a Staubli. U robotů se sleduje několik faktorů pro správný výběr k danému stroji. Mezi tyto faktory patří délkové rozměry ramen (mezi 5 osami), max. dosah, max. hmotnost zatížení robota pro min. snížení dynamiky pohybů robota. Firma Lux spol. s r. o. využila v loňském roce 15 robotů na různé využití (např. u rozsáhlých montážních linek). Cena robotů je vysoká, ale při porovnání proti návrhu, konstrukci a výrobě manipulátoru se cena vyrovnává. U robotů je nespornou výhodou jejich univerzálnost (naprogramování) oproti manipulátorům, které jsou navrženy na jeden daný výrobek. Na obrázku 64 jsou zobrazeny možnosti použití robotů (šedivý robot přesně zakládá na pozici polotovaru a žlutý robot zajišťuje manipulaci s polotovarem až k hotovému výrobku). Na čela robotů se montují uchopovací mechanismy k dosažení uchopení polotovaru/výrobku. Mezi uchopovací zařízení můžeme zařadit „gripper“ od firmy Schunk. Na obr. 65 je znázorněno několik příkladů „griperrů“. O jejich mechanismus se stará pneumatický pohon, který se vede skrz robota.



Obr. 64 Vizualizace použití robotů u ohýbané součástky



Obr. 65 Příklady „gripperů“ od firmy Schunk

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

11 Závěr

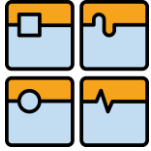
Cílem této práce bylo navrhnout střížný a ohýbací nástroj na výrobek. Specifikace výrobku je uvedena v příloze 1. Jedná se o držák do rezistorů. Z konstrukčního hlediska obsahuje výrobek dva otvory a dva ohyby. Materiálem je ocel dle ČSN 11 320. Vyrobít danou součást lze několika způsoby. V případě zpracování této diplomové práce se jedná o stříh na postupovém střížném nástroji a následný ohyb na jednoúčelovém ohýbacím stroji. Zakázka byla zadána firmě Lux spol. s r.o., která se zabývá výrobou jednoúčelových strojů.

V úvodu práce byl vytvořen rozbor zadání. Z technologického a konstrukčního hlediska bylo důležité znát např. vlastnosti materiálu výrobku. Ve firmě Lux spol. s r.o. bylo využito možnosti zpracovat a vymodelovat výrobek do elektronické podoby. Pro vymodelování do 3D bylo využito softwaru SolidWorks 2012. V teoretické části práce byla popsána teorie technologie tváření, druhy technologií tváření a tvářecích strojů. Dále zde byly shrnuty i různé varianty výroby, přičemž podrobněji byla popsána výroba pomocí střížného nástroje na lisu a jednoúčelového ohýbacího stroje. V práci byl vytvořen přehled konstrukcí jednotlivých nástrojů jak pro stříh, tak i pro ohyb.

V praktické části byl nejprve proveden výpočet, který je důležitý pro konstrukci střížného a ohýbacího nástroje. Parametry střížného nástroje a ohýbacího nástroje byly vypočteny dle normy ČSN 22 6015 a ČSN 22 7340, které vycházejí z interních materiálů společnosti Lux spol. s r.o. Následně byla provedena vizualizace a stručný popis jednotlivých dílů konstrukce. V popisu byl specifikován i materiál jednotlivých komponent obou nástrojů. U konstrukčního návrhu bylo využito dnes standardně používaného CAD softwaru například pro určení těžiště stopky střížného nástroje či vizualizaci založení polotovaru.

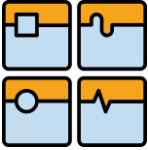
Na závěr byla provedena analýza bezpečnosti stroje a multikriteriální hodnocení variant dělení laserem a střížného nástroje. Multikriteriální hodnocení bylo provedeno až na konci práce, z důvodu již zadaných požadavků. Toto hodnocení může být doporučením pro případnou další možnost, jak postupovat v konstrukci nástrojů.

Výroba nástroje a stroje se neuskutečnila, proto jsou v práci znázorněny pouze rendery z 3D softwaru. Práce by mohla být rozšířena o schéma pneumatického zapojení jednoúčelového ohýbacího stroje, ale vzhledem k tomu, že se touto problematikou zabývá dodavatelská specializovaná firma, není zde schéma uvedeno. Naopak v práci byl záměrně uveden výkres rozvaděče, který dokládá nezbytnou komunikaci konstruktéra s technikem (v tomto případě s technikem – elektrikářem) z různých oblastí, kteří se podílejí na výrobě daného zařízení.



12 Seznam použitých zdrojů

1. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akademie tváření: automatizace a mechanizace v plošném tváření. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010, roč. 2010, č. 12. ISSN 1212-2572.
2. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akademie tváření: počítačová podpora v technologických procesech. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2011, roč. 2011, č. 6, s. 2. ISSN 1212-2572.
3. FOREJT, Milan, a Miroslav, PÍŠKA. *Teorie tváření a nástroje*. 2006. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
4. Střížné a lisovací nástroje. *OSTROJ: tradiční výrobce důlních zařízení a dalších strojírenských produktů* [online]. 2013 [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/strizne-a-lisovaci-nastroje>
5. Výrobní sortiment a jakostní ekvivalenty. *ArcelorMittal* [online]. 2008 [cit. 2013-01-11]. Dostupné z: http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/01_cz.pdf
6. ČSN ISO 690. *Ocel obvyklých jakostí k tažení a tváření za studena*. 2001. Praha: Dashofer, 2001.
7. FOŘT, Petr. Kde hledat informace o PLM?. *DesignTech* [online]. 2005 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/plm/kde-hledat-informace-o-plm.htm>
8. RUČKA, David. *Konstrukce lisovacího nástroje pro součást z plechu*. Brno, 2011. Diplomová práce. FSI VUT v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.
9. Ukázky naší práce: Návrh a konstrukce lisovacích nástrojů pro plošné tváření plechů. *Famtools: Konstrukční kancelář* [online]. 2011 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
10. Trumpf, Laser a Intech 2011, Část 2. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trumpf-laser-a-intech-2011-cast-2.html>
11. JINDROVÁ, Radka a Jaroslav ŘASA. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem.html>
12. KEREČANINOVÁ, Zuzana a Jaroslav ŘASA. Nekonenční metody obrábění – 5. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-5-dil.html>

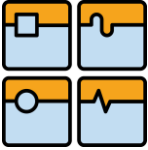
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

13. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření – stříhání. *Technologie II: tváření kovů* [online]. 2009 [cit. 2013-01-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
14. Sheet Metal Cutting. *Custompartnet* [online]. 2009 [cit. 2013-01-16]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>
15. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
16. ZÁTORSKÝ, Michal. *Střížný nástroj* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13523/z%C3%A1torsk%C3%BD_2010_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
17. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: stříhání. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010, roč. 2010, č. 6, s. 2. ISSN 1212-2572.
18. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akademie tváření: ohýbání. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010, roč. 2010, č. 7, 8, s. 2. ISSN 1212-2572.
19. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akademie tváření: odpružení v plošném tváření. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2011, roč. 2011, č. 5, s. 2. ISSN 1212-2572.
20. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2012, roč. 2012, č. 4, s. 2. ISSN 1212-2572.
21. ŘASA, Jaroslav, Václav HANĚK a Jindřich KAFKA. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*. 2003. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2003. ISBN 80-7183-284-7.
22. LENFELD, Petr. Technologie tváření kovů. *Technologie II: tváření kovů* [online]. 2009 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
23. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. *Ústav strojírenské technologie* [online]. 2002 [cit. 2011-04-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/download/vyrobni_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
24. KVAPIL, Jan. *Stroje využívané ve tváření*. Brno, 2011. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

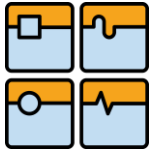


DIPLOMOVÁ PRÁCE

25. Šmeral LKO 315. *Prato, spol. s.r.o.* [online]. © 14. 5. 2011 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.prato.cz/cgi-bin/602cgi8/is-prato/web/nabs.htw?lang=0&mn=3&pmn=0&str=3>
26. Profesionální hydraulické lisy. *Manutan* [online]. © 2012 [cit. 2011-05-18]. Dostupné z: http://www.manutan.cz/professionalni-hydraulicke-lisy_M670081.html
27. Padací buchar mechanický pro obrábění kovů. *Allbiz* [online]. © 2010-2011 [cit. 2011-05-18]. Dostupné z: <http://www.all-biz.info/cs/buy/goods/?group=1032635>
28. FRANK, Augustin, a kolektiv. *Strojírenská technologie 4: Výrobní pomůcky*. Praha: Nakladatelství technické literatury, n.p., 1978. L13-C2-IV-85/25628.
29. JANOŠ, Miroslav a Ivan MRKVICA. Využití počítačové podpory při konstrukci přípravků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyuziti-pocitacove-podpory-pri-konstrukci-pripravku.html>
30. ČSN 22 6015. *STŘIHADLA A STŘIŽNÉ VŮLE: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Český Normalizační Institut, 1990.
31. ČSN 22 7340. *OHÝBADLA: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Český Normalizační Institut, 1977.
32. *MM Průmyslové spektrum: Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2009. ISSN 1212-2572
33. Pálení plechů laserem, CNC ohýbání, zámečnické práce. *Kingmax Hranice, s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: <http://kigmax.sluzby.cz/>
34. Laserové a plazmové řezání. *VŠB – Technická univerzita Ostrava* [online]. [cit. 2011-03-25]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
35. ČSN 13 857. *OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, PRACOVNÍ A OSOBNÍ OCHRANA, BEZPEČNOST STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ A ERGONOMIE* Praha: Český Normalizační Institut, 2008. Dostupné z: [http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/ochrana-zivotniho-prostredi-pracovni-a-osobni-ochrana-bezpecnost-strojnich-zarizeni-a-ergonomie-83/bezpecnostni-hlediska-u-stroju-8332/?do\[\]=setOffset&offset=0](http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/ochrana-zivotniho-prostredi-pracovni-a-osobni-ochrana-bezpecnost-strojnich-zarizeni-a-ergonomie-83/bezpecnostni-hlediska-u-stroju-8332/?do[]=setOffset&offset=0)
36. KNOFLÍČEK, Radek. *Mobilní robotické systémy*. Brno : ÚVSSR FSI VUT Brno, 1996.
37. Pneumatické válce. *TEVEKO s.r.o.* [online]. © 2008 - 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.teveko.cz/files/prodejna/valce.pdf>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 71
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

38. ČSN ISO 2768-2 (01 4406). *Všeobecná geometrické tolerance*. Praha: Český Normalizační Institut, 1994
39. ŠAJDLEROVÁ, Ivana. Organizace a řízení - cvičení I. [online]. 2003 [cit. 15-05-2013]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/skripta%20OaŘ_cv%20I.pdf
40. KVAPIL, Jan. SolidWorks. *CADKvapil: Computer aided design* [online]. 2010 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://cadkvapil.webnode.cz/>



13 Seznamy

13.1 Seznam použitých symbolů a zkratek

a	délka ramene od ohybu	[mm]
a,b	velikost můstku	[mm]
A	práce	[J]
A_{OV}	práce ohybu	[J]
b	šířka polotovaru	[mm]
b_o	šířka ohybu	[mm]
b_z	nejmenší vzdálenost otvoru od ohybu	[mm]
C	součinitel vůle	[-]
c	koeficient závislý na stupni stříhu	[-]
c_o	součinitel ohybu	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_{CO}	celková ohýbací síla	[N]
F_{CS}	celková střížná síla	[N]
F_{OV}	ohýbací síla	[N]
F_{OT}	ohýbací síla	[N]
F_S	střížná síla	[N]
F_T	třecí síla u ohybu	[N]
F_u	stírací síla	[N]
F_v	vytlačovací síla	[N]
g_1	význam jednotlivých faktorů, parametrů	[-]
g_j	koeficient významnosti hodnocených faktorů	[-]
h	zdvih	[mm]
h_o	hloubka vniknutí ostří	[mm]
JR	jmenovitý rozměr součásti	[mm]
k	konstanta střížné síly	[-]
k_{eu}	koeficient podle druhu materiálu	[-]
k_{ev}	koeficient podle druhu materiálu	[-]
k_1	koeficient průběhu ohybu	[-]
k_s	střížný odpor	[MPa]
K	krok	[mm]
K_o	součinitel odpružení	[-]
l	délka střížné hrany	[mm]
l_p	vzdálenost podpěr	[mm]
l_v	vzdálenost ohýbacích hran	[mm]
L	délka oblouku	[mm]
n	počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla	[-]




DIPLOMOVÁ PRÁCE

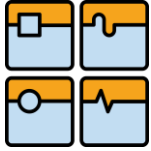
p_T	procentuální vyjádření faktorů	[-]
P	přípustná míra opotřebení	[-]
r	poloměr ohybu	[mm]
r_m	poloměr pevné části	[mm]
r_p	poloměr zaoblení	[mm]
R_a	jakost povrchu	[μm]
R_{AD}	rozměr střížníku při děrování	[mm]
R_{AV}	rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
Re	mez kluzu	[MPa]
R_{ED}	rozměr střížnice při děrování	[mm]
R_{EV}	rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
S_C	celková plocha spotřebovaného materiálu	[mm^2]
t	tloušťka materiálu	[m]
t_1	max. hodnota faktoru, parametru, vlastnosti	[-]
T_1	faktory	[-]
TA	výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	výrobní tolerance střížnice	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
$v_{1/2}$	střížná mezera	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální vrstvy	[-]
X	využití materiálu	[%]
X_H	využitelnost materiálu horizontální varianty	[%]
X_V	využitelnost materiálu vertikální varianty	[%]
α	úhel ohybu	[$^\circ$]
α_1	úhel otevření po odpružení	[$^\circ$]
α_2	úhel otevření před odpružení	[$^\circ$]
γ	úhel odpružení	[$^\circ$]
ε	ekonomické hodnocení	[-]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
τ	technická hodnota	[-]
τ_{PS}	mez pevnosti ve smyku	[MPa]
ΣS	součet obsahů ploch všech výstřížků	[mm^2]

13.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Vizualizace výrobků pomocí CAD, zpracováno autorem	15
Obr. 2 Zobrazení nástrojů	15
Obr. 3 Izometrické pohledy výrobku, zpracováno autorem	16
Obr. 4 Schéma monitorování výrobku pomocí informační technologie	17
Obr. 5 Klikový lis	19
Obr. 6 Hydraulický lis	19
Obr. 7 Buchar	19
Obr. 8 Postupový nástroj a dělení materiálu laserem	20
Obr. 9 Schéma laseru	21
Obr. 10 Detailní pohled na obrobky po dělení laserem	22
Obr. 11 Schéma stříhání materiálu	23
Obr. 12 Schéma střížného nástroje	24
Obr. 13 Schéma první fáze stříhu	25
Obr. 14 Schéma druhé fáze stříhu	25
Obr. 15 Schéma třetí fáze stříhu	26
Obr. 16 Velikost vůle na průběh trhliny	27
Obr. 17 Průběh střížné síly	28
Obr. 18 Dvě varianty stříhu: vlevo rovná, vpravo šikmá plocha střížníku	28
Obr. 19 Varianty na úpravu střížníku a střížnice	29
Obr. 20 Schéma přesného stříhání	29
Obr. 21 Přesné stříhání s přidržovačem a s nátlacnou hranou	30
Obr. 22 Stříhání pro kvalitní díru (vlevo), stříhání pro kvalitní obvod (vpravo)	30
Obr. 23 Pohyb střížníků a střížnic při reverzním stříhání	30
Obr. 24 Schematický popis stříhání se zápornou vůlí	31
Obr. 25 Schéma ohýbání	31
Obr. 26 Schéma stavebnicového systému	33
Obr. 27 Princip odpružení při ohýbání	34
Obr. 28 Odpružení – úhlová změna	34
Obr. 29 Rozvržení tvaru výstřížku – horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo)	38
Obr. 30 Praktické využití CAD technologie – plocha	38
Obr. 31 Nástříhový plán s kroky stříhu	39
Obr. 32 Zvýrazněné a sečtené délky střížných hran střížníků	40
Obr. 33 Diagram koeficientu c	41
Obr. 34 Střížník drážkový	42
Obr. 35 Boční střížník	43
Obr. 36 Střížník v kroku 2	43
Obr. 37 Střížník v kroku 3	44
Obr. 38 Pozice stopky – těžiště střížné hlavice	44
Obr. 39 Pohledy na střížný nástroj	45
Obr. 40 Jednotlivé díly střížné skříně – rozložený pohled	46
Obr. 41 Střížná hlavice – rozložený pohled	47
Obr. 42 Délky pro analýzu rozvinutého tvaru	48
Obr. 43 Parametr rozvinutého tvaru pomocí CAD softwaru	49
Obr. 44 Ohybnice s poloměrem zaoblení	51
Obr. 45 Diagram součinitele c	52

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 75
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obr. 46	Vzdálenost ohýbacích hran.....	52
Obr. 47	Vzdálenosti od ohybu (ramene a otvorů)	53
Obr. 48	Celkový pohled na jednoúčelový stroj	54
Obr. 49	Vizualizace podsestav – rozložená sestava	55
Obr. 50	Spodní část ohýbacího nástroje	55
Obr. 51	Ohybnice – dvě varianty	56
Obr. 52	Detail prvků k usazení polotovaru	56
Obr. 53	Detail na pružinu pro podporu polotovaru	56
Obr. 54	Dvě čidla pro kontrolu správného založení polotovaru	57
Obr. 55	Variety špatného založení polotovaru	57
Obr. 56	Horní nástroj ohýbacího nástroje.....	57
Obr. 57	Horní část zařízení – detail na kyvnou hlavu	58
Obr. 58	Zmetkovník.....	58
Obr. 59	Rozvaděč – elektroinstalace	59
Obr. 60	Úpravna vzduchu	59
Obr. 61	Ohýbací stroj - stavěcí nohy	60
Obr. 62	Vzdálenosti obsluhy dle normy	60
Obr. 63	Výsledek multikriteriálního hodnocení	65
Obr. 64	Vizualizace použití robotů u ohýbané součástky	66
Obr. 65	Příklady “gripperů” od firmy Schunk.....	66
13.3 Seznam tabulek		
Tab. 1	Převodní tabulka materiálu	16
Tab. 2	Vlastnosti daného materiálu	17
Tab. 3	Velikost střižné vŭle	26
Tab. 4	Velikost můstků a okrajů	37
Tab. 5	Koeficient dle druhu materiálu	40
Tab. 6	Součinitel x	48
Tab. 7	Minimální poloměr	49
Tab. 8	Součinitel K	50
Tab. 9	Typy nebezpečí.....	61
Tab. 10	Analýza významných nebezpečí	61
Tab. 11	Formulář pro odhad rizik	62
Tab. 12	Technické hodnocení	64
Tab. 13	Ekonomické hodnocení	65
Tab. 14	Technické hodnocení	65
Tab. 15	Ekonomické hodnocení	65



13.4 Seznam výkresů

1. VÝROBEK	DP_V_00
2. SESTAVA PRO OHYB	DP_O_00
3. DORAZ	DP_O_04
4. ZÁKLADOVÁ DESKA	DP_O_05
5. OHYBNICE	DP_O_06
6. OHYBNÍK	DP_O_08
7. ROZVADĚČ	DP_O_29
8. PLECH ROZVADĚČE	DP_O_30
9. STŘIŽNÝ NÁSTROJ	DP_S_00
10. STŘIŽNÁ SKŘÍŇ	DP_SS_00
11. STŘIŽNICE	DP_SS_02
12. STŘIŽNÁ HLAVICE	DP_SH_00
13. STŘIŽNÍK – VELKÝ	DP_SH_07

13.5 Seznam příloh

Příloha 1 Výkres součástky

Příloha 2 Převodní tabulka materiálů [5]

Příloha 3 Materiálový list [6]

Příloha 4 Nepředepsané geometrické tolerance [38]

Příloha 5 Výpočtové vztahy při děrování [30]

Příloha 6 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [30]

Příloha 7 Výpočtové vztahy při vystřihování [30]

Příloha 8 Výběr pneu – motoru [37]

Příloha 9 Poloměry ohybu [20]

Příloha 10 Nomogram odpružení [18]

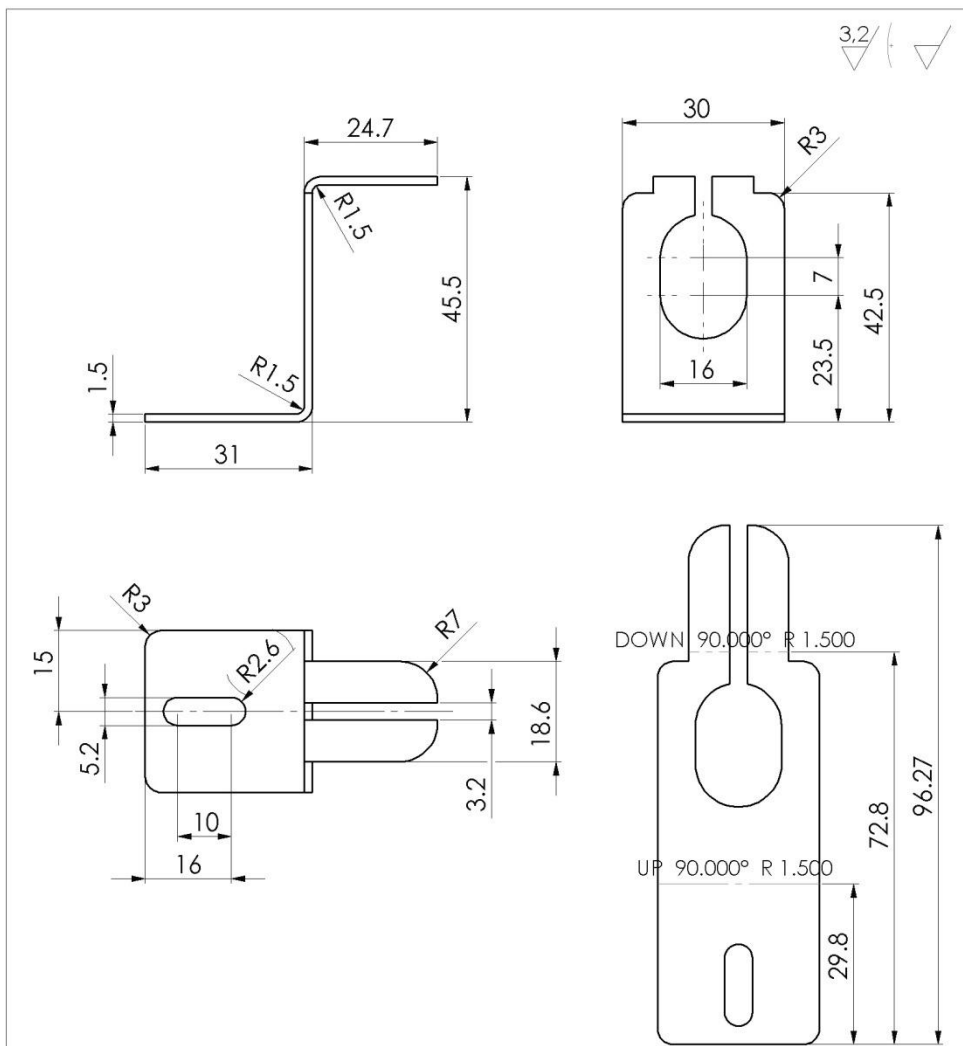
Příloha 11 Rendery



14 Přílohy

Příloha 1 Výkres součástky

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the written consent of the copyright owner.



SRAZIT HRANY 0,3x45°

Ks./Bit	Rozměr/Dim.	Norma/Norm	Material	Hmotn./Mass	Poz./Pos.
				0.008	-
Schvál/Certify		Přesnost/Accuracy	ISO 2768-mK		
Konstr./Design		Tolerování/Toleration	ISO 8015		
Kreslil/Draw		Datum/Date	18.5.2013		
	Promítání/Project				
	Měřítko/Scale	1:1	Index	Změna/Change	Datum/Date
Typ stroje/Type machine:		V. číslo stroje/ No.:		List/Sheet no: 1	Listu/Sheets: 1

VÝROBEK

DP_V_00

Tato technická dokumentace je duševní vlastnictvím firmy LUX s.r.o. a kopírování je možné pouze se souhlasem vlastníka.



Příloha 2 Převodní tabulka materiálů [5]

Výrobní sortiment a jakostní ekvivalenty

ČSN	EN	DIN	W.Nr.	BS	GOST	Charakteristické vlastnosti	Příklady užití
-----	----	-----	-------	----	------	-----------------------------	----------------

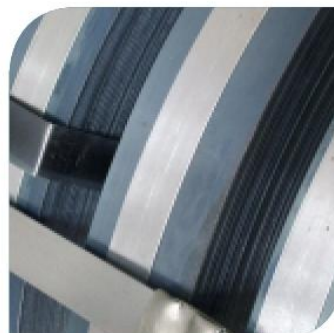
HLUBOKOTAŽNÉ OCELI

11300	DC 03 FeP03		1.0314		05 kp 08 kp	vhodná k hlubokému tažení, dobře svařitelná	hutní průmysl (profily, svařované trubky), automobilový průmysl (výlisky), strojírenství (ložiska, radiátory), spotřební průmysl (galanterie)
11301	DC 03 FeP03	St 3 St 13 USt 3 USt 13	1.0333	2; 3 CR 2; 3 CS 2; 3 HR 2; 3 HS	08 Ju		
11305	DC 04 FeP04	St 4 St 14	1.0338	1; 2 CR 1; 2 CS 1; 2 HR 1; 2 HS	08 Ju 08 JuA		
11320	DC 01 FeP01	St 2 St 12 St 22 StW 22	1.0320 1.0330 1.0332	4 CR 4 CS 4 HR 4 HS	15 kp		
11321	DC 01 DC 03 FeP01	St 2	1.0226	2; 3; 4 CR	08 Ju 15 kp		
		St 3 St 12 St 13 USt 3 USt 13	1.0330 1.0332 1.0333	2; 3; 4 CS 2; 3; 4 HR 2; 3; 4 HS			

KONSTRUKČNÍ OCELI

11343	S 235 JRG	St 34-2 USt 34-2 USt 37-2	1.0028	CEW 2 BK CEW 3 BK	16 D	vhodná na různé lisované a tažené svařované součásti, k vázání svazků	
			1.0032 1.0036 1.0121		18 kp BSt1kp BSt2kp		
11373	S 235 JR S 235 JRC S 235 JRG 1	St 37-2 USt 37-2	1.0036	37/23 HR EW 3 ERW 3	16 D	vhodná na různé součásti běžného použití	hutní průmysl (profily, svařované trubky), stavebnictví, strojírenství (součásti konstrukcí strojů, radiátory, ocelové vázací pásy a spojovací spony),
			1.0037 1.0120 1.0121		18 kp 35 BSt3kp		
11375	S 235 JRG 2	RSt 37-2	1.0038	37/23 HR 40 B 40 E	BSt1ps BSt1sp BSt2ps BSt2sp	jemnozrnná konstrukční ocel vhodná ke svařování a lisování	spotřební průmysl (zámky, kování, galanterie, kancelářské potřeby)
			1.0039 1.0122		16 D 18 ps 18 sp St3kp		
11378	S 235 J2 G3	St 37-3	1.0116	37/23 HR 40 C 40 D 40 E	16 D	jemnozrnná konstrukční ocel vhodná ke svařování	
			1.0118		18 ps 18 sp St3kp		
11523	S 355 J0	St 52-3	1.0421	50/35 HR 50 C 50 D CEW 5	16 G2	jemnozrnná konstrukční ocel vhodná ke svařování	
			1.0547		17 G1S		
			1.0553		17 GS		
			1.0554				

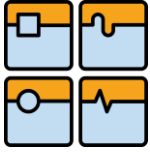
UKÁZKY VÝROBKŮ Z NAŠÍ PÁSOVÉ OCELI





Příloha 3 Materiálový list [6]

WNr. (číslo materiálu) 1.0330		Jakostní ocel		OCEL Kurznázev (značka) FeP01/DC01/St2/St12	
Chemické složení [hm. %] ¹⁾					
C	Mn	P	S		
max 0,12	max 0,60	max 0,045	max 0,045		
Normy DIN					
DIN EN 10130-91 – ploché výrobky válcované za studena z hlubokotažných ocelí k tváření za studena					
DIN EN 10152-93 – elektrolyticky pozinkované ploché výrobky z ocelí válcovaných za studena					
DIN 1624-87 – ploché výrobky z ocelí; pásy válcované za studena v šířkách do 650 mm z měkkých nelegovaných ocelí					
DIN 5512/2-97 – materiály pro kolejová vozidla; ploché výrobky o tloušťce pod 3 mm					
Mechanické vlastnosti ⁴⁾					
Rozměr t, d [mm]	–				
Stav	převálcovaný za studena				
Mez kluzu R_e nebo $R_p 0,2$ [MPa] max ^{2) 9)}	280 ⁵⁾				
Mez pevnosti R_m [MPa]	270–410				
Tažnost A_{80} [%] min ³⁾	28				
Kontrakce Z [%]	–				
Nárazová práce [J]	–				
Tvrdost HB	–				
Fyzikální vlastnosti					
Hustota ρ [kg · m ⁻³]	7 850				
Technologické údaje					
SVARITELNOST vhodná ke svařování běžnými postupy; při objednávání je vhodné uvádět postup svařování, při předpokládaném svařování plamenem je tento údaj nutný.					
Použití Pro tváření za studena, vhodná k nanášení povlaků žárovým pokovováním, elektrolyticky a k nanášení organických a jiných povlaků.					
Ostatní vlastnosti Způsob deoxidace - podle volby výrobce: Jakost povrchu A - vady, jako póry, malé rýhy, malé výstupky, drobná poškrábání a slabá zbarvení, jsou dovoleny, pokud neomezuji vhodnost ke tváření a přilnavost povrchových povlaků. B - lepší strana musí být pokud možno bez vad, aby nebyl zhoršen jednotný vzhled kvality lakování nebo elektrolyticky naneseného povlaku, druhá strana musí odpovídat minimálně požadavkům pro jakost povrchu A.					



Příloha 4 Nepředepsané geometrické tolerance [38]

Všeobecné geometrické tolerance ČSN ISO 2768-2 (01 4406)

Třída přesnosti označení	Tolerance přímosti a rovinnosti pro rozsah délek				Třída přesnosti	Tolerance kruhového házení
	do 10	přes 10 do 30	přes 30 do 100	přes 100 do 1 000		
H	0,02	0,05	0,1	0,2	H	0,5
K	0,05	0,1	0,2	0,4	K	0,2
L	0,1	0,2	0,4	0,8	L	0,5

Třída přesnosti označení	Tolerance kolmosti pro rozsah jmenovitých délek kratší strany			Třída přesnosti	Mezní úchytky úhlů pro rozsah kratšího ramene		
	do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1 000		do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1 000
H	0,2	0,3	0,4	0,5	H	0,6	0,8
K	0,4	0,6	0,8	1,0	K	0,6	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0	L	0,6	1,5

ISO 2768-mK

Všeobecné tolerance ČSN ISO 2678-1 (01 4240)

Třída přesnosti označení	název	Mezní úchytky délkových rozměrů, kromě zkosení hran					
		0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1 000
f	jemná	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3
m	střední	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8
c	hrubá	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2,0
v	velmi hrubá	-	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	± 4,0

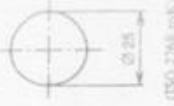
Třída přesnosti označení	název	Mezní úchytky úhlů pro rozsah kratšího ramene		
		do 10°	přes 10° do 50°	přes 50° do 120°
f	jemná	± 1°	± 0°30'	± 0°20'
m	střední	± 1°	± 0°30'	± 0°20'
c	hrubá	± 1°	± 0°30'	± 0°20'
v	velmi hrubá	± 3°	± 2°	± 1°

Třída přesnosti označení	název	Mezní úchytky zkosení a zaoblení hran		
		0,5 do 3,0	přes 3 do 6	přes 6
f	jemná	± 0,2	± 0,5	± 1,0
m	střední	± 0,4	± 1,0	± 2,0
c	hrubá	± 0,4	± 1,0	± 2,0
v	velmi hrubá	± 0,4	± 1,0	± 2,0

Všeobecné tolerance, které nejsou
tabulovány:

- Všeobecná tolerance kruhovitosti je rovna číselné hodnotě tolerance přímosti, ale nesmí být větší než příslušná hodnota kruhového házení v tabulce.
- Tolerance vlnovitosti je účinná tolerance přímosti povrchu a tolerance kruhovitosti.
- Všeobecná tolerance rovnoběžnosti je rovna číselné hodnotě tolerance rovnosti nebo tolerance přímosti, rovinnosti,ivosti nebo, která z nich je větší.
- Tolerance souososti může být v krajním případě tak velká jako hodnota kruhového obvodového házení uvedeného v tabulce, protože úchytky obvodového házení zahrnuje úchytku souososti a úchytku kruhovitosti.

→ třída přesnosti geometrických tolerancí (ISO 2768-2)
→ třída přesnosti tolerancí délkových a úhlových rozměrů (ISO 2768-1)



V tomto případě se všeobecné tolerance úhlových rozměrů, ve shodě s ISO 2768-1, neuplatní u pravých úhlů 90°, protože je stanovena všeobecná tolerance kolmosti.

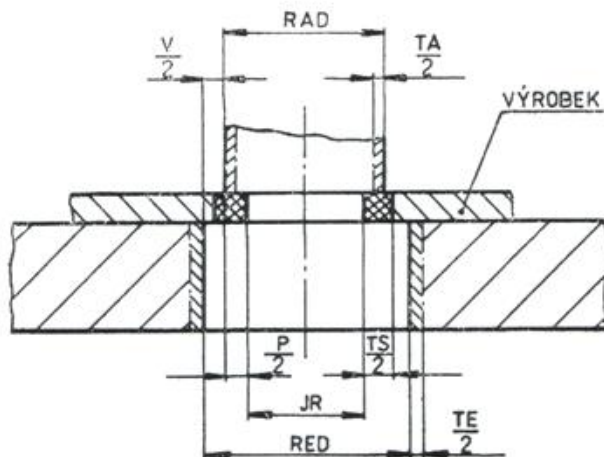
(ISO 2768-mK)



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha 5 Výpočtové vztahy při děrování [30]

CSN 22 6015



Obr. 7. Děrování

Tab. 8. Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice při děrování

Opo- tře- bení rozměry:	Orien- tace odchylek TS	Technologicky základní část			
		Střížník	*)	Střížnice	**)
Zvět- šuje { např.: D ₂ obr. 4)	+	$RAD = \{JR\} + TA$	$RED = \begin{matrix} RED \\ (RAD+V+TE) \\ -TE \end{matrix}$	$RED = \{JR - V + TE\} - TE$	$RAD = \begin{matrix} RAD \\ (RED+V+TA) \\ +TA \end{matrix}$
	-	$RAD = \{JR - P\} + TA$		$RED = \{JR - P - V + TE\} - TE$	
	±	$RAD = \{JR - \frac{P}{2}\} + TA$		$RED = \{JR - \frac{P}{2} - V + TE\} - TE$	
Zmen- šuje { např.: A ₂ , B ₂ , C ₂ , E ₂ , J, K obr. 4 a 5)	+	$RAD = \{JR + P\} - TA$	$RED = \begin{matrix} RED \\ (RAD+V+TE) \\ +TE \end{matrix}$	$RED = \{JR + P + V\} + TE$	$RAD = \begin{matrix} RAD \\ (RED+V+TA) \\ -TA \end{matrix}$
	-	$RAD = \{JR\} - TA$		$RED = \{JR + V\} + TE$	
	±	$RAD = \{JR + \frac{P}{2}\} - TA$		$RED = \{JR + \frac{P}{2} + V\} + TE$	
Nemění { např.: F ₂ H ₂ L obr. 4 a 5)	+	$RAD = \{JR + \frac{P}{2}\} \pm TA$	$RED = \begin{matrix} RED \\ (RAD) \pm TE \end{matrix}$	$RED = \{JR + \frac{P}{2}\} \pm TE$	$RAD = \begin{matrix} RAD \\ (RED) \\ \pm TA \end{matrix}$
	-	$RAD = \{JR - \frac{P}{2}\} \pm TA$		$RED = \{JR - \frac{P}{2}\} \pm TE$	
	±	$RAD = \{JR\} \pm TA$		$RED = \{JR\} \pm TE$	
*) Odvozené vzorce pro střížnici			Tlustě zarámované vzorce se používají nejčastěji		
**) Odvozené vzorce pro střížník					

Vysvětlivky:

RED — rozměr střížnice při děrování
 RAD — rozměr střížníku při děrování
 JR — jmenovitý rozměr součásti
 V — střížná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)

TS — tolerance jmenovitého rozměru
 P — přípustná míra opotřebení
 TE — výrobní tolerance střížnice
 TA — výrobní tolerance střížníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy)



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha 6 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [30]

Rozměry v mm

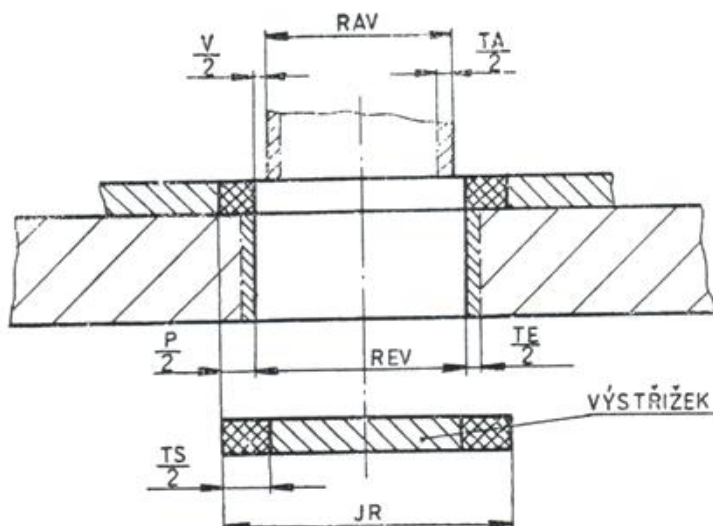
Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížnítku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha 7 Výpočtové vztahy při vystřihování [30]

ČSN 22 6015



Obr. 6. Vystřihování

Tab. 7. Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížnice při vystřihování

Opo- tře- hení rozměry:	Orien- tace odchylek TS	Technologicky základní část			
		Střížnice	*)	Střížník	**)
Zvětšuje (např.: A ₁ , B ₁ , C ₁ , E ₁ obr. 3)	+	$REV = (JR) + TE$	$RAV = (REV + V + TA) - TA$	$RAV = (JR - V + TA) - TA$	$REV = (RAV + V + TE) + TE$
	-	$REV = (JR - P) + TE$		$RAV = (JR - P - V + TA) - TA$	
	±	$REV = (JR - \frac{P}{2}) + TE$		$RAV = (JR - \frac{P}{2} - V + TA) - TA$	
Zmen- šuje (např.: D ₁ obr. 3)	+	$REV = (JR + P) - TE$	$RAV = (REV + V + TA) + TA$	$RAV = (JR + P + V) + TA$	$REV = (RAV - V + TE) - TE$
	-	$REV = (JR) - TE$		$RAV = (JR + V) + TA$	
	±	$REV = (JR + \frac{P}{2}) - TE$		$RAV = (JR + \frac{P}{2} + V) + TA$	
Nemění (např.: F ₁ , H ₁ obr. 3)	+	$REV = (JR + \frac{P}{2}) \pm TE$	$RAV = (REV) + TA$	$RAV = (JR + \frac{P}{2}) \pm TA$	$REV = (RAV) \pm TE$
	-	$REV = (JR - \frac{P}{2}) \pm TE$		$RAV = (JR - \frac{P}{2}) \pm TA$	
	±	$REV = (JR) \pm TE$		$RAV = (JR) \pm TA$	
*) Odvozené vzorce pro střížník			Tlustě zarámované vzorce se používají častěji		
**) Odvozené vzorce pro střížnici					

Vysvětlivky:

REV — rozměr střížnice při vystřihování
 RAV — rozměr střížníku při vystřihování
 JR — jmenovitý rozměr součásti
 V — střížná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)

TS — tolerance jmenovitého rozměru
 P — přípustná míra opotřebení
 TE — výrobní tolerance střížnice
 TA — výrobní tolerance střížníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy)



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha 8 Výběr pneu – motoru [37]

Tabulka pracovní tlak/ tlačná síla pro pneumatické válce										
Pracovní tlak (bar)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Průměr (mm)	Tlačná síla (N)									
6	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4	22,9	25,4
8	4,5	9	13,6	18,1	22,6	27,1	31,7	36,2	40,7	45,2
10	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5	56,5	63,6	70,7
12	10,2	20,4	30,5	40,7	50,9	61	71,3	81,4	91,6	101
16	18,1	36,2	54,3	72,4	90,5	109	127	145	163	181
20	28,3	56,5	84,8	113	141	170	198	226	254	283
25	44,2	88,4	133	177	221	265	309	353	398	442
32	72,3	145	217	290	362	434	507	579	651	724
40	113	226	339	452	565	679	792	905	1020	1130
50	177	353	530	707	884	1060	1240	1410	1590	1770
63	281	561	842	1120	1400	1680	1960	2240	2520	2810
80	452	905	1360	1810	2260	2710	3170	3620	4070	4520
100	707	1410	2120	2830	3530	4240	4950	5650	6360	7070
125	1100	2210	3310	4420	5520	6630	7730	8840	9940	11000
160	1810	3620	5430	7240	9050	10900	12700	14500	16300	18100
200	2830	5650	8480	11300	14100	17000	19800	22600	25400	28300
250	4420	8840	13300	17700	22100	26500	30900	35300	39800	44200

Příloha 9 Poloměry ohybu [20]

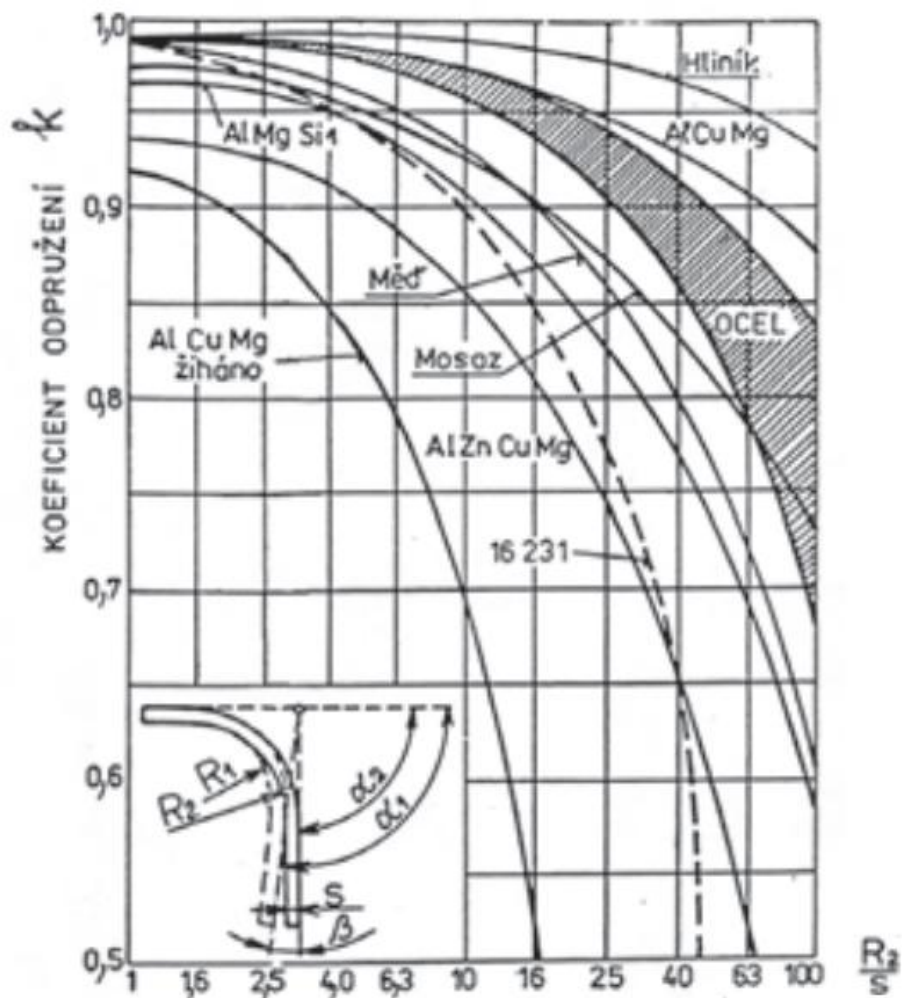
Tab. 1. Příklady minimálních hodnot poloměrů ohybu pro vybrané jakosti materiálů				
Materiál	Žíhaný		Zpevněný	
	Poloha os ohybu ke směru vláken			
	napříč	podél	napříč	podél
Hliník	0	0,2s	0,3s	0,8s
Měď			1,0s	2,0s
Mosaz			0,4s	0,8s
Ocel 12 011			0,2s	0,5s
Ocel 12 010	0	0,4s	0,4s	0,8s
Ocel 12 023	0,1s	0,5s	0,5s	1,0s
Ocel 12 024				
Ocel 12 030	0,2s	0,6s	0,6s	1,2s
Ocel 12 031				
Ocel 12 040	0,3s	0,8s	0,8s	1,5s
Ocel 12 041				
Ocel 12 050	0,5s	1,0s	1,0s	1,7s
Ocel 12 051				
Ocel 12 060	0,7s	1,3s	1,3s	2,0s
Ocel 12 061				
Duralium měkký	1,0s	1,5s	1,5s	2,5s
Duralium tvrdý	2,0s	3,0s	3,0s	4,0s

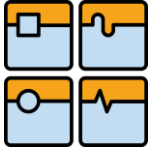
s = tloušťka materiálu



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha 10 Nomogram odpružení [18]





DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha 11 Rendery

