



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOTVÍCÍ PATKY

PRODUCTION OF ANCHOR FOOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR JANDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Janda

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba kotvící patky

v anglickém jazyce:

Production of anchor foot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kotvící patky se používají k upevňování dřevěných konstrukcí k podloží. Jedná se o prvky jejichž základní část tvoří ohýbaný ocelový plech, k němuž je přivařován, nebo přišroubován čep pro zabudování do podloží. Dolní část trámu, upevněná v patce jednoduchého tvaru U, je však v přímém styku s podložím, což limituje životnost celé konstrukce. Účelem práce je provést návrh tvaru patky, v které upevněný trám nebude v přímém styku s podložím a zpracovat kompletní postup její výroby.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat popis stávající konstrukce kotevních prvků a návrh tvaru kotevní patky zabraňující přímému styku trámu upevněnému v patce s podložím. Návrh konstrukce bude proveden pro patku s otvorem pro upevňovací čep. Bude zpracovaná literární rešerše zaměřená na technologie plošného tváření a na jejím podkladě bude navržen postup výroby nové kotvící patky doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude výkresová dokumentace potřebných tvářecích nástrojů, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 13.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

JANDA Petr: Výroba kotvící patky

Předložená bakalářská práce se zabývá návrhem kotevní patky určené k upevnění dřevěných trámů způsobem, který zabraňuje přímému styku trámu s podložím. Je vyráběna z ohnutého plechu konstrukční oceli 1.0038 tloušťky 4 mm ve výrobní sérii 80 000ks/rok. Z jednotlivých variant výroby bylo vybráno stříhání a ohýbání v postupovém nástroji. Na základě technologických, konstrukčních a kontrolních výpočtů byly zkonstruovány nástroje, pro které byla zpracována technická dokumentace. Jako polotovar byla zvolena tabule plechu o rozměrech 4 x 1500 x 3000mm s využitím 94%. Z celkové střížné síly, která vyšla řádově větší než síla ohýbací, byl pro oba nástroje zvolen stejný lis CDCS 2500 P81, který vyrábí firma Dirinler. Ekonomickým zhodnocením byly určeny náklady na výrobu jedné kotevní patky 102,3Kč zahrnující 30 % zisk společnosti. Dle vypočteného bodu zvratu se stane výroba ziskovou po vyrobení 12 106ks.

Klíčová slova: Ocel 1.0038, stříhání, ohýbání, plošné tváření, kotevní prvek

ABSTRACT

JANDA Petr: Production of anchor foot

The present bachelor thesis deals with a design of anchor foot used for fixing wooden beams in the manner that, prevents a direct contact of the beam and the subsoil. It is made of bent metal sheet of 4 mm thick steel 1.0038 in the production run of 80 000pcs/year. A combination of shearing and bending at a follow tool was selected from among various options as the most appropriate. On the basis of technological, structural and control calculations, tool were designed and the technical documentation was elaborated. A blank sheet of metal with dimensions of 4 x 1500 x 3000mm (using 94%) was chosen as a semi-finished product. On the basis of the total shearing force, which was greater than the bending force, the same press CDCS 2500 P81 made by the company Dirinler was selected for both tools. Using the economic evaluation, production costs per one anchor foot were calculated in the amount of 102,3CZK, including 30% profit of the company. According to the calculated turning point, the production becomes profitable after manufacture of 12106pcs.

Key words: 1.0038 steel, shearing, bending, sheet metal forming, wall clamp

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANDA Petr. *Výroba kotvící patky*. Brno, 2015. 51s, 9 výkresů, 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma Výroba kotvící patky jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky, odbornou pomoc, rady a čas, který věnoval této bakalářské práci. Dále děkuji rodině a přítelkyni za udělenou podporu během celého studia.

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	9
1 NÁVRH ŘEŠENÍ A TECHNOLOGIE VÝROBY	10
1.1 Varianty výroby	12
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	16
2.1 Stříhání.....	16
2.1.1 Průběh stříhání a střížná plocha	16
2.1.2 Střížná mezera a střížná vůle	18
2.1.3 Střížná síla a střížná práce	19
2.1.4 Nástřihový plán a využití materiálu.....	21
2.1.5 Technologičnost výstřížků.....	22
2.1.6 Střížné nástroje a jejich části	23
2.2 Ohýbání.....	27
2.2.1 Průběh ohýbání, základní operace a neutrální vrstva ohybu	27
2.2.2 Odpružení, jeho eliminace a vůle při ohýbání	29
2.2.3 Ohybová síla a práce.....	30
2.2.4 Minimální, maximální poloměr ohybu a technologičnost výlisků	31
2.2.5 Ohýbací nástroje	32
3 VÝROBA SOUČÁSTI.....	33
3.1 Stanovení rozvinutého tvaru patky	34
3.2 Vystřihování rozvinutého tvaru	34
3.2.1 Určení rozměrů optimálního polotovaru.....	34
3.2.2. Nástřihový plán.....	36
3.2.3 Výpočty.....	37
3.2.3 Nástroj a volba lisu	41
3.3 Ohýbání.....	43
3.3.1 Postup ohýbání.....	43
3.3.2 Výpočty.....	44
3.3.3 Nástroj a volba lisu	45
3.4 Povrchová úprava	46
4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	48
4 ZÁVĚRY	51

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků a tabulek

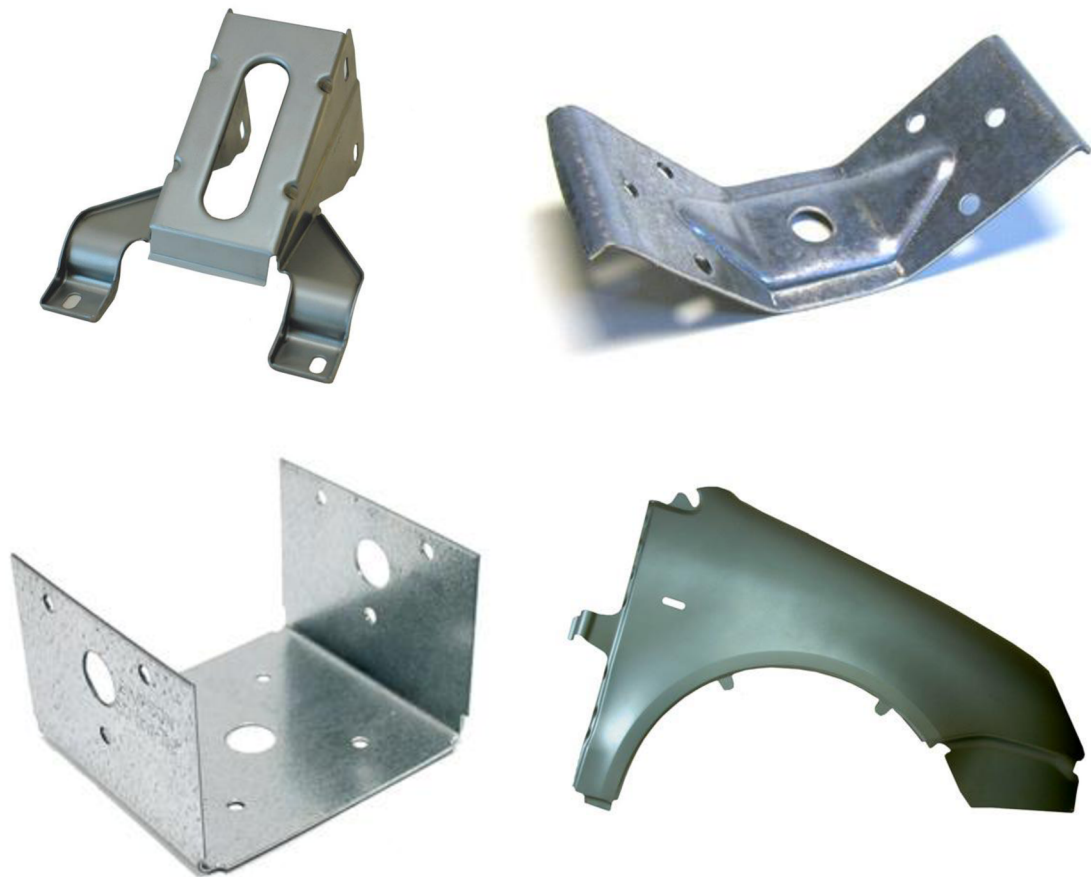
Seznam výkresů a příloh

ÚVOD [16], [17], [19], [31]

Současné trendy strojírenských součástí kladou stále větší nároky na úsporu materiálu a energií, které vedou ke snížení celkových nákladů na výrobu součástí. Tvářecí technologie, které rozdělujeme na plošné a objemové, jsou jednou z možností, jak součást vyrobit do požadovaného tvaru s úsporou materiálu a energií při vysoké produktivitě práce. Ve většině případů jsou zlepšeny mechanicko-fyzikální vlastnosti polotovaru. Tváření často nahrazuje obrábění, a to z důvodu vysoké úspory materiálu, která může být až 80 %, při zachování stejné užitné hodnoty součásti. Nahrazením plošně tvářenou součástí odlitku nebo svařence jsme schopni uspořit 10 až 50% materiálu. U objemového tváření jsou úspory materiálu ještě větší.

Plošné tváření, u kterého je ve většině případů jako polotovar použit plech, je proces, při kterém se tloušťka polotovaru výrazně nemění. Mezi nejrozšířenější technologie plošného tváření řadíme stříhání, ohýbání, rovnání a hluboké tažení. Při výrobě součástí objemovým tvářením je součást převážena všemi směry ve 3D prostoru.

Mimo technologie stříhání nedochází při tváření k porušení soudržnosti materiálu. Proces tváření je vyvozen vnější silou, která je přenesena na tvářecí nástroj a způsobuje plastickou deformaci materiálu. Na obr. 1. jsou zobrazeny příklady součástí, které byly zhotoveny technologiemi plošného tváření.



Obr. 1 Příklady plošně tvářených výrobků [16], [17], [31]

1 NÁVRH ŘEŠENÍ A TECHNOLOGIE VÝROBY

V současné době se stále více rozšiřuje trend dřevěných konstrukcí. Pro upevnění dřevěných trámů, činicí základní prvek konstrukce, se používají kotvící patky. Tyto patky mají za úkol upevnění trámu na podloží způsobem, který zajistí dokonalou izolaci trámu a tím zvýší životnost celé konstrukce. Z konstrukčního hlediska jsou tyto patky jednoduchých tvarů však nejčastěji tvaru U, ke kterým je přivařen či přišroubován čep, který je pevně spojen s podložím. Úkolem této práce je navrhnout nový tvar kotevní patky, u které bude trám dokonale izolován s podložím.

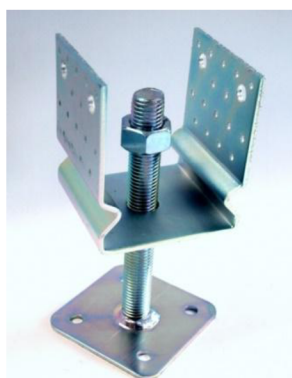
- Současné varianty kotvících patek [O1], [T1]

Ve výrobě kotvících patek již existuje mnoho použitých variant řešení. Zde je přehled těch nejpoužívanějších.

- Patky s pevným kotvicím prvkem - nejčastěji se jedná o jednoduché tvary patek U a L, na kterých jsou navařeny kotvicí členy v podobě kulatiny či trubky, jak je vidět na obr. 2.

Nevýhodou těchto konstrukčních řešení je nemožnost nastavení výšky.

- Patky výškově stavitelné



Obr. 3 Kotvící patka tvaru U s prolisem stavitelná [23]

- Kotevní hroty zatluovací a zemní vruty

Tento způsob kotvení, který je vyobrazen na obr. 3 a 4, je používán zejména tam, kde okolní podmínky nevyžadují vysokou tuhost kotvené konstrukce.

Výhodou tohoto kotvení je snadná montáž a úspora materiálu oproti betonovanému základu.



Obr. 4 Kotevní hrot [23]



Obr. 2 Kotvící patka tvaru U [29]

Patka je kotvena s podložím pomocí závitové tyče, na které může být navařen plech pro přišroubování k základové desce, jak je možno vidět na obr. 3.

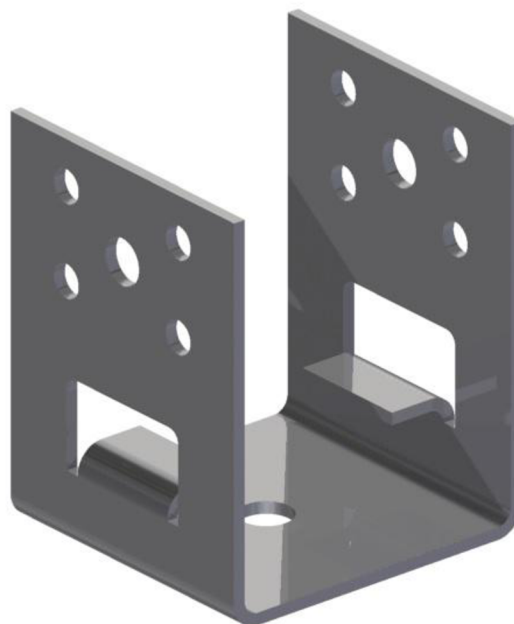
Výhodou tohoto řešení je, že díky šroubovici a matek se může dorovnat nerovnost (spád) základové desky.



Obr. 5 Zemní vrut [23]

➤ Návrh kotevní patky [5], [24]

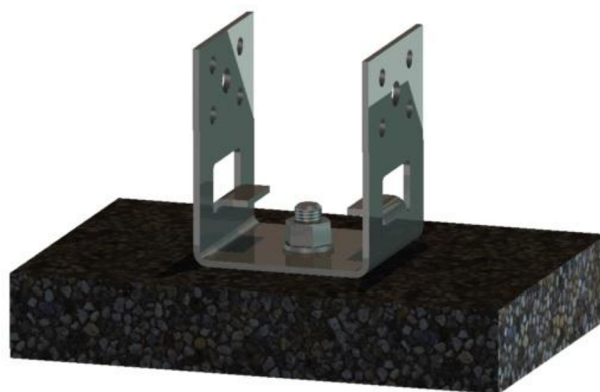
Na obr. 6 je navržena patka tvaru U pro dřevěný trám rozměrů 100x100mm, tloušťky plechu 4mm. Kotvení s podložím je řešeno pomocí upevňovacího čepu v podobě závitové tyče M16, která je pevně ukotvena v podloží, zároveň je tato patka vhodná pro přímé kotvení se základovou deskou, aniž by byl trám v přímém styku s podložím (obr. 8). V patce jsou zhotoveny dva prvky, které zajišťují správné výškové uložení trámu v patce, jsou zde zhotoveny proto, aby uvnitř patky byl dostatek místa pro pojistnou matici, a zároveň se nebude držet vlhkost mezi trámem a patkou a tím je výrazně zvýšena životnost konstrukce. Zajištění trámu v patce je zaručeno pomocí čtyř děr Ø11mm, pro závitovou tyč M10 a jedna díra Ø15mm, pro závitovou tyč M14. Jako ochrana před korozními vlivy je povrch součásti žárově zinkován. Kotevní patka po montáži je vyobrazena na obr. 7.



Obr. 6 Navržený tvar kotevní patky



Obr. 7 Kotvení stavitelné



Obr. 8 Kotvení přímé

Při výběru materiálu musíme brát ohled na to, že navržená součást bude namáhána především staticky. Proto budeme v prvé řadě hledět na cenu materiálu a to z důvodu konkurenčního zastoupení firem na trhu. Dále nás bude zajímat tvářitelnost materiálu a jeho mechanické vlastnosti.

Pro zvolenou součást je navržen materiál 1.0038 (S235JRG2), což je konstrukční ocel vhodná pro tváření za studena o mechanických vlastnostech a chemických složení uvedených v tab. 1. Může být použita pro statické i dynamické namáhání, často je využívána pro svařované, nýtované a šroubované konstrukce s částmi tvářenými za studena. Tato ocel je svými chemickými i mechanickými vlastnostmi shodná s označením materiálu dle ČSN 11375.

Tab. 1 Chemické složení a základní mechanické vlastnosti oceli 1.0038 [5], [24]

Materiál 1.0038 tloušťky 4 mm					
Chemické složení	max. C [h.%]	max. Mn [h.%]	max. P [h.%]	max. S [h.%]	max. N [h.%]
	0,17	1,40	0,045	0,045	0,009
Mechanické vlastnosti	min. mez kluzu Re [MPa]		mez pevnosti Rm [MPa]		tažnost A [%]
	235		340–470		24

1.1 Varianty výroby

➤ Vrtání a svařování [18], [26]

Patka by byla zhotovena svařením tří plechů s předvrtanými otvory do tvaru písmene U.

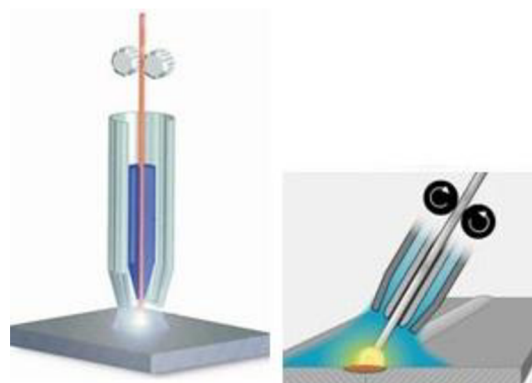
Svařování je proces, při kterém vznikne nerozebíratelný spoj. Dělíme ho na tavné a tlakové. Při výrobě navrhované součásti by bylo vhodné použít některou z metod tavného svařování a to buď svařování ruční obalenou elektrodou (ROE), nebo dnes používanější metodou svařování v ochranné atmosféře, které je schematicky znázorněno na obr. 9 (MIG, MAG, MIG/MAG). Při tavném svařování dochází k roztavení stykových ploch spojovaných součástí, ale i spojovacího materiálu, po ochlazení vznikne pevný spoj.

Výhody:

- svařovací zařízení pro všestranné použití

Nevýhody:

- vznik tepelně ovlivněné oblasti
- nutná úprava svarových ploch před svařováním
- rozdělení kotvící patky na několik menších součástí
- kvalifikace výrobních dělníků
- časová náročnost



Obr. 9 Svařování v ochranné atmosféře [26]

➤ Řezání vodním paprskem a ohýbání [20], [25], [30]

Speciálním vysokotlakým čerpadlem je vytvořen tlak vody v rozmezí 2000 – 6200 Bar, který je vtačován do řezací hlavy a pomocí trysky je vytvořen řezný paprsek (obr. 10). Při řezání měkkých materiálů je použit čistý vodní paprsek, pro tvrdší materiály se ve směšovací komoře do proudu vody přimísí abrazivní materiál (olivín, přírodní granát). Řízení řezu probíhá na CNC řízených stolech.



Výhody:

- řez bez tepelně ovlivněné oblasti
- možnost tvarově náročných řezů
- šetrnost k životnímu prostředí
- úzká řezná spára
- řezná hrana obvykle nevyžaduje další opracování

Nevýhody:

- kontakt součásti s vodním prostředím

Obr. 10 Vodní paprsek [30]

➤ Řezání laserem a ohýbání [10], [18], [21]

Princip laseru je založen na stimulovaném záření. Laserový svazek fotonů jej při dopadu na materiál ohřeje na teplotu varu a tím dochází k řezu, zároveň je do místa řezu přiváděn pracovní plyn, který odvádí páry kovů a taveniny. Podle pracovního plynu dělíme řezání laserem na tavné a oxidační. Díky vysoké koncentraci energie lze touto technologií dělit všechny technické materiály. Ve strojírenství, v oblasti výkonových laserů tvoří řezání laserem největší zastoupení. Řezání laserem lze vidět na obr. 11.

Výhody:

- vysoká přesnost
- kvalita řezných ploch ($R_a 1,6$)
- úzká řezná spára

Nevýhody:

- investiční a provozní náklady



Obr. 11 Řezání laserem [10]

➤ Přesné stříhání a ohýbání [2], [21]

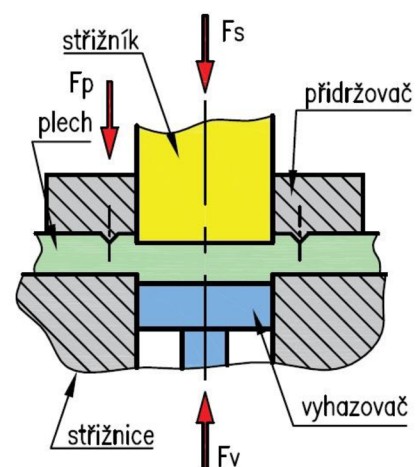
Přesné stříhání, které je na obr. 12, se od běžného liší v použití přidržovače s tlačnou hranou a sevřením stříhaného materiálu mezi střížníkem a vyhazovačem. Tlačná hrana je vtlačena do stříhaného materiálu ještě před vlastním stříhem. Materiál je tedy pevně sevřen mezi přidržovačem a střížnicí a nemůže se během stříhu pohnout. Technologie přesného stříhání se řadí mezi nejdokonalejší technologie stříhání, jelikož jsme schopni dosáhnout vysoce kvalitní střížné plochy a přesných rozměrů.

Výhody:

- technologie vhodná pro velkosériovou výrobu
- kvalitní střížná plocha
- přesné rozměry ($IT 7 \div 9$)

Nevýhody:

- pořizovací cena nástroje v porovnání s běžným stříháním v postupovém nástroji



Obr. 12 Přesné vystřihování [21]

➤ Stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji [11]

Pro sjednocení dvou technologií výroby, konvenčního stříhání a ohýbání, je možné použít sdružený postupový nástroj, ve kterém by proběhla tvarová a rozměrová část výroby kotevní patky. Příklad takového nástroje od firmy FaMTools je na obr. 13. Podmínkou tohoto sdružení je výrobek s požadavkem vysoké sériovosti výroby.



Výhody:

- produktivita výroby
- dostatečná přesnost
- méně manipulačních úkonů

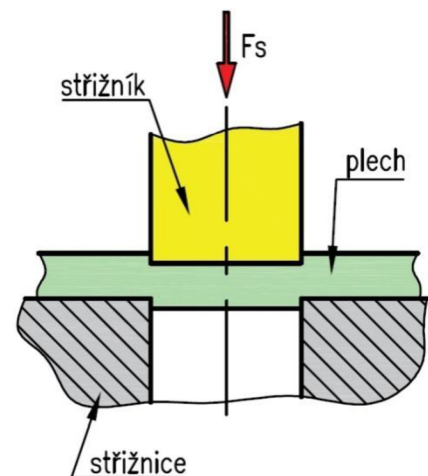
Nevýhody:

- pořizovací cena nástroje

Obr. 13 Postupový nástroj firmy FaMTools [11]

➤ Stříhání v postupovém nástroji a ohýbání [2], [13], [21]

Stříhání je beztržková technologie dělení materiálu, při kterém je stříhaný materiál postupně nebo současně oddělován podél křivky stříhu, která může mít uzavřený nebo otevřený tvar. Tento tvar se řídí budoucím tvarem výstřížku. Porušení soudržnosti materiálu, kdy podmínkou je překročení meze pevnosti materiálu, je zajištěno protilehlými břity vytvořenými v tomto případě na střížníku a střížnici. Běžné stříhání je schematicky znázorněno na obr. 14.



Výhody:

- pořizovací náklady ve srovnání s laserem a vodním paprskem
- produktivita
- stříhaný materiál není nijak teplotně namáhán
- dostatečná přesnost (IT 12÷14)

Nevýhody:

- zkosení a zpevnění střížných ploch

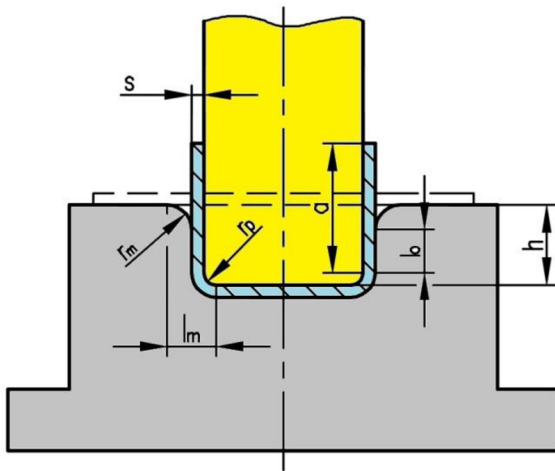
Obr. 14 Běžné stříhání [21]

Ohýbání [2], [13]

Mimo uvažovanou technologii výroby patky svařováním je u všech ostatních variant výroby jako druhá operace považováno ohýbání.

Ohýbání je velmi používaná technologická operace, při které dochází k trvalé deformaci tvářeného materiálu. Působením ohybového momentu vzniká oblá hrana nebo oblá plocha. Nejčastěji se ohýbá za studena pomocí nástrojů a strojů k ohýbání. Tvrdé a křehké materiály a průřezy o velkém modulu odporu proti ohybu se ohýbají za tepla kovářskými způsoby. Dle tvaru navrhované součásti by se použilo jednoduché ohýbání, nebo ohraňování za studena viz obr. 15 a 16.

Jednoduché ohýbání



Ohraňování

Probíhá na ohraňovacích lisech, což jsou jednoúčelové stroje pro ohyby tvaru „U“ a „V“, schéma ohybu na ohraňovacích lisech je na obr. 16.



Obr. 15 Jednoduchého ohýbání do tvaru U [2] Obr. 16 Ohyb na ohraňovacím lisu [12]

Jednoduché ohýbání je proces, při kterém z rovinného polotovaru vznikne výlisek se záměrně orientovanými plochami vůči sobě.

Po zhodnocení všech uvažovaných technologií výroby navržené kotevní patky se jako nejvýhodnější jeví součást vyrábět ve sdruženém postupovém nástroji. Výroba by byla rychlá a produktivní, a však konstrukce nástroje by byla příliš složitá. Proto je podstatně jednodušší součást vyrobit v postupovém střížném nástroji a následně ji ohnout v ohýbacím nástroji.

Na stříhání a ohýbání v postupovém nástroji je vypracována teoretická část této práce.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Technologie stříhání a ohýbání se řadí mezi nejpoužívanější v oblasti plošného tváření. V obou případech tváření dochází k trvalé deformaci polotovaru, kterým je zpravidla tabule nebo svitek plechu.

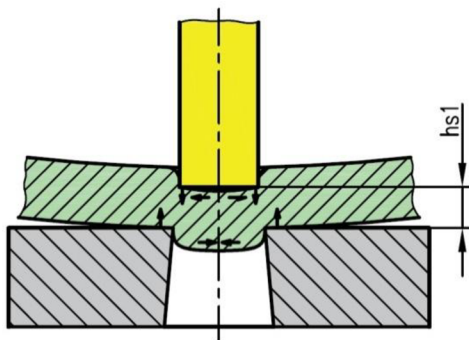
2.1 Stříhání [2], [4], [13], [19], [21]

Stříhání je proces, při kterém je materiál oddělen působením smykového (střížného) namáhání, které je vytvořeno dvěma protilehlými břity. Používá se k přípravě různých polotovarů, finálních výrobků nebo jako dokončovací operace. Největší uplatnění však našlo stříhání při zpracování plechu. Do stříhacích operací patří: prosté stříhání, vystřihování, děrování, prostřihování, prosekávání, ostřihování, prostřihování vysekávání a přesné stříhání.

2.1.1 Průběh stříhání a střížná plocha [2], [4], [13], [19]

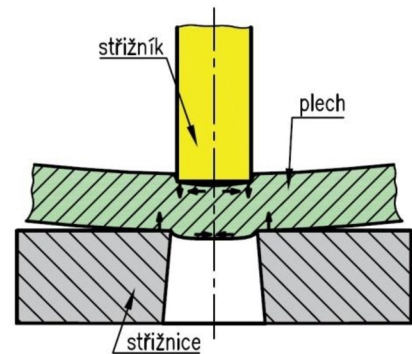
Vystřihování je proces, při kterém dojde k vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu, kde vystřížená část tvoří výstřížek. Opakem je děrování, u kterého vystřížená část tvoří odpad. Základní částí nástroje tvoří střížník a střížnice. Stříhání jako proces, který začíná dosednutím střížníku na stříhaný plech a končí oddělením materiálu, rozdělujeme do tří základních fází.

První fáze (obr. 17) nastává, když střížník tlačí na plech a v materiálu je vyvoláno napětí. Hloubka vniku střížníku, která závisí na mechanických vlastnostech materiálu, bývá 5 až 8% tloušťky materiálu. V materiálu vzniká v první fázi nežádoucí ohyb a to důsledkem vzniku silových dvojic mezi hranami střížníku a střížnice.



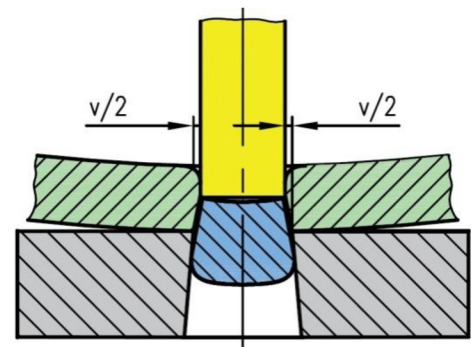
Obr. 18 Druhá fáze stříhu [4]

Ve třetí fázi (obr. 19) napětí vzroste nad mez pevnosti ve stříhu a vnik střížníku do stříhaného materiálu je 10 až 60% jeho tloušťky. Nejdříve se vytvoří tzv. nástřih, což je vytvoření trhlinek u hran a střížníku a střížnice, ty se rychle prodlužují až do oddělení výstřížku. Rychlost postupu těchto trhlin je závislá na druhu stříhaného materiálu, kdy v tvrdém a křehkém materiálu se šíří rychleji než v měkkém a houževnatém.



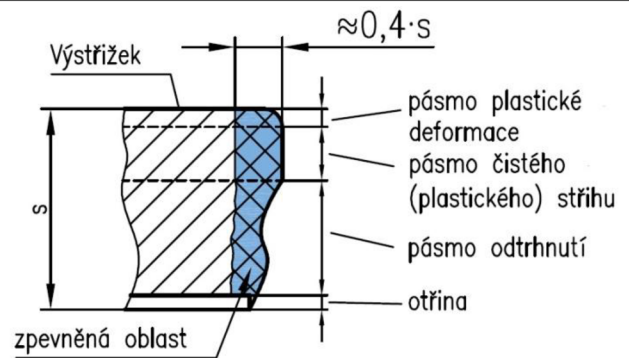
Obr. 17 První fáze stříhu [4]

V druhé fázi vyvolané napětí překročí mez kluzu v tahu a roste až na napětí hodnoty meze pevnosti materiálu ve stříhu. Tím, že je překročena mez kluzu, dochází k trvalé plastické deformaci. Hloubka vniku střížníku, která je v obr. 18 označena jako h_{s1} , bývá 10 až 25% tloušťky materiálu.



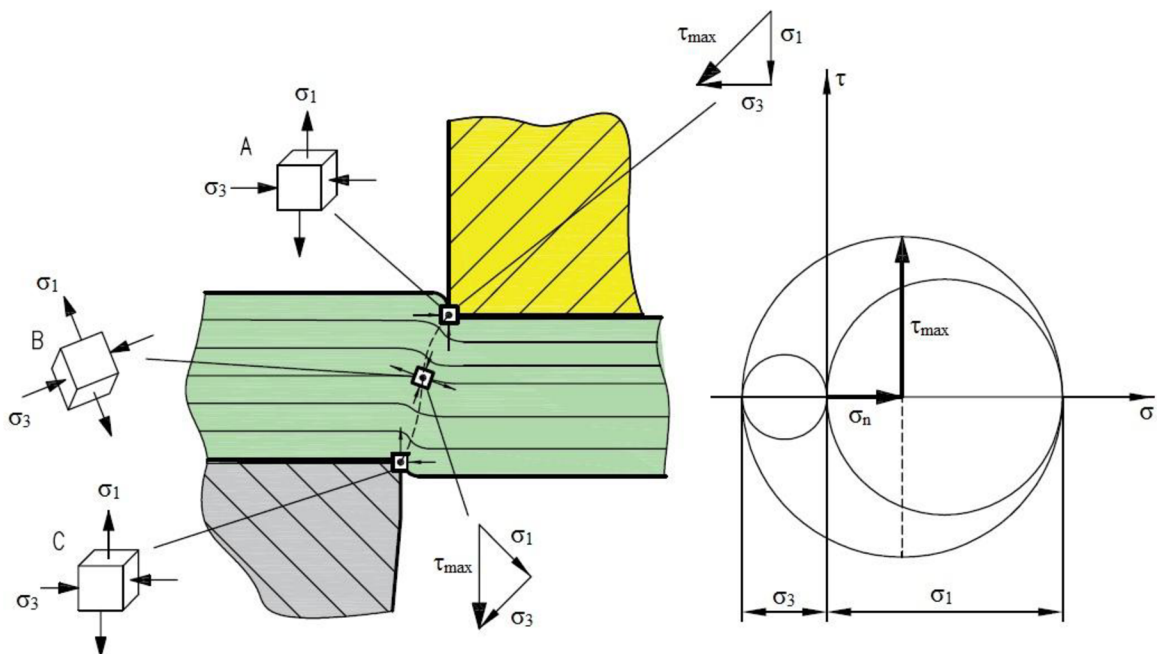
Obr. 19 Třetí fáze stříhání [4]

Výsledkem takto popsaného průběhu stříhání je střížná plocha, jejíž typický tvar a vzhled je popsán na obr. 20. Takto popsaná střížná plocha odpovídá optimální střížné mezeře. Dosažitelná drsnost povrchu je u vystřihování obvykle Ra 3,2 až 6,3. Při ostříhování a děrování Ra 2,5 až 6,3.



Obr. 20 Tvar střížné plochy a jednotlivá pásma stříhání [2]

Stav napjatosti pro uzavřené stříhání a děrování, kde obrys nástroje tvoří uzavřenou čáru, je zobrazen na obr. 21. V materiálu vzniká ohybový moment, který zejména u malých výstrižků ze silnějších plechů může způsobit trvalé deformace. Dále je materiál střížnými hranami natahován, podélná vlákna v materiálu jsou prodlužována, mění svoji křivost a zároveň se mezi břity snižuje tloušťka plechu. Stav napjatosti je zde rovinný, tvořený tahovou a tlakovou složkou. Tahové napětí σ_1 , které je největší v bodech A a C v obr. 21, je rovno tzv. střížnému odporu τ_s (2.1). Tlakové napětí σ_3 je podle praktických zkoušek přibližně poloviční hodnota z tahového napětí σ_1 . V bodě B, což je střední oblast střížné roviny, dochází vlivem změny orientace křivosti vláken i ke změně směrů hlavních napětí, z čehož plyne, že hodnota středního napětí je v tomto místě nulová a dochází k prostému stříhu. Z vektorového součtu složek hlavních normálových napětí a Mohrových kružnic napětí je vidět velikost a směr působícího smykového napětí τ_{\max} , které způsobuje vznik trhlinek. Smykové napětí mění orientaci od střížných hran ke středu materiálu, což způsobuje typický S-tvar střížné plochy. Dále je z Mohrových kružnic patrné, že kolmo na směr τ_{\max} působí normální složka σ_n . Tato složka napětí podporuje šíření trhlin po nástřihu a podílí se na jejich rozevírání.



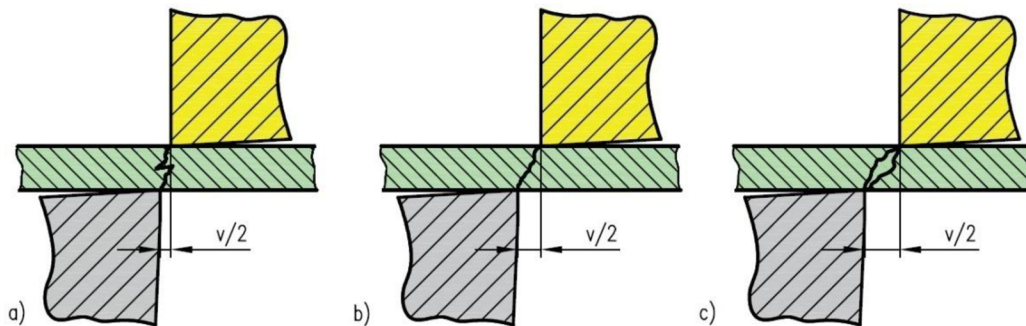
Obr. 21 Schéma napjatosti a deformace při uzavřeném stříhání a děrování [19]

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \Rightarrow \tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [Mpa]} \quad (2.1)$$

kde: τ_s [Mpa] Střížný odpor (deformační odpor ve stříhu),
 σ_1 [Mpa] tahové napětí,
 R_m [Mpa] mez pevnosti materiálu.

2.1.2 Střížná mezera a střížná vůle [2], [4], [19]

Při konstrukci střížného nástroje se střížník navrhuje menší než je jmenovitý otvor ve střížnici. Odečtem jmenovitých hodnot střížnice od střížníku je určena střížná vůle (v). Vzdálenost, která vznikne na každé straně, je vzdálenost mezi protilehlými střížnými hranami a nazývá se střížnou mezerou ($v/2$). Střížná vůle má vliv na velikost střížné síly, trvanlivost břitů, kvalitu střížných ploch, na vznik ostřin a na spotřebu energie. Při zmenšování střížné vůle roste střížná síla a práce.



Obr. 22 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [4]

Při vhodně nastavené střížné vůli se trhlínky, které vznikají při stříhání, setkají v co nejkratší vzdálenosti mezi jejich počátky, což je vidět na obr 22b.

Pokud je střížná vůle malá (obr. 22a), vzniknou zádrhy na střížné ploše, z čehož plyne zhoršená kvalita střížné plochy. Výhodou malé střížné vůle je, že se v první fázi stříhu snižuje podíl plastické deformace, tedy ohnutí stříhaného materiálu.

Velká střížná mezera způsobuje značnou deformaci v první fázi stříhu, kdy dochází k částečnému vtahování materiálu do střížné mezery. Tím je navýšená střížná síla a výrazně jsou zatíženy střížné hrany nástroje. Výsledkem bývá nekvalitní střížná plocha se značnou ostřinou (obr. 22c).

Vztah pro výpočet střížné vůle pro tloušťku plechu $s \leq 3\text{mm}$:

$$\frac{v}{2} = 0,32 \cdot c_s \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \Rightarrow v = 2 \cdot 0,32 \cdot c_s \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

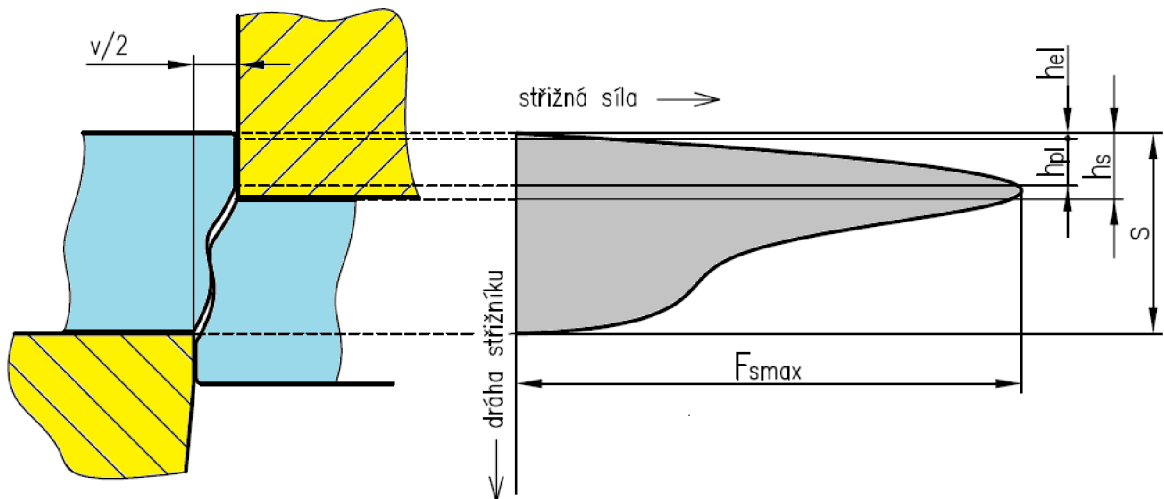
a pro tloušťku plechu $s > 3\text{mm}$:

$$\begin{aligned} \frac{v}{2} &= 0,32(1,5 \cdot c_s \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \\ \Rightarrow v &= 2 \cdot 0,32(1,5 \cdot c_s \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \end{aligned} \quad (2.3)$$

kde: v [mm] střížná vůle,
 $v/2$ [mm] střížná mezera,
 s [mm] tloušťka plechu,
 c_s [-] součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,025).

Pokud požadujeme vysokou kvalitu střížné plochy, volíme součinitel c_s co nejmenší. V případě, že požadujeme nízkou střížnou sílu, volíme spíše vyšší hodnoty součinitele. Konkrétní hodnota střížné vůle se volí individuálně pro konkrétní nástroj a stříh, kdy se bere v úvahu řada faktorů, jako je: funkce střížného nástroje, otupení břitů apod. Za optimální vůli se v praxi považuje ta, u které je zaručena kvalita stříhu při nejmenší střížné síle.

2.1.3 Střížná síla a střížná práce [2], [4], [13], [14], [19]



Obr. 23 Průběh střížné síly [19]

Kde: h_{el} [mm] elastické vniknutí,
 h_{pl} [mm] plastické zatlačení,
 h_s [mm] hloubka vniku střížné hrany v okamžiku oddělení.

V průběhu pracovního zdvihu, tedy při pohybu střížníku vůči střížnici, se velikost střížné síly mění, její průběh je vyobrazen na obr. 22. Střížná síla v počátku stříhu, kdy dochází pouze k elastické deformaci stříhaného materiálu, prudce vzroste. Síla nadále roste i v oblasti plastické deformace, kde zároveň dochází k deformačnímu zpevnění materiálu až do vzniku prvních trhlinek (nástříhu). Dále síla nepatrně klesne až do hloubky vniku h_s . Následuje výrazný pokles, jelikož dochází k úplnému porušení materiálu. Velikost síly v této fázi je vlivem tření mezi oddělovanými plochami a výstřížku při průchodu otvorem ve střížnici.

Velikost střížné síly při vystřihování výstřížků a děrování otvorů je dána vztahem:

$$F_s = n_b \cdot S \cdot \tau_s [\text{N}] \quad (2.4)$$

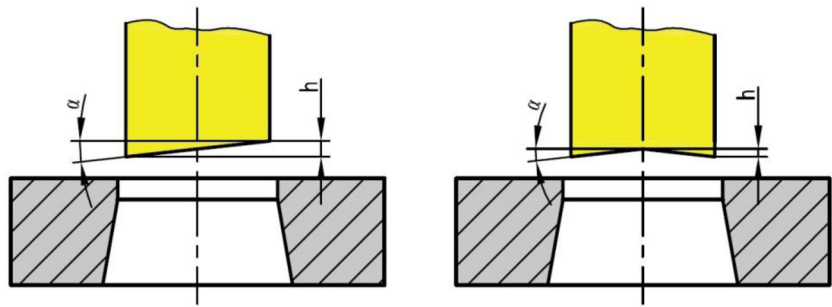
kde: F_s [N] střížná síla,
 n_b [-] koeficient otupení nástroje (1,1 až 1,3),
 S [mm²] střížná plocha.

Střížná plocha je součinem délky stříhu a tloušťky stříhaného materiálu tedy:

$$S = l \cdot (s - h_s) \cong l \cdot s [\text{mm}^2] \quad (2.5)$$

kde: l [mm] délka křivky stříhu (obvod střížníku).

Střížnou sílu je možné snížit a to upravením střížníku nebo střížnice. Takto upravený střížný nástroj může snížit střížnou sílu o 30 až 60% z její původní hodnoty. Při děrování je střížnice rovná a střížník zkosený.



Obr. 24 Příkladů úprav střížníků ke snížení střížné síly [19]

Odpad je pak ohnut a deformován, zatímco se výstřížek nedeformuje. Pokud je zkosená střížnice a střížník s rovným čelem, dochází k deformaci pásu plechu a výstřížek zůstává nepoškozen. Pro nastřihování s následným ohnutím se používá jednostranně zkosený střížník, který je na obr. 24 vlevo. Zkosení se nedoporučuje pro prostřihování součástí složitých tvarů. Konkrétní hodnoty zkosení pro uvedené příklady na obr. 24, jsou v tab. 2.

Tab. 2 Skosení střížných hran [19]

Tloušťka plechu	h [mm]	α [°]
$s \leq 3$	$h \leq 2s$	$\alpha \leq 5$
$s \geq 3$	$h = s$	$\alpha \leq 8$

Střížná síla se vypočte ze vztahu 2.4, a však při volbě lisu musíme zohlednit změnu podmínek stříhání. Tím jsou myšleny faktory jako: zaoblení hran střížníků a střížnic, změna jejich tolerancí vlivem opotřebení apod. Velikost střížné síly pro volbu lisu tedy bude zvětšen o 20 až 25%, viz rovnice 2.6.

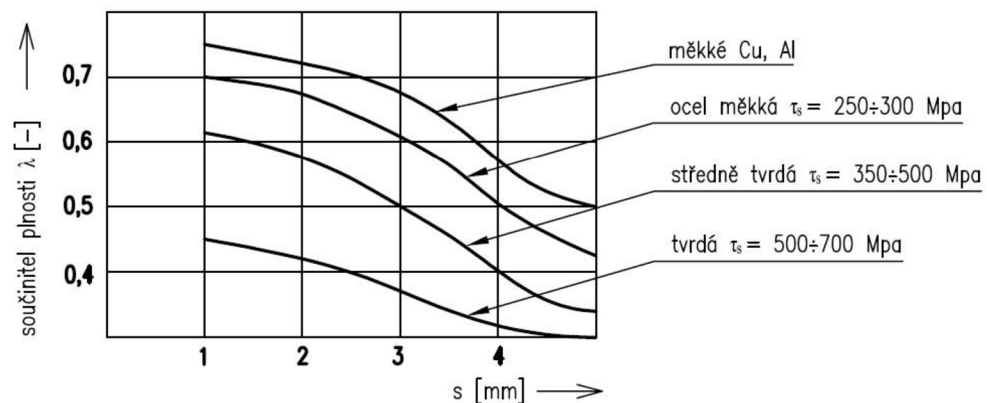
$$F_L = (1,2 \div 1,25) \cdot n \cdot S \cdot \tau_s = (1,2 \div 1,25) \cdot F_s \quad [\text{N}] \quad (2.6)$$

kde: F_L [N] střížná síla pro volbu lisu.

Střížná práce je dána plochou pod křivkou střížné síly, viz obr. 23. Je tedy přímo úměrná střížné síle a hloubce vtažení střížníku do materiálu. Vypočítáme ji podle následujícího vztahu:

$$A = \lambda \cdot F_{s\max} \cdot s \quad [\text{J}] \quad (2.7)$$

kde: λ [-] součinitel plnosti diagramu F-s, který určuje obr. 25,
 $F_{s\max}$ [N] maximální hodnota střížné síly.



Obr. 25 Graf ke stanovení součinitele plnosti [13]

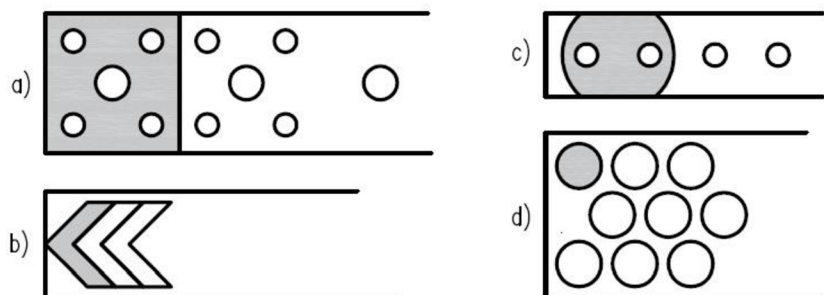
2.1.4 Nástřihový plán a využití materiálu [2], [14], [21]

Nástřihový plán je v podstatě konkrétní umístění výstřížku na polotovar, čímž může být plech nebo tzv. svitek. Konkrétní umístění výstřížku na polotovar se volí tak, aby byl výstřížek zhotoven s co nejlepším využitím materiálu. Jednotlivé možnosti umístění výstřížku na polotovar jsou znázorněny na obr. 26. Pokud stříháme součást na více kroků, nástřihový plán nám určuje, jak budou jednotlivé kroky probíhat.

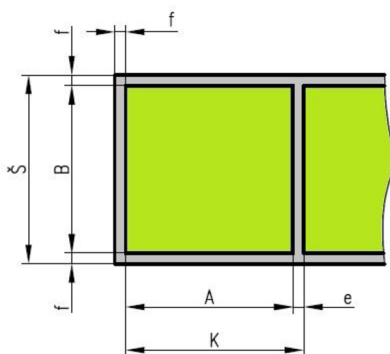
Podle technologického odpadu se rozlišují tyto typy nástřihových plánů: (obr. 27)

- bez můstku a postranního odpadu – u tohoto nástřihového plánu vznikne odpad pouze případným děrováním a to jen v případě kdy součást obsahuje otvory,
- s postranním odpadem – odpad vznikne pouze po stranách součásti, jelikož mezi součástmi není můstek,
- bez postranního odpadu,
- s postranním odpadem a můstky – zajištění dobré kvality výstřížku a odvodu odpadu.

Pokud nevyžadujeme vysokou rozměrovou přesnost stříhané součásti a ani vysokou přesnost stříhaného obrysu, použijeme jednu z prvních třech způsobů nástřihového plánu.



Obr. 27 Typy nástřihových plánů [2]



Obr. 28 Můstek a postranní odpad výstřížku [14]

Při výpočtu jednotlivých variant seskupení výstřížků na plech budeme postupovat následovně. Pokud budeme stříhat s odpadem a postranními můstky, musíme nejdříve podle rozměrů součásti dohledat v normě velikost přepážky a můstku mezi výstřížky, viz obr. 28. Pokud budeme součást stříhat z plechu a zároveň půjde o obdélníkovou součást, uvažujeme ve většině případů pouze o čtyřech variantách umístění výstřížku. Na pruhu plechu či svitku může být součást umístěna na šířku nebo výšku, zároveň při stříhání z plechu je rozhodující, zda je pruh plechu ustřižen s delší, nebo kratší hranou plechu.

Typ stříhu	Střihací náčrtek	
	s přepážkou	bez přepážky
Přímí		
Jednořadý		
Víceřadý		
Šikmý		
Vstřícný		

Obr. 26 Seskupení výstřížků [14]

Výpočtově budeme postupovat takto:

$$n_v = \frac{L_{po}}{K} [\text{ks}] \quad (2.8)$$

kde: n [ks] počet výstřížků z pásu plechu (svitku),
 L_{po} [mm] délka pásu (svitku),
 K [mm] krok (vzdálenost o kterou se posouvá materiál vůči nástroji),

$$\eta = \frac{S_v \cdot n_c}{S_{po}} \cdot 100 [\%] \quad (2.9)$$

kde: η [%] využití polotovaru,
 n_c [ks] celkový počet výstřížků z polotovaru,
 S_v [mm²] plocha jednoho výstřížku,
 S_{po} [mm²] plocha polotovaru.

Pokud jako polotovar bude svitek, platí $n = n_c$, při použití plechu bude platit následující vztahy:

$$n_c = n \cdot n_p [\text{ks}] \quad (2.10)$$

kde: n_p [ks] počet pásů z plechu,

$$n_p = \frac{l_p}{\bar{s}} [\text{ks}] \quad (2.11)$$

kde: l_p [mm] délka, či šířka plechu,
 \bar{s} [mm] šířka pásu.

Volba nástřihové plánu je jedna z nejdůležitějších částí při návrhu střížného nástroje. Jelikož se podle něj řídí konstrukce střížného nástroje a zároveň jeho správná volba ovlivňuje využití materiálu.

2.1.5 Technologičnost výstřížků[2], [4]

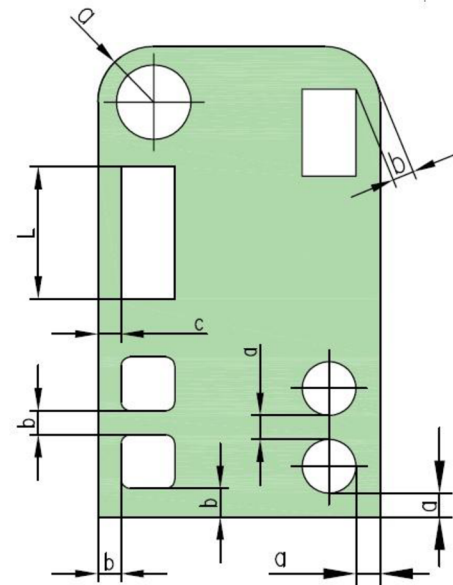
Předpokladem dokonalého technologického postupu je správná technologičnost konstrukce výstřížků. Pro zajištění plynulé a ekonomické výroby výstřížku obecně platí tyto zásady:

- stříhaný materiál do meze pevnosti 1000 ÷ 1200 MPa,
- dosahovaná přesnost běžného stříhání je ve stupni IT 12 ÷ 14, při stříhání ve stříhadlech se zvýšenou přesností je možno dosáhnout IT 9 ÷ 11 (použití vodících stojánek, apod.),
- kruhové otvory mají přednost před nekruhovými ,
- nepředepisovat drsnost stříhané plochy menší jak Ra 3,2 ÷ 6,3, což je drsnost pro utrženou část, viz obr. 20 této práce ,
- nepředepisovat přísné tolerance pro rovinnost výstřížku,
- nepředepisovat kolmost střížné plochy,
- vystupující části mají mít šířku alespoň $\bar{s} = 1,5 \cdot s$ [mm],
- rohy výstřížku by měly být zaoblené nebo zkosené, ,
- dodržet minimální vzdálenost mezi otvory a od kraje výstřížku, čili $a \geq 0,8 \cdot s$, $b \geq 1 \cdot s$, $c \geq 1,5 \cdot s$, viz obr. 29, který platí pro středně tvrdou ocel, pro měkkou ocel je nutno tyto vzdálenosti zvětšit o 20 ÷ 25 %, ,
- nejmenší otvor při děrování, který je možno zhotovit, je uveden v tab. 3, kde konkrétní hodnoty získáme vynásobením tloušťky stříhaného plechu (s).

Tab. 3 Největší rozměry otvorů [4]

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem s přidržovačem	
	A	B	A	B
měkká ocel	$1,0 \cdot s$	$0,8 \cdot s$	$0,35 \cdot s$	$0,3 \cdot s$
tvrdá ocel	$1,5 \cdot s$	$1,2 \cdot s$	$0,5 \cdot s$	$0,4 \cdot s$
mosaz, měď	$1,0 \cdot s$	$0,8 \cdot s$	$0,35 \cdot s$	$0,3 \cdot s$
hliník	$0,8 \cdot s$	$0,6 \cdot s$	$0,3 \cdot s$	$0,25 \cdot s$

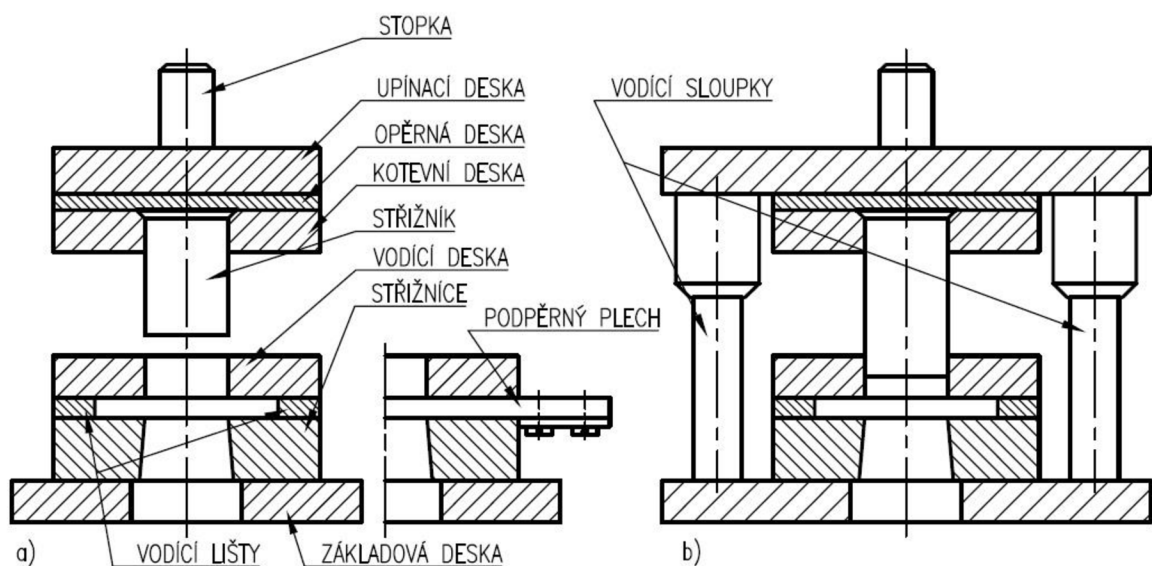
A – průměr kruhového otvoru
B – šířka obdélníkového otvoru



Obr. 29 Vzdálenost otvorů od okraje a mezi otvory [4]

2.1.6 Střížné nástroje a jejich části [4], [21], [22]

Střížné nástroje rozdělujeme na vedené a nevedené. U nevedených není horní a spodní část střížného nástroje spojena, což nepříznivě působí na kvalitu střížné plochy a na opotřebení nástroje. Vedené střížné nástroje jsou výhodnější z hlediska dodržení rovnoměrné střížné vůle. Vedení je zajištěno pomocí vodících sloupků, viz obr. 30b. Další výhodou vedených střížných nástrojů je delší životnost nástroje a dosažení vyšší kvality střížné plochy ve srovnání s nevedeným střížným nástrojem. Jednooperační střížný nástroj bez vodícího stojánu ale s vodící deskou je na obr 30a.



Obr. 30 Schéma střížného nástroje [22]

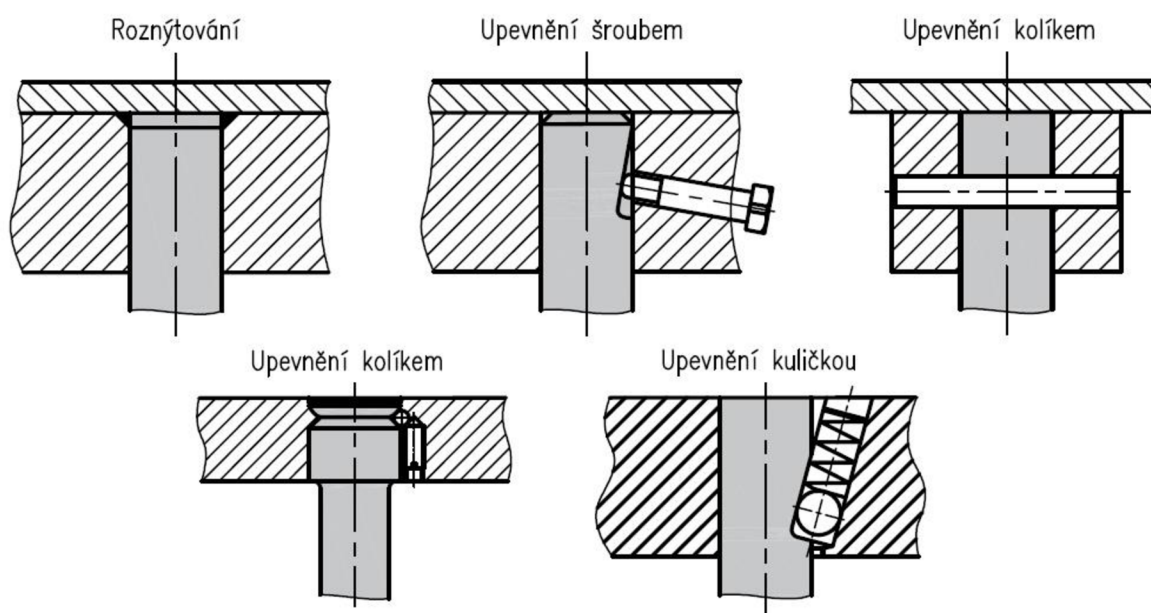
Střížníky jsou nedílnou součástí střížného nástroje. Pro dodržení požadované kvality povrchu stříhu, správný průběh stříhu a dostatečnou životnost musí střížník splňovat zejména tyto předpoklady, kterými je tuhost, kolmost upevnění, odolnost proti bočním a stíracím silám. Podle střížné operace se rozlišují jednotlivé střížníky na ostříhovací, vystříhovací, prostříhovací a další. Dále jsou rozdělovány podle tvaru průřezu (kruhové, obdélníkové, tvarové, atd.) a podle způsobu upínání.

Tvar střížníku je vždy řešen pro konkrétní střížník. Zejména malé střížníky jsou vyráběny z jednoho kusu, u větších se vyrábí nosná část z konstrukční oceli a funkční část pak bývá vyrobena z nástrojové oceli, která je k nosné části přichycena šrouby. Většina střížníků má břit (čelo) kolmé k ose střížníku.

Upnutí střížníku k základové desce je nedílnou součástí konstrukce nástroje. Úkolem kotvení je tedy zabránit střížniku ve vytažení z kotevní desky působením tzv. stahovací síly, která nebývá větší než 20% střížné síly. Velké střížníky se uchycují k základové desce šroubem, daný způsob upnutí je na obr. 31. Střížníky střední velikosti se vyrábějí s kuželovou nebo válcovou hlavou, za kterou je střížník upnut k základové desce. Malé střížníky se vyrábějí bez příruby a jsou uchyceny např. roznýtováním, kuličkou a pružinou, zalaty lehce tavitelným kovem, nebo upevněny šroubem, jednotlivé způsoby upnutí jsou na obr. 32.



Obr. 31 Upínání střížníků [21]



Obr. 32 Upínání malých střížníků [21]

Po konstrukci střížníku je nezbytná jeho kontrola na vzpěr a otláčení. Především u střížníků menších průřezů a větších délek, které nejsou vedeny, je vysoké riziko vybočení střížníku ze své osy, ohnutí, následné zlomení a tím i možnost poškození celého střížného nástroje. Pokud je vypočtená kritická délka větší než skutečná volná délka střížníku, je nutno konstrukci střížníku nebo nástroje změnit. To se provádí např. vedením střížníku nebo použitím zesíleného střížníku. Pro výpočet kontroly střížníku slouží tyto vztahy:

$$\sigma_{tl} = \frac{F_{s\max}}{S_s} \leq \sigma_{tldov} [\text{Mpa}] \quad (2.12)$$

kde: $F_{s\max}$ [N] max. střížná síla kontrolovaného střížníku
 σ_{tl} [MPa] namáhání v tlaku,
 σ_{tldov} [MPa] dovolené tlakové namáhání,
 S_s [mm²] plocha střížníku na opěrné desce,

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{s\max}}} [\text{mm}] \quad (2.13)$$

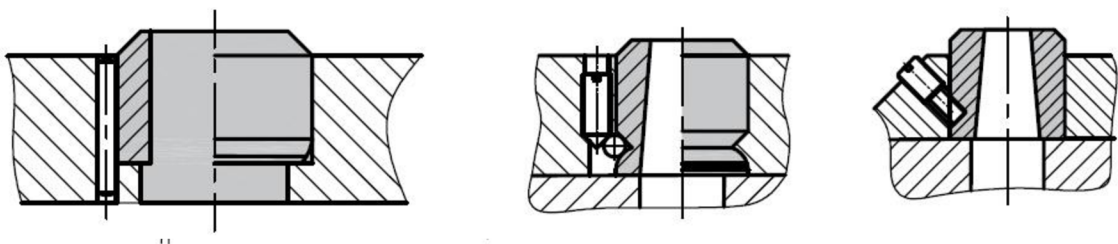
kde: l_{krit} [mm] kritická délka střížníku,
 E [MPa] Youngův modul pružnosti v tahu
 (ocel $E=2,1 \cdot 10^5$ MPa),
 I [mm⁴] kvadratický moment průřezu,
 n [-] koeficient bezpečnosti (1,5÷2).

Střížnice se rozdělují na celistvé, skládané a vložkované. Tvar a rozměry otvoru pro výstřížek jsou normalizovány, dle tab. 4. Otvor je nejčastěji zhotoven s fasetkou nebo bez ní, viz obr. 34.

Celistvé střížnice jsou vyráběny z jednoho kusu nástrojové oceli. Používají se pro vystřihování jednoduchých tvarů a výstřížků menších rozměrů. Nevýhodou těchto střížnic je, že při jejich výrobě často dochází k výrobním nepřesnostem a vadám, jako je deformace po kalení či složité opracování nepravidelných tvarů. Což se výrazně projeví na střížném procesu.

Skládané střížnice jsou vyrobeny z několika menších dílů. Jejich výroba je podstatně jednodušší a přesnější jak u celistvých střížnic. Používají se pro tvarově složitější výstřížky nebo pro výstřížky větších rozměrů.

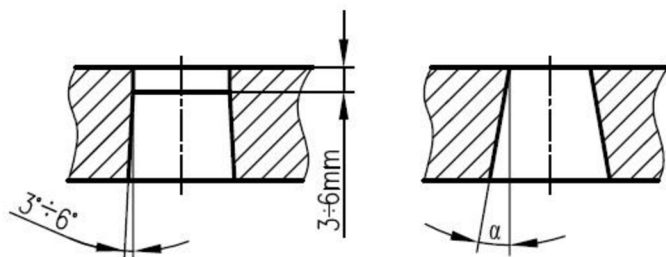
Vložkované střížnice použitím vložek šetří nástrojovou ocel. Používají se hlavně pro sériovou a hromadnou výrobu a jejich výhody jsou stejné jako u skládaných střížnic. Příklady vložkovaných střížnic jsou na obr. 33.



Obr. 33 Příklady vložkovaných střížnic [22]

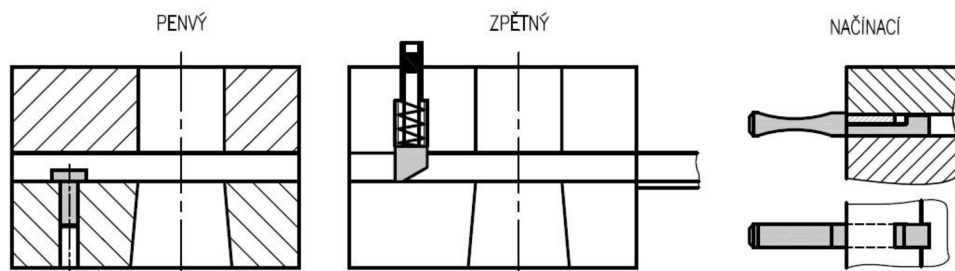
Tab. 4 Otvor stříž. [21]

s (mm)	α (min)
1,0 ÷ 2,0	20 ÷ 30
2 ÷ 4	30 ÷ 45
4 ÷ 6	45 ÷ 60



Obr. 34 Otvor ve střížnici [21]

Dorazy při stříhání na postupových nástrojích zajišťují stejnoměrný posuv pásu o vzdálenost odpovídající kroku z nástřihového plánu. Aby byl zajištěn správný a bezproblémový chod střížného nástroje, musí být doraz vhodně zvolen a zkonstruován. Dále se vhodnou volbou dorazu sníží výrobní náklady a zvýší se produktivita práce. Dorazy dělíme podle konstrukčních znaků na: pevné, zpětné, dorazy pro lisování bez odpadu, načínací, načínací pro druhou řadu výlisků, dorazy pro druhou řadu výlisků, dorazy s rozstřihováním přepážky odpadu, odstřihovače, automatické a výškové. Příklady jsou na obr. 35.



Obr. 35 Příklady dorazů [22]

Materiály, které jsou doporučeny pro konstrukci střížného nástroje, jsou uvedeny v tab. 5. Při volbě konkrétního materiálu se musí zohlednit specifické požadavky nástroje jako je velikost výrobní série, složitost výstřížku apod.

Tab. 5 Doporučené materiály pro střížné nástroje [4]

Ocel			Tep. zpracování	Tvrdo-st (HRC)
Typ	Označení	Vhodnost použití		
Neušlec h-tilé	1.0721	Na drobné součásti nástrojů		
	1.0026, 1.0038	Pro méně namáhané součásti, opěrné desky		
	1.0036, 1.0038, 1.0026, 1.0553	Pro svařování konstrukčních dílů nástrojů		
	1.0050, 1.0060	Pro klíny, pera, upínací, kotevní desky		
Zušlechťovatelné	1.1219, 1.0601	Stírače, upínací hlavice, stopky, opěrné vložky	Zušlechťeno	50÷58
	1.1181, 1.1244, 1.3520	Šroubové, talířovité, listové pružiny		43÷48
	1.3521, 1.8159	Talířové, nejnamáhavější pružinové součásti		45÷46
Oceli cementační	1.1121, 1.1148	Součásti vodícího mechanismu, sloupky, pouzdra	Cementováno	60÷62
	1.7016, 1.3521	Součásti s velmi tvrdou cementační vrstvou		61÷63
Oceli na odlitky	42 2640, 42 2650	Pro rozměrnější desky a jiné součásti nástrojů		

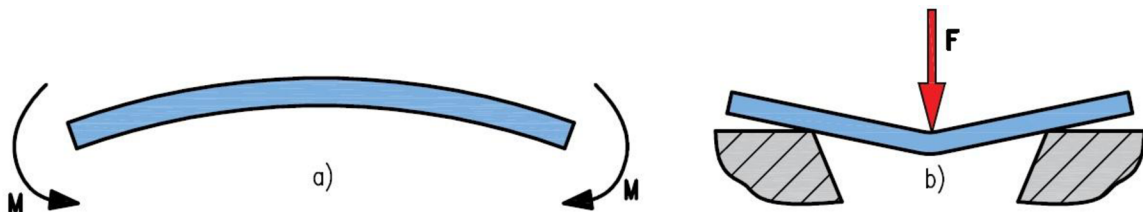
Další části střížného nástroje jako je např.: stopka, stírače, hledáčky, vodící lišty již nebudu v této práci uvádět.

2.2 Ohýbání [2], [13], [19]

Ohýbání je technologická operace, při které dochází k trvalému přetváření materiálu. Vlivem ohybových momentů nebo lokálních sil dochází k trvalé přeměně plechu, drátu či tyče. Nejčastěji ohybem měníme součást tvaru plechu, která byla před tím stříhána a zmenšujeme jí poloměr zakřivení až do jeho minimální mezní hodnoty deformace za studena. Zároveň se ohýbáním dá zvětšovat poloměr zakřivení, čímž dochází k rovnání. Ohyb je nejčastěji prováděn za studena, pouze průřezy s velkým modulem odporu proti ohybu a také tvrdé a křehké materiály ohýbáme za tepla.

Ohýbání jako technologický proces rozdělujeme podle mnoha faktorů:

1. Podle způsobu pohybu nástroje na ohýbaný polotovar
 - ohýbání na lisech – materiál se ohýbá v nástroji (ohýbadle)
 - ohýbání pomocí válců – jedná se o válce, které vykonávají rotační pohyb
2. Z technologického hlediska:
 - ohyb vnějšími momenty, viz obr. 36a
 - ohyb lokálními silami, viz obr. 36b

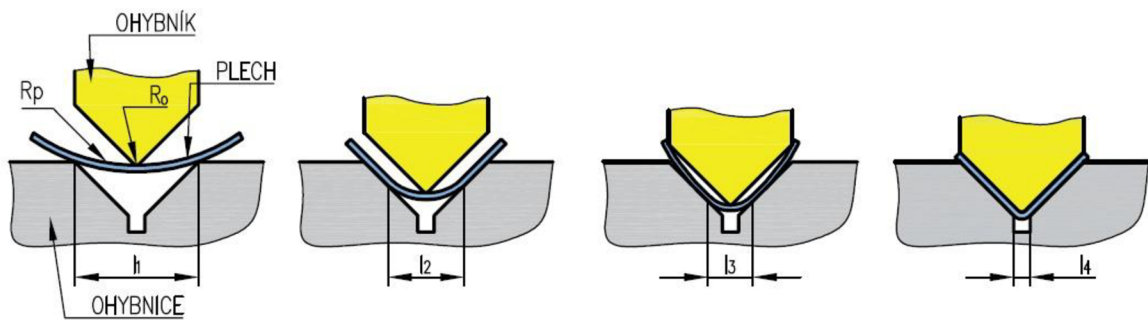


Obr. 36 Schéma ohybu momentem a osamělou silou [2]

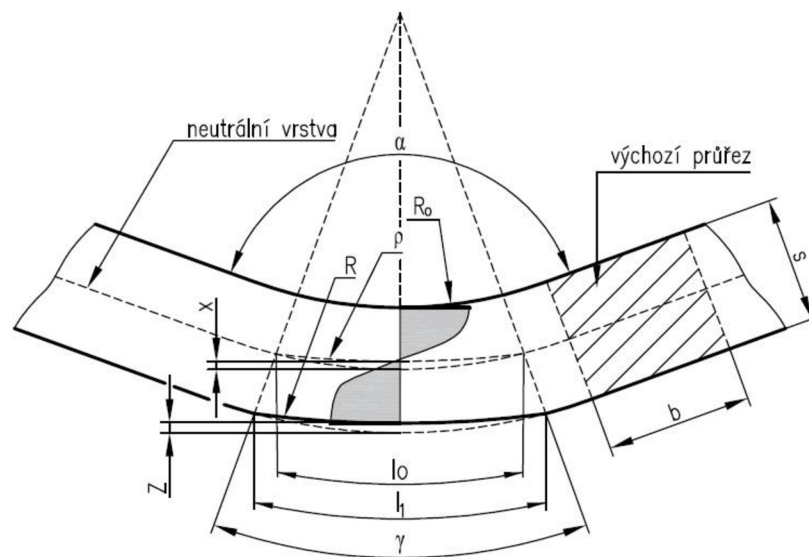
3. Označení v praxi:
 - Ohyb s malým poloměrem zakřivení při velkém stupni plastické deformace (ohyb do úhlu, nebo ohyb o úhel)
 - Ohyb s velkým poloměrem zakřivení při relativně malém stupni plastického přetvoření (ohyb do oblouku)

2.2.1 Průběh ohýbání, základní operace a neutrální vrstva ohybu [2], [8], [13], [19]

Momentem vnějších sil či lokálními silami je při ohýbání v materiálu vyvolána pružně-plastická deformace. Na vnitřní straně ohybu se materiál stlačuje, tedy vzniká tlakové napětí a materiál se v příčném směru roztahuje. Při vnější straně ohybu je natahován a v příčném směru se zužuje. Napětí v příčném průřezu vzniká hlavně při ohýbání úzkých tyčí obdélníkového průřezu, při ohýbání širokých pásů (plechů), zabraňuje vzniku této deformace odpor materiálu. Ve středu průřezu materiálu, tedy mezi vrstvou natahovanou a stlačovanou, nevzniká napětí ani deformace v ohýbaných vláknech. Tato vrstva je nazývána neutrální vrstvou (obr. 38) a v průběhu ohýbání s malým poloměrem ohybu se posouvá směrem ke vnitřní straně ohybu. Proces ohýbání do tvaru V je znázorněn na obr. 37, na kterém lze vidět, jak se rádius ohybu polotovaru (R_p) postupně zmenšuje stejně jako rameno ohybu ($l_1 \rightarrow l_4$). Rádius R_p je po celou dobu průběhu ohýbání větší než zaoblení ohybníku R_o .



Obr. 37 Průběh ohýbání v nástroji [19]



Obr. 38 Schéma ohýbání [19]

Určení délky polotovaru výlisku je součet délek ohnutých a rovných úseků v podélné rovině s neutrální osou:

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^k l_{oj} \text{ [mm]} \quad (2.14)$$

kde: l_c [mm] celková délka polotovaru,
 l_i [mm] délka rovného úseku,
 l_{oj} [mm] délka ohnutého úseku.

Délka ohnutého úseku se pak vypočítá dle vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot (180 - \alpha)}{180} \cdot (R_o + x \cdot s) \text{ [mm]} \quad (2.15)$$

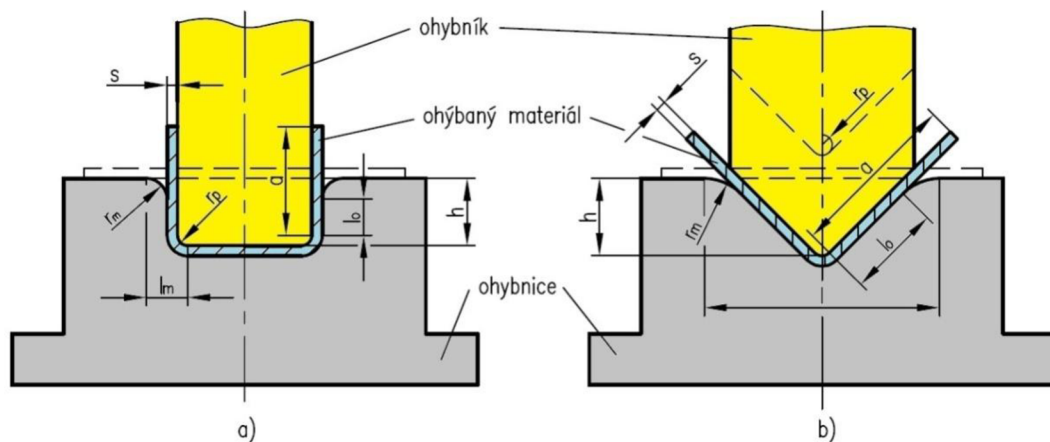
kde: α [°] úhel ohybu,
 R_o [mm] poloměr ohybu,
 x [-] posun neutrální osy, viz tab. 6.

Tab. 6 Určení posunutí neutrální osy x [8]

R_o/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Mezi způsoby ohýbání materiálu patří technologie jako zakružování, rovnání, osazování, přesazování a další. Pro případ této práce však bude uvedeno pouze jednoduché ohýbání.

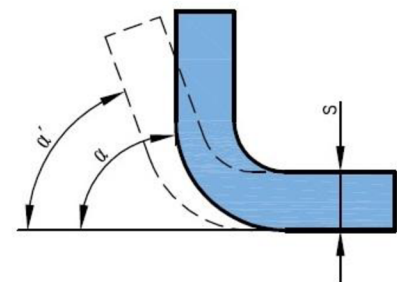
Jednoduchým ohýbáním je ohyb prováděn v ohybadle, čímž z rovinného polotovaru získáváme výlisek. Touto metodou se nejčastěji zhotovují ohyby tvaru U a V. Schéma jednoduchého ohýbání pro ohyby tvaru „U,, a „V,, je na obr. 39.



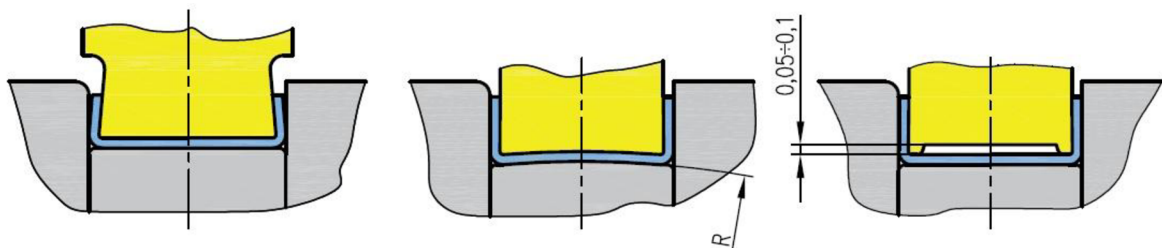
Obr. 39 Schéma jednoduchého ohýbání do tvaru „U,, a „V,, [2]

2.2.2 Odpružení, jeho eliminace a vůle při ohýbání

Vlivem pružných deformací, které jsou vratné, dochází při ohýbání k odpružení. To se při ohýbacím procesu projeví tak, že po odlehčení nástroje tvar ohnuté součásti nesouhlasí s tvarem ohybníku. S tím se musí počítat při konstrukci nástroje, aby ohyby, na které je nástroj zhotoven, byly zvětšeny o hodnotu odpružení. Úhel odpružení (obr 40), který se měří po ohnutí a odlehčení, je v podstatě rozdíl mezi úhlem ohybu a skutečným ohnutím výlisku. Odpružení se dá eliminovat konstrukčními úpravami ohybníku nebo ohybnice. Příklady úprav ohybníků jsou znázorněny na obr. 41.



Obr. 40 Úhel odpružení [2]



Obr. 41 Příklady konstrukčních úprav střižníků pro eliminaci odpružení [2]

Úhel odpružení lze přibližně vypočítat dle vztahů:

- pro ohyb tvaru „V,,

$$\beta = \arctg\left(0,375 \frac{l_v}{x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) [^\circ]$$

(2.16)

kde: β [°] úhel odpružení,
 R_e [MPa] mez kluzu materiálu,

- pro ohyb tvaru „U,,

$$\beta = \arctg\left(0,75 \frac{l_u}{x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) [^\circ] \quad (2.17)$$

kde: l_u [mm] rameno ohybu, viz obr. 42.

Vůle je při ohýbání nezbytným faktorem, se kterým je nutno počítat, jelikož ovlivňuje velikost ohybové síly a ztenčení materiálu v místě ohybu. Při ohybu do tvaru „V,, se vůle nastavuje seřizením sevření lisu. Pokud ohýbáme do tvaru „U,, je nutno s vůlí počítat již při konstrukci nástroje. Její velikost se řídí tloušťkou ohýbaného materiálu, její proměnlivostí a délkou ohybového ramene. Velikost vůle při výpočtu dle vztahu:

$$v_o = s_{\max} + c_o \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

kde: v_o [mm] vůle při ohýbání,
 s_{\max} [mm] maximální tloušťka ohýbaného plechu,
 c_o [-] koeficient délky ramene a tření, viz tab. 7.

Tab. 7 Hodnota koeficientu c_o [22]

Tloušťka s [mm]	Délka rovného ramene l_i [mm]							
	do 10	do 20	do 35	do 50	do 75	do 100	do 150	do 200
0,5÷2	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20
2÷4	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15

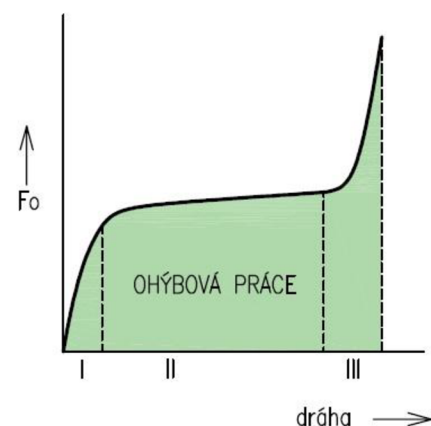
2.2.3 Ohybová síla a práce [2], [13], [19]

Ohybová síla je nutné znát při volbě ohýbacího stroje. Její průběh je v závislosti na dráze horní ohýbací čelisti znázorněn na obr. 42. V počátku ohýbání je prudký nárůst ohybové síly. Po překročení meze kluzu pokračuje zvýšení síly pozvolněji až do oblasti kalibrování, kde opět prudce vzroste. Takto popsaný průběh rozdělujeme do tří fází a to:

- I – oblast pružného ohybu,
- II – oblast plastického ohybu,
- III – oblast kalibrování.

Pro ohyb do tvaru „V,, uvažujeme ohýbanou součást jako nosník, který je uložen na dvou od sebe vzdálených podporách (l_v). Nosník je zatížen ohybovou silou F_v , která se nachází na středu vzdáleností mezi podporami. Vztah pro výpočet ohybové síly, který je určen z rovnosti momentů vnitřních a vnějších sil, je pro ohyb do tvaru „V,, dán takto:

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot r_p} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ [N]} \quad (2.19)$$



Obr. 42 Průběh ohybové síly a práce [19]

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot r_p} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ [N]} \quad (2.19)$$

kde: F_{ov} [N] ohybová síla pro „V„ ohyb,
 b [mm] šířka ohýbaného pásu,
 r_p [mm] poloměr ohybníku.

Při výpočtu ohybové síly pro ohyb tvaru „U„ taktéž můžeme považovat polotovar jako nosník na dvou podporách vzdálených l_u od sebe, viz obr. 43. Rozdíl však je v tom, že zde je nutno počítat se třením na bočních stěnách. Vztah pro určení ohybové síly pro ohyb tvaru „U„ je:

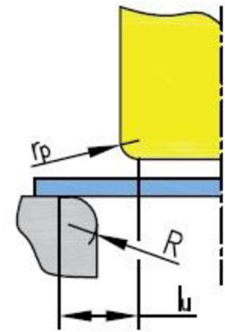
$$F_{ou} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{s \cdot r_p} \cdot (1 + 7 \cdot f) \text{ [N]} \quad (2.20)$$

kde: F_{ou} [N] ohybová síla pro „U„ ohyb,
 f [-] součinitel tření ($f=0,1$).

Ohybová práce se vypočte jako součin ohýbací síly a dráhy horní ohýbací čelisti. Což je v obr. 42 plocha pod křivkou ohýbací síly. Tedy práci vypočteme ze vztahu:

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \text{ [J]} \quad (2.21)$$

kde: A_o [J] ohybová práce,
 F_o [N] ohýbací síla,
 h_o [mm] dráha (hloubka) ohybu,
 ψ [-] koeficient plnosti diagramu ($\psi=0,5 \div 0,65$).

Obr. 43 Kóta l_u [2]

2.2.4 Minimální, maximální poloměr ohybu a technologičnost výlisků [12], [8], [19]

Maximální poloměr je takový, při kterém dojde k trvalé deformaci materiálu po odlehčení ohýbacích sil. Je to tedy maximální poměr ohybu, který jsme schopni na výlisku zhotovit. Podmínkou je, aby napětí v krajních vláknech překročilo mez kluzu. Hodnota maximálního poloměru lze spočítat ze vztahu:

$$R_{max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e} \text{ [mm]} \quad (2.22)$$

kde: R_{max} [mm] maximální poloměr ohybu.

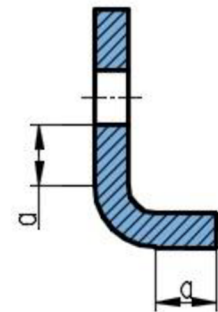
Minimální poloměr je nejmenší poloměr, který jsme schopni na výlisku ohnout bez porušení materiálu (vzniku trhlin).

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_p} - 1\right) \cong c \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

kde: R_{min} [mm] minimální poloměr ohybu,
 ϵ_p [-] poměrné přetvoření,
 c [-] koeficient zohledňující materiál,
 (pro měkkou ocel $0,5 \div 0,6$).

Pro konstrukci ohýbaných součástí platí zejména tyto technologické zásady:

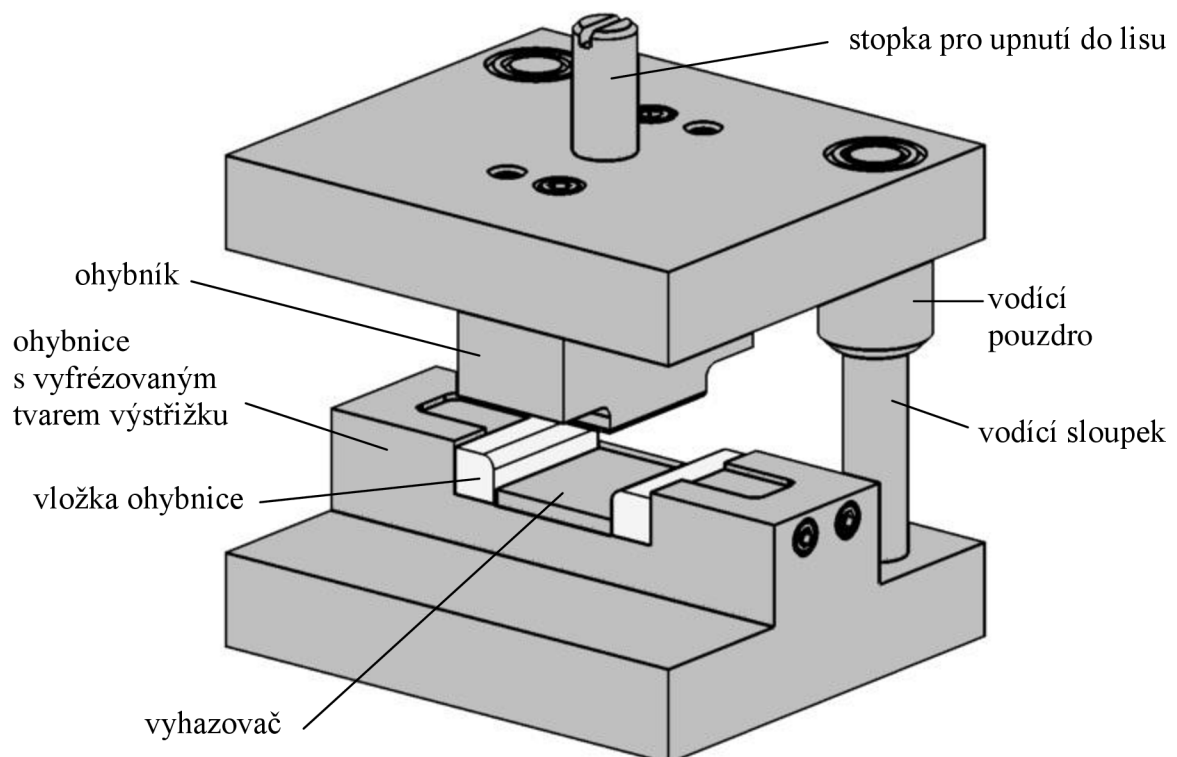
- dodržet minimální vzdálenosti okraje otvoru od ohybu (obr. 44),
- dodržet minimální délky ohýbaného ramene $a \geq 2s$, viz obr. 44,
- ostré ohyby vyrábět s následnou kalibrací, počítat se ztenčením plechu až 20%,
- při ohýbání krátkých ramen nebo ramen různých délek, je nutno zabránit posunutí materiálu na stranu delšího ramene (např. použitím kolíků, který je nasunut v technologickém otvoru v plechu),
- volit spíše menší poloměry ohybu, vždy však větší než hodnoty minimálních poloměrů ohybu (menší odpružení plechu),
- hranu ohybu pokud možno volit kolmo na směr válcování, v opačném případě zvětšit minimální poloměr ohybu.



Obr. 44
Technologičnost
výlisků [19]

2.2.5 Ohýbací nástroje [22]

Hlavními částmi ohýbacího nástroje jsou ohybník a ohybnice, které jsou nejčastěji konstruovány podle budoucích tvarů výlisků. Polotovar, kterým je nejčastěji výstřížek, musí být před ohýbáním správně založen, to se řeší několika způsoby např.: vyfrézováním tvaru výstřížku do ohybnice, či použitím příložek. Ve všech případech je však součást založena do ohybnice s určitou vůlí. Po dokončení ohybu se může stát, že se výlisek zasekne v ohybnici, proto bývají ohýbadla opatřena vyhazovačem. Ohybnice bývají často vložkované a to z důvodu značné úspory nástrojového materiálu. Vložky se vyrábějí z nástrojové oceli a ve výjimečných případech taktéž ze slinutých karbidů. Vyvložkovat lze i funkční části ohybníku, to se však neprovádí tak často, a proto ohybníky bývají často celistvé z nástrojové oceli. Příklad ohýbacího nástroje pro ohyb tvaru U je na obr. 45.



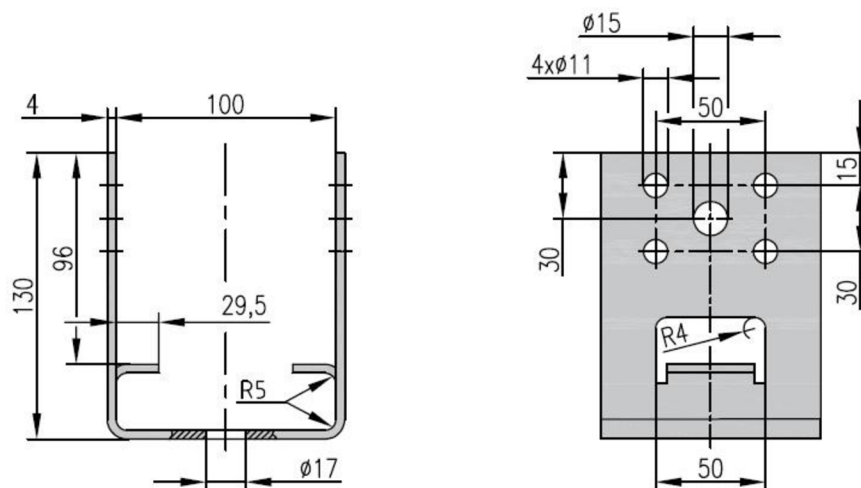
Obr. 45 Příklad ohýbacího nástroje

3 VÝROBA SOUČÁSTI

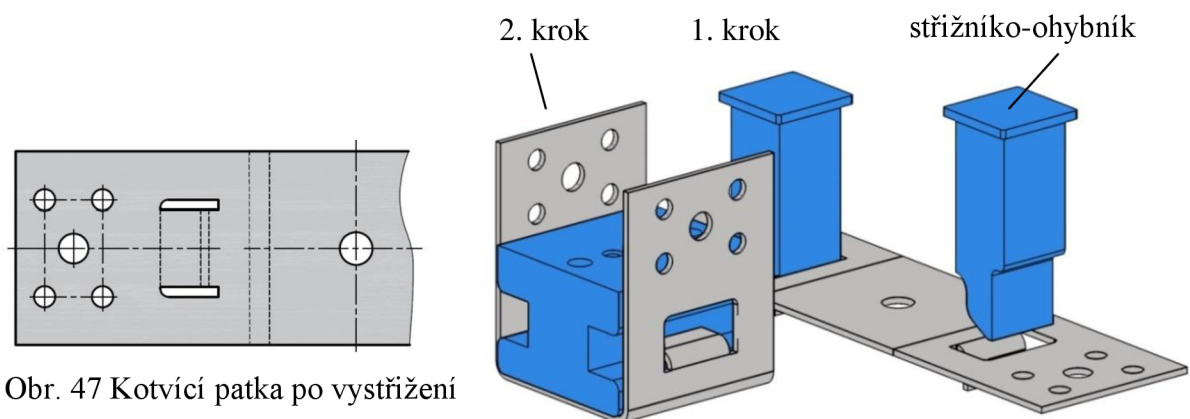
Navržená patka (obr. 46), viz kap. 1 je tvarová součást zhotovená z plechu tloušťky 4 mm o největších rozměrech 100 x 108 mm a výšce 130 mm. Dále byla zvolena nejvýhodnější varianta výroby, a to stříhání v postupovém nástroji, čímž se vytvoří polotovár pro druhou technologickou operaci, kterou bude ohýbání. V postupovém střížném nástroji tedy bude zhotoven výstřížek rozvinutého tvaru patky a současně budou předstříhnuty boky budoucích ohybů, viz obr. 47. V dalším nástroji se bude součást na dvě operace ohýbat, kde v prvním kroku dojde k dostřížení otvoru s následným ohybem výškových prvků a ve druhém kroku se součást ohne do tvaru písmene U. Proces ohýbání je znázorněn na obr. 48.

Po samotném zhotovení kotevní patky bude z důvodu ochrany před korozními vlivy součást žárově zinkována. Materiál byl zvolen 1.0038 (S235JRG2). Při jeho volbě se bral největší ohled na jeho zatížení, cenu a vhodnost pro žárové zinkování. Tvar kotevní patky, materiál a technologie výroby byly důkladně popsány v první kapitole této práce.

Z hlediska technologičnosti stříhání (kap. 2.1.6) i ohýbání (kap. 2.2.4) je součást daného tvaru a rozměrů vyrobitelná a proto není nutné provádět konstrukční změny. Rozměry součástí nejsou tolerovány, budou vyráběny dle DIN ISO 2768 MK, což je toleranční norma pro netolerované rozměry.



Obr. 46 Náskres kotevní patky

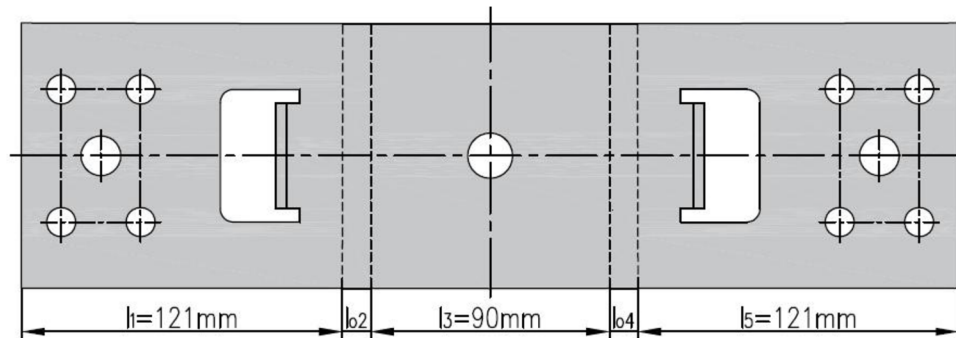


Obr. 47 Kotvící patka po vystřížení

Obr. 48 Proces ohýbu kotvící patky

3.1 Stanovení rozvinutého tvaru patky

Délka součásti v rozvinutém tvaru je součtem rovných úseků a ohybů o poloměru neutrální vrstvy. Nejdříve si součást rozdělíme na rovné a zaoblené úseky a jednotlivé vzdálenosti označíme (obr. 49), poté provedeme výpočet dle postupu uvedeného v kapitole 2.2.2.



Obr. 49 Rozvinutá délka kotevní patky

➤ Délka oblouku $l_{o2}=l_{o4}$ dle (2.15), viz obr. 50

$$l_{o2} = l_{o4} = \frac{\pi \cdot \alpha_2}{180} \cdot (R_o + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (5 + 0,4263 \cdot 4) = 10,53 \text{ mm}$$

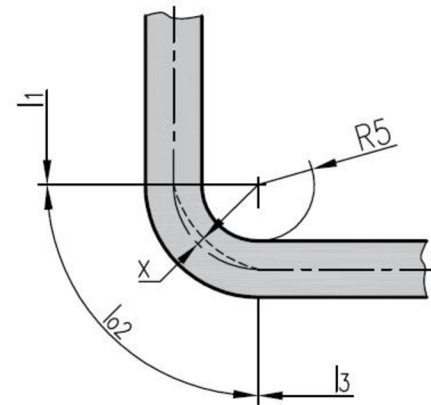
kde: $\frac{R_o}{s} = \frac{5}{4} = 1,25 \Rightarrow$ dle tab. 8, x řešíme interpolací

$$\frac{x_2 - x_0}{x_1 - y_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} \Rightarrow x_3$$

$$\begin{aligned} x_3 &= \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} \cdot (x_1 - x_0) + x_0 = \\ &= \frac{1,25 - 1}{2 - 1} \cdot (0,445 - 0,42) + 0,42 \\ &= 0,4263 \end{aligned}$$

➤ Délka v rozvinutém tvaru l_c dle (2.14)

$$\begin{aligned} l_c &= \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^k l_{oj} = l_1 + l_3 + l_5 + l_{o2} + l_{o4} \\ &= 121 + 90 + 121 + 10,53 + 10,53 \\ &= 353,06 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr. 50 Délka oblouku

Vzhledem k požadované přesnosti součásti byla zvolena délka v rozvinutém tvaru $l_c=353\text{mm}$.

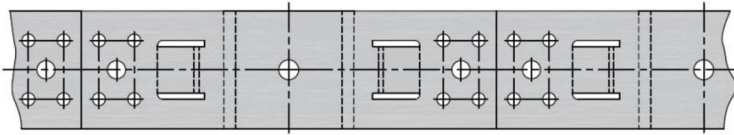
3.2 Vystřihování rozvinutého tvaru

3.2.1 Určení rozměrů optimálního polotovaru

Pro uvažovanou součást je vhodné použít nástříhový plán bez můstku a postranního odpadu a to z důvodu malých nároků na přesnost součástí.

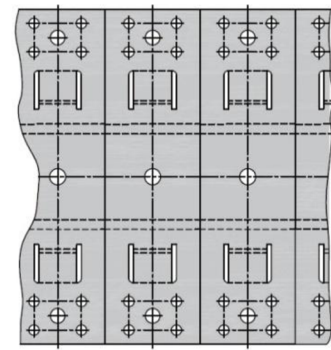
Nejdříve však musíme pečlivě zvážit jednotlivé varianty umístění výstřížku na polotovar. První variantou, viz obr. 51, je umístění výstřížku ve směru posuvu pruhu plechu. Toto řešení by vedlo k poměrně velké délce střížného nástroje, jelikož délka kroku by v tomto případě byla 353mm. Druhou variantou, viz obr. 52, je umístění výstřížku

kolmo na směr posuvu pruhu, poté bude délka kroku 100mm, čímž se podstatně zkrátí celková délka střížného nástroje.



Obr. 51 Umístění výstřižku – 1.varianta

Po zhodnocení obou variant umístění je zvolena varianta číslo 2, tedy umístění výstřižku kolmo na směr posuvu pruhu plechu (obr. 52).



Obr. 52 Umístění výstřižku – 2.varianta

Polotovarem mohou být nastříhané pruhy z tabule plechu nebo pouze svitek plechu. Svitek plechu pro případ této práce nebudeme uvažovat, jelikož před samotným stříháním je nutno svitek odvíjet a rovnat, což je nepříznivé z hlediska vysokých pořizovacích nákladů na tyto stroje, které by následně zvyšovaly celkovou cenu výstřižku. Z tabule plechu mohou být pruhy stříhány v podélném nebo příčném směru, viz obr 53. Pro obě varianty bude vypočteno využití materiálu dle vztahů uvedených v kapitole 2.1.5. Dále provedeme výpočet pro více dostupných formátů zvoleného materiálu (4x1000x2000mm, 4x1500x3000mm, 4x2000x6000mm). Z uvedených formátů bude vybrán ten s nejlepším využitím materiálu, kde se zároveň zohlední, zda byly pruhy stříhány v podélném nebo příčném směru.

Výpočet pro formát $s \times b_t \times l_t = 4 \times 1000 \times 2000$ mm, při dělení v podélném směru, o rozměrech výstřižku $A=100$ mm, $B=353$ mm.

- Počet pruhů z plechu dle vztahu (2.11)

$$n_p = \frac{l_p}{s} = \frac{b_t}{B} = \frac{1000}{353} = 2,83\text{ks}$$

Počet pruhů je zaokrouhlen směrem dolů na $n_p=2$ ks

- Počet výstřižků na pruhu plechu dle vztahu (2.8)

$$n_v = \frac{L_{po}}{K} = \frac{l_t}{A} = \frac{2000}{100} = 20\text{ks}$$

- Počet výstřižků z tabule dle vztahu (2.10)

$$n_c = n \cdot n_p = 20 \cdot 2 = 40\text{ks}$$

Z jedné tabule je možno zhotovit 40ks výstřižků.

- Obsah výstřižku (bez děr a otvorů), viz obr. 54

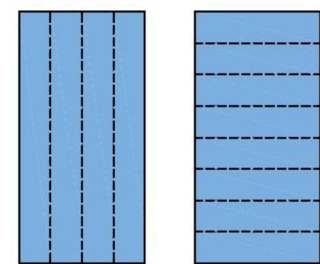
$$S_{vs} = A \cdot B = 100 \cdot 353 = 35300\text{mm}^2 \quad (3.1)$$

- Obsah tabule plechu (3.2)

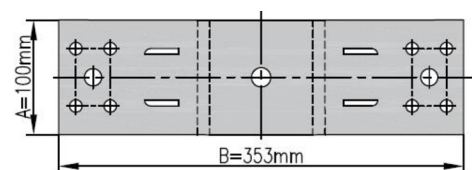
$$S_{pt} = b_t \cdot l_t = 1000 \cdot 2000 = 2\,000\,000\text{mm}^2$$

- Počet tabulí na výrobní sérii

$$n_{tab} = \frac{N}{n_c} = \frac{80\,000}{40} = 2000\text{ks} \quad (3.3)$$



Obr. 53 Dělení tabule



Obr. 54 Rozměry výstřižku

➤ Využití tabule dle vztahu (2.9)

$$\eta = \frac{S_v \cdot n_c}{S_{po}} \cdot 100 = \frac{35\,300 \cdot 40}{2\,000\,000} \cdot 100 = 70,6\%$$

Souhrn využití dostupných formátů plechů pro oba způsoby dělení jsou uvedeny v tab. 8.

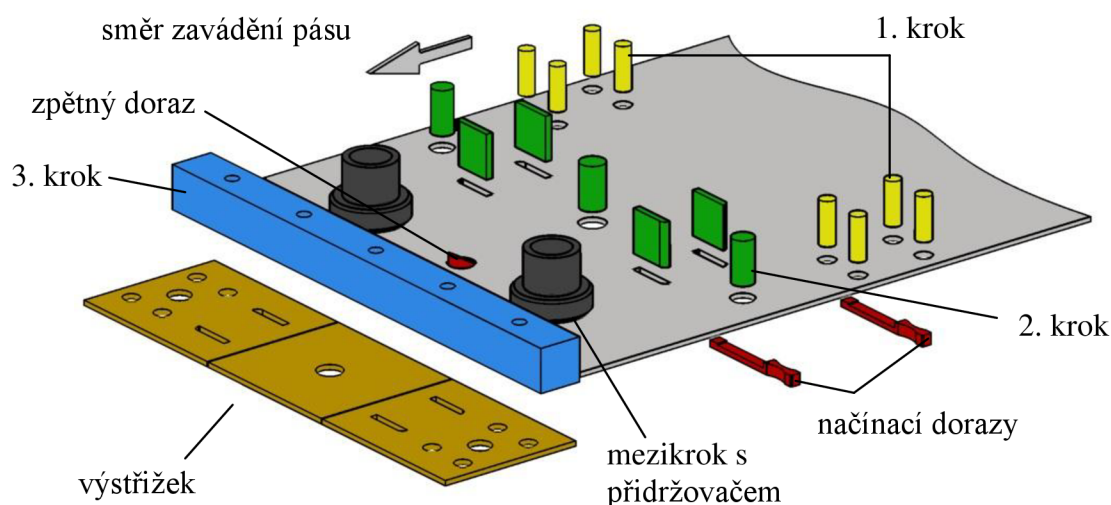
Tab. 8 Využití dostupných formátů plechu v závislosti na směru dělení

Způsob dělení tabule na pruhy	Podélně			Příčně		
Rozměry tabule $b_t \times l_t$ [m]	1x2	1,5x3	2x6	1x2	1,5x3	2x6
Počet pruhů z plechu n_p [ks]	2	4	5	5	8	16
Počet výstřížků na pruhu n [ks]	20	30	60	10	15	20
Počet výstřížků z tabule n_c [ks]	40	120	300	50	120	320
Obsah tabule S_{pt} [m ²]	2	4,5	12	2	4,5	12
Využití tabule η [%]	70,6	94,1	88,3	88,3	94,1	94,1

Z tab. 8 můžeme vyčíslit využití dostupných formátů tabulí při dělení v podélném nebo příčném směru. Největší využití vyšlo 94,1% a to hned ve třech případech. Z důvodu zmenšení počtu stříhů je pro praxi výhodnější, když se tabule dělí podélně, proto pro výrobu kotvicí patky je jako polotovar vybrán plech 4x1500x3000mm, který bude dělen podélně, tedy rovnoběžně s delší hranou plechu.

3.2.2. Nástřihový plán

V prvním kroku se pruh plechu zasune do střížného nástroje a dorazí se za načínací doraz. Po prvním zdvihu lisu bude děrováno 8 otvorů Ø11mm, viz obr. 55 (žlutá barva střížníků). Dále je v obr. 55 zeleně vyznačen druhý krok, který je taktéž ustaven načínacím dorazem. V něm dojde k děrování zbývajících otvorů včetně otvoru pro následný ohyb výškového ustavení trámu. Nakonec se součást ustříhne na požadovanou délku 100mm, čímž vznikne polotovar pro ohýbací nástroj. K eliminaci klopného momentu v posledním stříhu je přidán mezikrok, ve kterém je pás plechu přitlačován pomocí přidržovače. Načínací dorazy budou použity pouze pro ustavení nového pruhu plechu v prvních dvou krocích, další ustavení zajistí zpětný doraz, viz obr. 55.



Obr. 55 Nástřihový plán

3.2.3 Výpočty

Výpočty jsou provedeny pro zvolenou ocel (kapitola 1.2), čili 1.0038 (S235JRG2) s parametry: $R_m=340\div 470\text{Mpa}$, $s=4\text{mm}$, $c_s=0,01$.

- Střížný odpor ze vztahu (2.1)

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 470 = 376\text{MPa}$$

- Střížná vůle pro tloušťku plechu $s > 3\text{mm}$ ze vztahu (2.3)

$$v = 2 \cdot 0,32(1,5 \cdot c_s \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32(1,5 \cdot 0,01 \cdot 4 - 0,015) \cdot \sqrt{376} = 0,56\text{mm}$$

- Střížná síla pro střížník $\varnothing 11\text{mm}$ ze vztahu (2.4)

$$F_{s1} = n_b \cdot S_1 \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 138,2 \cdot 376 = 62\,355,8\text{N}$$

$$\text{kde dle (2.5): } S_1 = l \cdot s = (\pi \cdot d) \cdot s = (\pi \cdot 11) \cdot 4 = 138,2\text{mm}^2$$

- Střížná síla pro střížník $\varnothing 15\text{mm}$ ze vztahu (2.4)

$$F_{s2} = n_b \cdot S_2 \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 175,9 \cdot 376 = 79\,379,3\text{N}$$

$$\text{kde dle (2.5): } S_2 = l \cdot s = (\pi \cdot d) \cdot s = (\pi \cdot 14) \cdot 4 = 175,9\text{mm}^2$$

- Střížná síla pro střížník $\varnothing 17\text{mm}$ ze vztahu (2.4)

$$F_{s3} = n_b \cdot S_3 \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 213,6 \cdot 376 = 96\,389,1\text{N}$$

$$\text{kde dle (2.5): } S_3 = l \cdot s = (\pi \cdot d) \cdot s = (\pi \cdot 17) \cdot 4 = 213,6\text{mm}^2$$

- Střížná síla pro střížník $30 \times 5\text{mm}$ (obr. 56) ze vztahu (2.4)

$$F_{s4} = n_b \cdot S_4 \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 250,6 \cdot 376 = 117\,567,5\text{N}$$

$$\text{kde dle (2.5): } S_4 = l \cdot s = (l_{s1} + l_{s2} + l_{s3} + l_{s4} + l_{s5}) \cdot s = \left(l_{s1} + l_{s2} + l_{s3} + \frac{\pi \cdot d}{4} + l_{s5} \right) \cdot s = \left(30 + 5 + 26 + \frac{\pi \cdot 4}{4} + 1 \right) \cdot 4 = 250,6\text{mm}^2$$

- Střížná síla pro ustřížení součástí z pásu plechu ze vztahu (2.4)

$$F_{s5} = n_b \cdot S_5 \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 1412 \cdot 376 = 637\,094,4\text{N}$$

$$\text{kde dle (2.5): } S_5 = l \cdot s = 353 \cdot 4 = 1\,412\text{mm}^2$$

- Celková (maximální) střížná síla

$$F_{s\text{max}} = (8 \cdot F_{s1}) + (2 \cdot F_{s2}) + F_{s3} + (2 \cdot F_{s4}) + F_{s5} = \quad (3.4)$$

$$= (8 \cdot 62\,355,8) + (2 \cdot 79\,379,3) + 96\,389,1 + (2 \cdot 117\,567,5) + 637\,094,4 = 1\,626\,223,5\text{N} = 1\,626,2\text{kN}$$

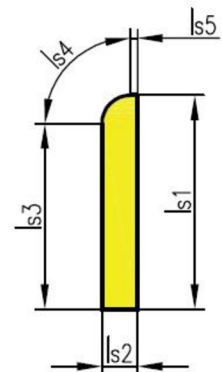
- Výpočet síly přidržovače [3]

Při návrhu postupu stříhání bylo rozhodnuto o použití dvou přidržovačů, kvůli kterým byl přidán mezikrok, ve kterém budou přidržovače umístěny. Přidržovač bude mít za úkol eliminovat klopný moment vzniklý střížnou silou v posledním střížném kroku. Vzniklý moment střížné síly musí být tedy menší, než moment přidržovačů což lze popsat rovnicí dle obr. 57:

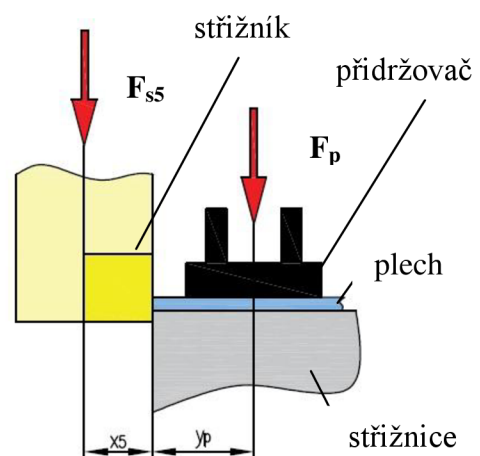
$$F_{s5} \cdot x_5 < F_p \cdot y_p \Rightarrow F_p \quad (3.5)$$

$$F_p > \frac{F_{s5} \cdot x_5}{y_p} = \frac{637\,094,4 \cdot 30}{50} \quad (3.6)$$

$$= 382\,256,6\text{N} = 382\text{kN} \\ = 382\,256,6\text{N} = 382\text{kN}$$



Obr. 56 Střížník $30 \times 5\text{mm}$



Obr. 57 Eliminace klopného momentu

Síla obou přídržovačů tedy musí být stejná, nebo větší než vypočtená síla z předcházejícího vztahu (3.6). Přídržovače se používají ve dvou variantách a to buď jako gumové nebo plynové pružiny. Pro tento případ volím modernější plynové pružiny (obr. 59). Vypočtená síla, kterou je nutno překonat klopný moment, činí 382kN. Takto vysokou hodnotu přitlačné síly nejsme schopni dle dostupnosti plynových pružin dosáhnout a to i v případě použití dvou přitlačných pružin. Proto je nutné provést konstrukční změnu střížníku, tedy břit střížníku zkosit. Pak vyjdeme z toho, že maximální střížná síla je na konci plastického stříhu, což je tehdy, když je střížník v cca 25% tloušťky plechu. V tomto okamžiku vypočteme délku styku šikmého čela střížníku se stříhaným plechem, dle obr. 58 vzdálenost L . Z rozložení napětí na střížné hraně můžeme předpokládat, že rameno střížné síly je $x_5=1/3 \cdot L$.

Výpočet vzdálenosti L a x_5 dle goniometrických funkcí:

$$\operatorname{tg}10^\circ = \frac{0,25 \cdot 4}{L} \Rightarrow x_5$$

$$L = \frac{0,25 \cdot 4}{\operatorname{tg}10^\circ} = 5,67\text{mm}$$

$$x_5 = \frac{1}{3} \cdot L = \frac{1}{3} \cdot 5,67 = 1,89\text{mm}$$

Minimální potřebná síla přídržovače dle vztahu (3.6):

$$F_p > \frac{F_{s5} \cdot x_5}{y_p} = \frac{637\,094,4 \cdot 1,89}{50} = 24\,082,1\text{N} = 24\text{kN}$$

Pro eliminaci klopného momentu je zvolena plynová pružina o jmenovité síle $F_{pz} = 12\,800\text{N}$. Použitím dvou plynových je zajištěna eliminace klopného momentu v posledním kroku stříhání.

- Střížná síla pro volbu lisu F_l dle vztahu (2.6)

$$F_l = (1,2 \div 1,25) \cdot F_s = 1,225 \cdot 1\,626,2 = 1\,992,1\text{kN}$$

- Celková síla pro volbu lisu

$$F_{lc} = F_l + (2 \cdot F_{pz}) = 1\,992,1 + (2 \cdot 12,8) = 2\,017,7\text{kN} \quad (3.7)$$

- Střížná práce dle vztahu (2.7)

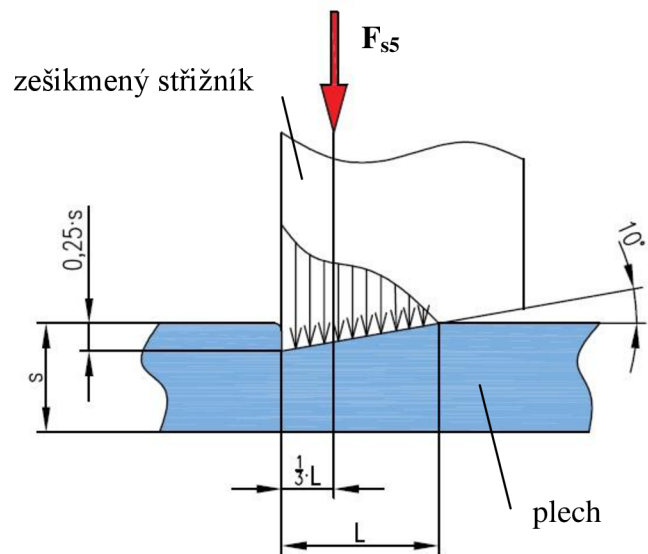
$$A = \lambda \cdot F_{s\max} \cdot s = 0,4 \cdot 1\,626\,223,5 \cdot 4 = 2\,601\,957,6\text{J} = 2\,602\text{kJ}$$

kde: λ je zvolen dle obr. 25, pro středně tvrdou ocel s hodnotou

$$\tau_s = 350 \div 400\text{MPa}, \lambda = 0,4$$

- Kontrola nejmenšího střížníku ($\varnothing 11$) na otláčení dle (2.12)

$$\sigma_{tl} = \frac{F_{s1}}{S_{s1}} = \frac{62\,355,8}{95} = 656,4\text{MPa}$$



Obr. 58 Zešikmení střížníku



Obr. 59
Plynová pružina
[3]

$$\text{kde: } S_{s1} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 11^2}{4} = 95 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{tl} \leq \sigma_{tldov} \\ (656,4 > 135) \text{ Mpa} \Rightarrow \text{musíme použít opěrnou desku z kalené oceli}$$

Dovolené napětí pro mat 1.0050 (E295), což je často používaný materiál pro opěrné desky, je $(90 \div 135) \text{ MPa}$. Z důvodu překročení tohoto dovoleného napětí je nutno použít kalenou opěrnou desku, která má dovolené napětí v rozmezí $(1600 \div 2000) \text{ Mpa}$, což je pro náš případ vyhovující. [24]

➤ Kritická délka nejmenšího střížníku ($\emptyset 11$) dle (2.13)

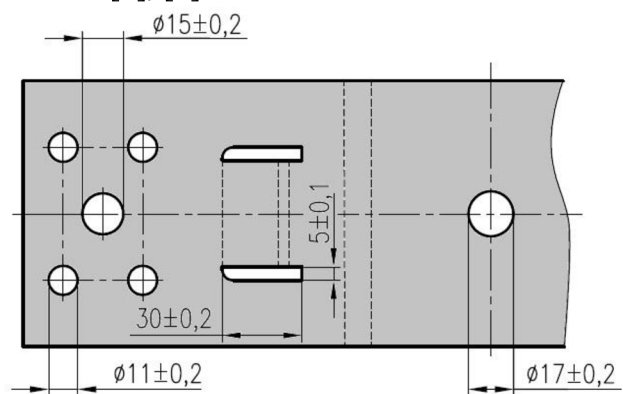
$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{s1}}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 718,7}{1,75 \cdot 62 \cdot 355,8} = 233,7 \text{ mm}$$

$$\text{kde: } I = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 11^4}{64} = 718,7 \text{ mm}^4$$

Kritická délka nejmenšího střížníku vyšla 233,7 mm, skutečná kritická délka dle zvolených rozměrů střížného nástroje je 108 mm \Rightarrow nejmenší střížník na vzpěr vyhovuje.

➤ Funkční rozměry střížníků a otvorů ve střížnici [6], [7]

Při tolerování funkčních částí střížného nástroje se vychází z rozměrů a tolerancí stříhané součásti. Pro řešenou kotevní patku nejsou předepsány žádné tolerance, proto musíme vycházet z toleranční normy pro netolerované rozměry DIN ISO 2768MK, viz příloha 1 této práce, kde vycházíme ze střední toleranční třídy (medium). Tolerované otvory pro řešenou součást jsou na obr. 60. Vystřížené části budou brány jako odpad, jedná se tedy o děrování, u kterého zůstává rozměr střížníku stejný jako stříhaného otvoru a střížnice je poté zvětšena o střížnou vůli.



Obr. 60 Tolerované otvory v součásti

Vzorový výpočet pro otvor $\emptyset 11 \text{ mm}$:

➤ Jmenovitý rozměr střížníku

$$\text{RAD} = \left(\text{JR} + \frac{\text{P}}{2} \right)_{-TA} = \left(11 + \frac{0,310}{2} \right)_{-0,074} = 11,115_{-0,074}^+ \text{ mm} \quad (3.8)$$

kde: RAD [mm] rozměr střížníku při děrování, viz příloha 2,
JR [mm] jmenovitý rozměr otvoru,
P [mm] přípustná míra opotřebení, viz příloha 3,
TA [mm] výrobní tolerance střížníku, viz příloha 3.

➤ Jmenovitý rozměr střížnice

$$\text{RED} = \left(\text{JR} + \frac{\text{P}}{2} + v \right)^{+TE} = \left(11 + \frac{0,310}{2} + 0,56 \right)^{+0,120} = 11,715_{-0}^{+0,120} \text{ mm} \quad (3.9)$$

kde: RED [mm] rozměr střížnice při děrování, viz příloha 2,
TE [mm] výrobní tolerance střížnice, viz příloha 3.

Funkční rozměry ostatních střížníků a otvorů ve střížnici jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 Velikost jmenovitých rozměrů střížníků a střížnic

Rozměry otvoru [mm]	Jmenovitý rozměr střížníku [mm]	Jmenovitý rozměr střížnice [mm]
Ø11	$\text{Ø}11,115_{-0,074}^{+0}$	$\text{Ø}11,715_{-0}^{+0,120}$
Ø15	$\text{Ø}15,115_{-0,074}^{+0}$	$\text{Ø}15,715_{-0}^{+0,120}$
Ø17	$\text{Ø}17,115_{-0,074}^{+0}$	$\text{Ø}17,715_{-0}^{+0,120}$
30x5	$30,115_{-0,074}^{+0} \times 5,080_{-0,035}^{+0}$	$30,715_{-0}^{+0,120} \times 5,640_{-0}^{+0,054}$

Střížník 60 x 360 zajišťuje ustřížení výstřížku z pásu plechu. Na tomto střížníku je přišroubován břit z nástrojové oceli, který je vyměnitelný. Seřízení střížné vůle bude probíhat při montáži břitu na střížník a bude nastavena na vypočtenou hodnotu $v=0,56\text{mm}$. Z toho důvodu není třeba provádět výpočet jmenovitých rozměrů.

➤ Poloha těžiště sil při stříhání

Po konstrukci střížného nástroje je nutno spočítat těžiště působících sil (obr. 61). Výpočet je prováděn proto, abychom věděli, kam máme ustavit střížný nástroj, aby výslednice sil působila v ose lisu. Případně pokud bude výroba probíhat na starších lisech, počítáme polohu stopky nástroje.

Výpočet bude proveden pouze pro osu „x“, v ose „y“, je součástí, tím i nástroj souměrný, z čehož plyne, že těžiště výsledné síly v ose „y“, je uprostřed střížného nástroje.

Vstupní parametry:

$$x_1=25\text{mm},$$

$$x_2=75\text{mm},$$

$$x_3=127,5\text{mm},$$

$$x_4=150\text{mm},$$

$$x_5=172,5\text{mm},$$

$$x_6=250\text{mm},$$

$$x_7=301,89\text{mm},$$

$$F_{s1}=62\,355,8\text{N},$$

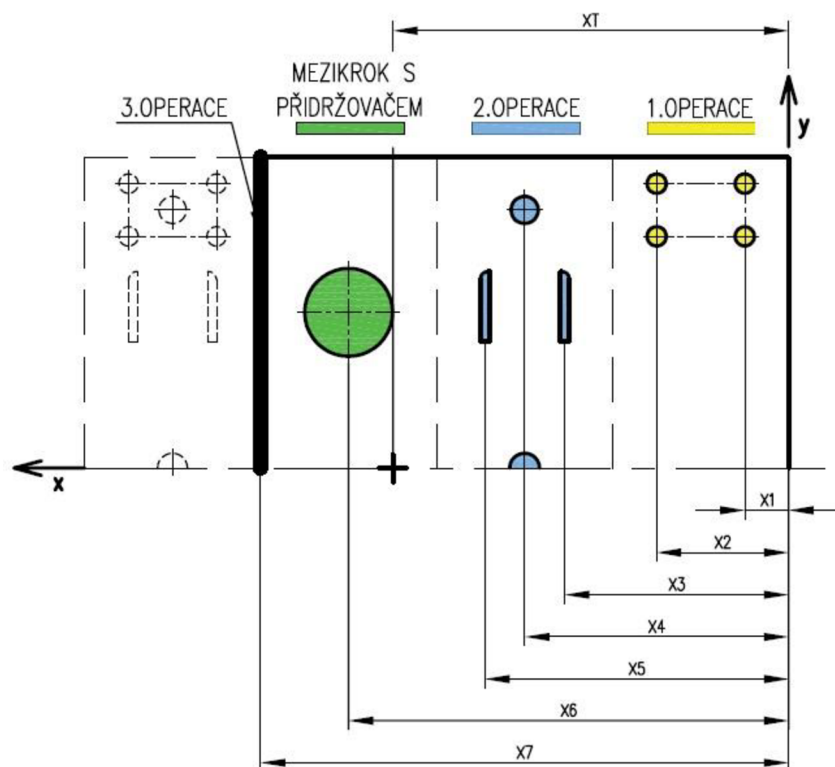
$$F_{s2}=79\,379,3\text{N},$$

$$F_{s3}=96\,389,1\text{N},$$

$$F_{s4}=117\,567,5\text{N},$$

$$F_{s5}=637\,094,4\text{N},$$

$$F_{pz} = 12\,800\text{N}.$$



Obr. 61 Těžiště střížného nástroje

$$\sum F \cdot s = F_{s1} \cdot x_1 + F_{s1} \cdot x_2 + F_{s4} \cdot x_3 + (F_{s2} + F_{s3}) \cdot x_4 + F_{s4} \cdot x_5 + F_{pz} \cdot x_6 + F_{s5} \cdot x_7 \quad (3.10)$$

$$\sum F \cdot s = 62\,355,8 \cdot 25 + 62\,355,8 \cdot 75 + 117\,567 \cdot 127,5 + (79\,379,3 + 96\,389,1 \cdot 150 + 117\,567,5 \cdot 172,5 + 12\,800 \cdot 250 + 637\,094,4 \cdot 301,89$$

$$\sum F \cdot s = 263\,403\,454,7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

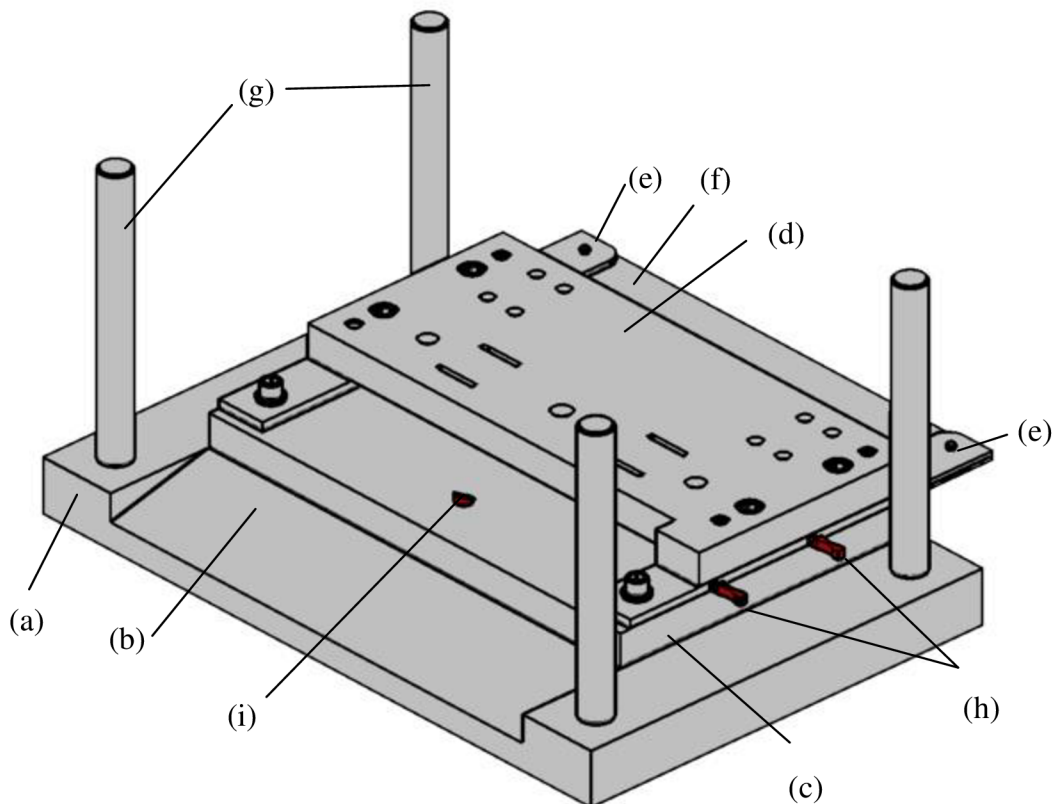
$$\begin{aligned} \sum F &= 2 \cdot F_{s1} + F_{s4} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{pz} + F_{s5} & (3.11) \\ &= 2 \cdot 62\,355,8 + 117\,567,5 + 79\,379,3 + 96\,389,1 + 117\,567,5 + 12\,800 \\ &\quad + 637\,094,4 = 1\,185\,509,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$x_T = \frac{\sum F \cdot s}{\sum F} = \frac{248\,413\,662,2}{1\,185\,509,4} = 222,2 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Těžiště sil střížného nástroje je ve směru posuvu plechu, tedy v ose x, vzdáleno 222,2mm od hrany střížnice a v příčném směru leží na ose y.

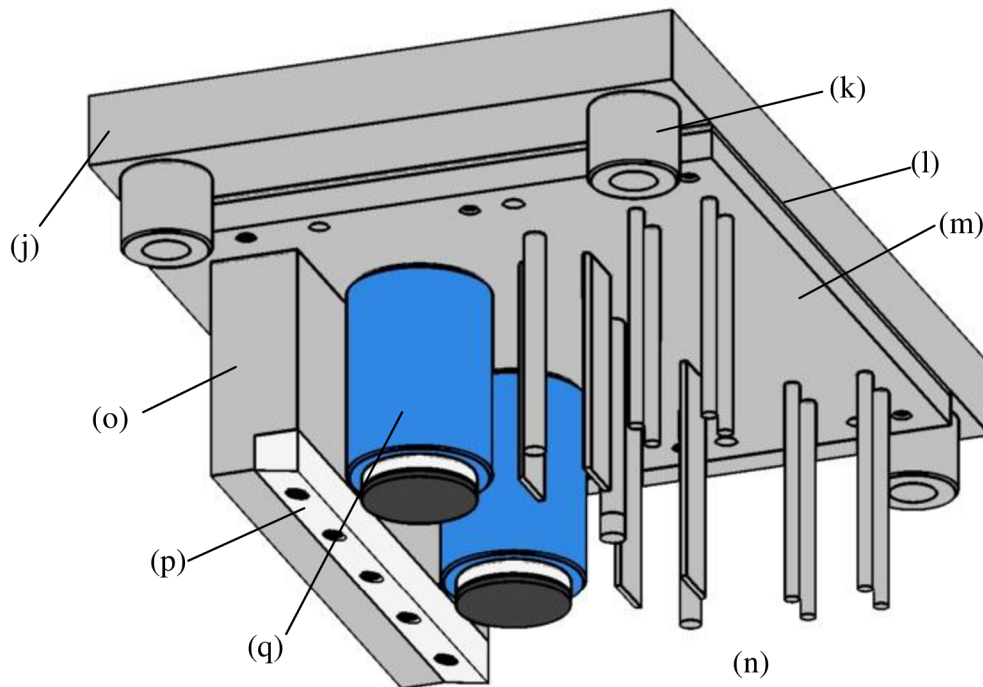
3.2.3 Nástroj a volba lisu [15]

Střížný nástroj byl pro přehlednost vymodelován v programu Autodesk Inventor Professional 2015. Jeho základní části jsou spodní (obr. 62) a horní díl (obr. 63). Spodní díl se skládá ze základové desky (a), která je ukotvena na pracovní stůl lisu. Na základové desce je připevněna střížnice (c) se všemi otvory pro následné děrování. Na střížnici jsou umístěny vodící lišty (e) pro vedení plechu, na nich je přišroubován podpěrný plech (f). Nad vodícími lištami je upevněna vodící deska (d), pro vedení střížníků do střížnice. Ustavení plechu zajistí dva načínací dorazy (h) a po zavedení prvních dvou kroků bude zajišťovat ustavení pruhu zpětný doraz (i). V rozích základové desky jsou zalisovány vodící stojánky (g), pomocí kterých bude vedena vrchní deska (i) se střížníky (n), tvořící vrchní díl střížného nástroje.



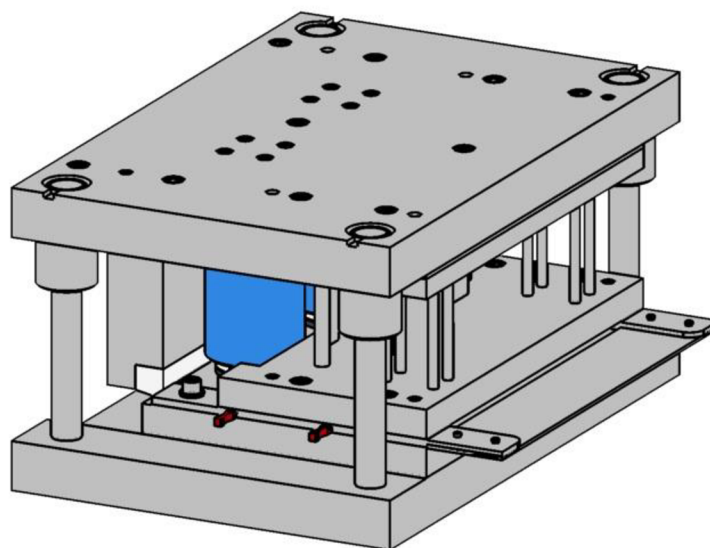
Obr. 62 Spodní díl střížného nástroje

Správné vedení vrchní dílu s vodícími sloupky zajistí vodící pouzdro (k). Mezi střížníky a vodící deskou je upevněna opěrná deska z kalené oceli (l), díky které se osazené střížníky nezatlačují do vrchní desky. Střížníky jsou k pohyblivé vrchní desce zajištěny kotevní deskou (m). Střížník posledního kroku (o) je vyroben z konstrukční oceli, ke kterému je přichycen břit z nástrojové oceli (p). Eliminaci klopného momentu posledního střížného kroku zajistí normalizovaný plynový přidržovač (q). Po vystřížení součásti spadne na skluz (b), který bude pokračovat i po stole lisu a tím budou výstřížky padat přímo do připravené bedny.



Obr. 63 Horní díl střížného nástroje

Spojením vrchního a spodního dílu střížného nástroje (obr. 64) je nástroj připraven k upnutí do lisu a tím i výroby výstřížků.



Obr. 64 Střížný nástroj

Při výběru tvářecího stroje je nutno překonat celkovou střížnou sílu, která byla vypočtena v kap. 3.2.3. a činí 2017,7kN.

Jako vhodný tvářecí stroj byl vybrán lis firmy Dirinler CDCS 2500 P81 (obr 65). Což je výstředníkový lis vhodný pro všechny operace stříhání, ohýbání a dalších tvářecích operací. Firma Dilinler patří mezi německé výrobce kvalitních excentrických a hydraulických lisů. Základní technické parametry vybraného lisu jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 Základní technické parametry zvoleného lisu [15]

Lisovací síla	2500	N
Vzdálenost stůl – beran	500	mm
Nastavení zdvihu	4÷140	mm
Zdvihů za minutu	65	zdvihů
Rozměry beranu	950 x 600	mm
Přestavení beranu	100	mm
Velikost stolu	1250 x 850	mm
Výška lisu	3700	mm
Hmotnost	16 000	kg
Příkon motoru	18,5	kW

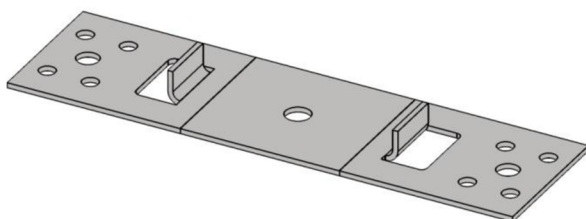


Obr. 65 Zvolený lis [15]

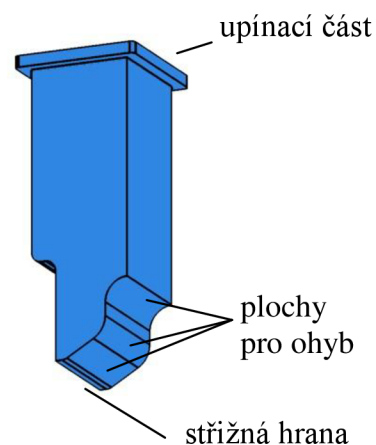
3.3 Ohýbání

3.3.1 Postup ohýbání

Kotevní patka se z vystříženého polotovaru do požadovaného tvaru ohne na dva kroky. V prvním kroku, jak již bylo uvedeno v úvodu třetí kapitoly (obr. 48), dojde k dostřížení a následnému ohnutí výškového uložení trámu v patce. Stříh s následným ohybem zajistí střížníko-ohybník, který je na obr. 66. Pro zajištění správného stříhu je nástroj delší o 2mm než vystříhnuté otvory v polotovaru. Kotevní patka po prvním ohýbacím kroku je na obr. 67. V druhém kroku dostane součást výsledný tvar písmene „U„.



Obr. 67 Kotevní patka po prvním ohýbacím kroku



Obr. 66 Střížníko-ohybník

3.3.2 Výpočty

- Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí dle vztahu (2.18), c_o zvoleno dle tab. 7 ($c_o=0,15$)

$$v_o = s_{\max} + c_o \cdot s = 4,1 + 0,15 \cdot 4 = 4,7\text{mm}$$

- Úhel odpružení pro 1. ohyb dle vztahu (2.16)

$$\beta_v = \arctg\left(0,375 \frac{l_v}{x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) = \arctg\left(0,375 \frac{30}{0,4263 \cdot 4} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5}\right) = 0,42^\circ$$

- Úhel odpružení pro 2. ohyb dle vztahu (2.17)

$$\beta_u = \arctg\left(0,75 \frac{l_u}{x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) = \arctg\left(0,75 \frac{21,5}{0,4263 \cdot 4} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5}\right) = 0,6^\circ$$

- Síla pro 1. Krok dle vztahů (2.19, 2.4)

Síla pro ohyb

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot r_p} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{40 \cdot 4^2 \cdot 235}{2 \cdot 9} \cdot \tan\left(\frac{90}{2}\right) = 8\,355,6\text{N}$$

Střížná síla

$$F_{so} = n_b \cdot S_o \cdot \tau_s = 1,2 \cdot (40 \cdot 4) \cdot 376 = 72\,192\text{N}$$

Celková síla pro 1. krok v ohýbacím nástroji je součet střížné síly pro dostřížení otvoru a ohýbací síly pro ohnutí výškového uložení násoben dvěma.

$$F_{1k} = 2 \cdot (F_{ov} + F_{so}) = 2 \cdot (8\,355,6 + 72\,192) = 161\,095,2\text{N}$$

- Ohýbací síla 2. kroku dle vztahu (2.20)

$$F_{ou} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{s \cdot r_p} \cdot (1 + 7 \cdot f) = \frac{100 \cdot 4^2 \cdot 235}{4 \cdot 5} \cdot (1 + 7 \cdot 0,1) = 31\,960\text{N}$$

- Celková ohýbací síla

$$F_{co} = 2 \cdot F_{ov} + F_{ou} = 2 \cdot 8\,355,6 + 31\,960 = 48\,671,2\text{N} \quad (3.12)$$

- Celková síla ohýbacího nástroje

$$F_c = F_{ou} + F_{1k} = 31\,960 + 161\,095,2 = 193\,055,2\text{N} = 193\text{kN} \quad (3.13)$$

- Ohýbací a střížná práce 1. kroku dle vztahů (2.21, 2.7)

$$A_{o1} = F_o \cdot h \cdot \psi = 8\,355,6 \cdot 23,5 \cdot 0,6 = 117\,814\text{J} = 117,8\text{kJ}$$

$$A_{s1} = \lambda \cdot F_{s\max} \cdot s = 0,4 \cdot 72\,192 \cdot 4 = 115\,507,2\text{J} = 115,5\text{kJ}$$

- Celková práce 1. kroku

$$A_{1k} = 2 \cdot (A_{o1} + A_{s1}) = 2 \cdot (117\,814 + 115\,507,2) = 586\,642,4\text{J} = 586,6\text{kJ}$$

- Ohýbací práce 2. kroku dle vztahu (2.21)

$$A_{o2} = F_o \cdot h \cdot \psi = 31\,960 \cdot 70 \cdot 0,6 = 1\,342\,230\text{J} = 1\,342,2\text{kJ}$$

- Celková práce ohýbacího nástroje

$$A_c = A_{1k} + A_{o2} = 586\,642,4 + 1\,342\,230 = 1\,928\,872,4\text{J} = 1\,928,8\text{kJ} \quad (3.14)$$

- Maximální poloměr ohybu dle vztahu (2.22)

$$R_{\max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{2 \cdot 235} = 1787,2\text{mm}$$

- Minimální poloměr ohybu dle vztahu (2.23)

$$R_{\min} = c \cdot s = 0,55 \cdot 4 = 2,2\text{mm}$$

➤ Poloha těžiště ohýbacích sil

Výpočet bude proveden pouze pro osu „x„. V ose „y„ je součást, tím i nástroj souměrný z čehož plyne, že těžiště výsledné síly v ose „y„ je uprostřed střížného nástroje.

Vstupní parametry:

$$x_1=110\text{mm}$$

$$x_2=250\text{mm}$$

$$F_{1k}=161\,095,2\text{N}$$

$$F_{ou}=31\,960\text{N}$$

$$\sum F \cdot s = F_{1k} \cdot x_1 + F_{ou} \cdot x_2 \quad (3.15)$$

$$\sum F \cdot s = 191\,095,2 \cdot 110 + 31\,960 \cdot 250$$

$$\sum F \cdot s = 25\,710\,472\text{N} \cdot \text{mm}$$

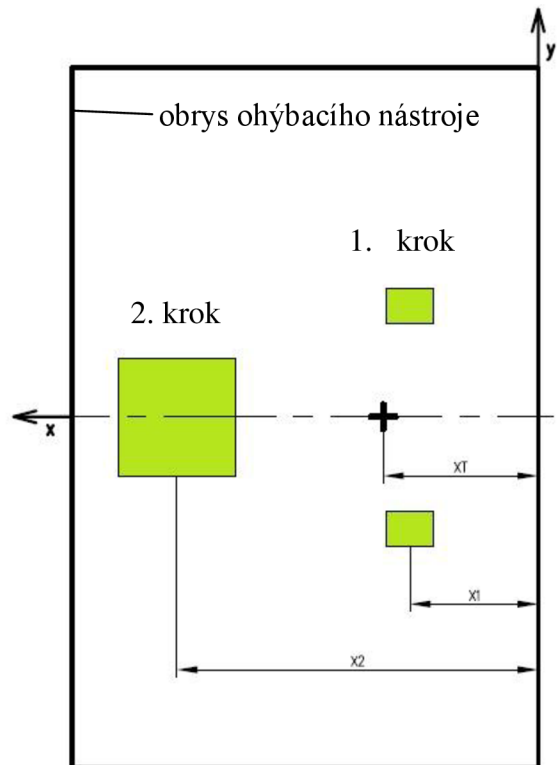
$$\sum F = F_{1k} + F_{ou} \quad (3.16)$$

$$= 161\,095,2 + 31\,960$$

$$= 193\,055,2\text{N}$$

$$x_T = \frac{\sum F \cdot s}{\sum F} \quad (3.17)$$

$$= \frac{25\,710\,472}{193\,055,2} = 131,8\text{mm}$$

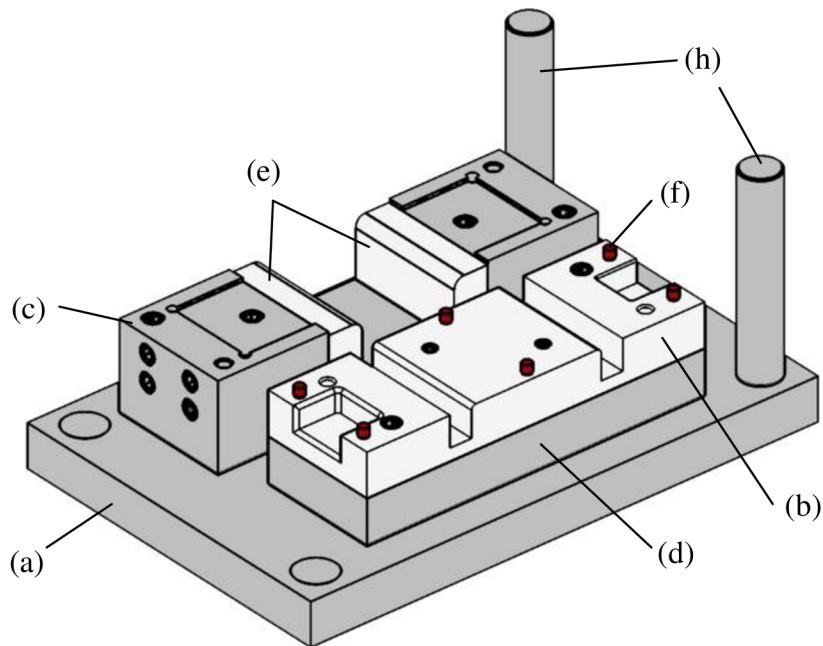


Obr. 68 Těžiště sil ohýbacího nástroje

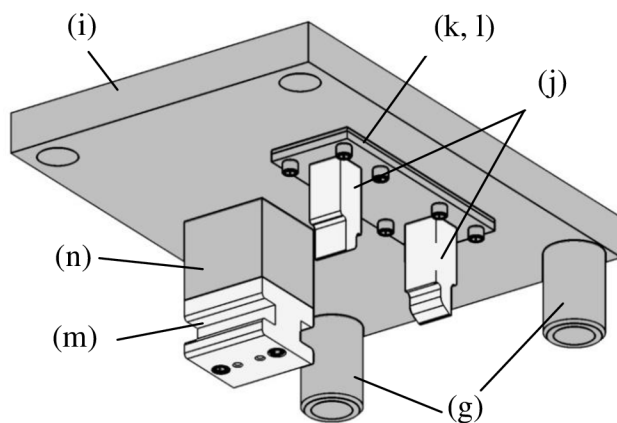
Těžiště sil ohýbacího nástroje je vzdáleno od hrany základové desky 222,2mm, tedy v ose x, viz obr 68. V ose y leží těžiště, díky souměrnosti součásti, uprostřed nástroje.

3.3.3 Nástroj a volba lisu

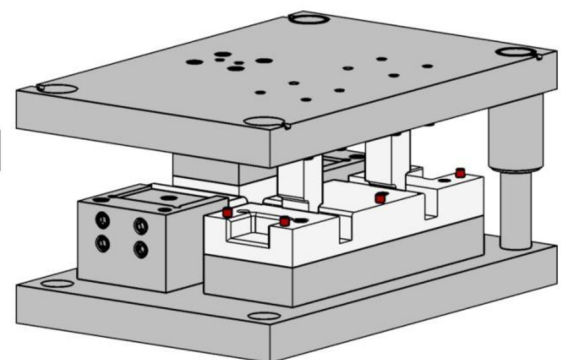
Stejně jako střížný nástroj byl ohýbací pro přehlednost vymodelován v programu Autodesk Inventor Professional 2015 a je vloženo a popsáno níže. Základová deska (a), dle obr. 69, tvoří základní stavební část spodní části ohýbacího nástroje, na které jsou přišroubovány ohybnice (b, c). Ohybnice prvního kroku (b) je zvednuta podpěrnou deskou (d), která zaručí, že oba kroky ohybu budou probíhat ve stejné výšce. Ohybnice (c), tedy ohybnice druhého ohýbacího kroku, je z důvodu úspory materiálu vyvločkována. Vložky (e) jsou vyrobeny z nástrojové oceli. Založení výstřížku do ohybnice prvního kroku bude uskutečněno pomocí zalisovaných čepů (f). V druhém kroku bude výstřížek založen do vyfrézovaného tvaru výstřížku v ohybnici. Základová deska s vrchní deskou nástroje je spojena pomocí vodících pouzder (g) a stojánků (h). Na obr. 70 můžeme vidět připevnění jednotlivých ohybníků k vrchní desce (i). Střížniko-ohybník (j), což je nástroj prvního kroku, je připevněn pomocí kotevní (k) a opěrné desky (l). Ohybník druhého kroku (m) je přišroubován k podpěrné kostce (n), které je také přišroubována k vrchní desce. Na obr. 71 je ohýbací nástroj připraven k upnutí do lisu.



Obr. 69 Spodní část ohýbacího nástroje



Obr. 70 Horní díl ohýbacího nástroje



Obr. 71 Ohýbací nástroj

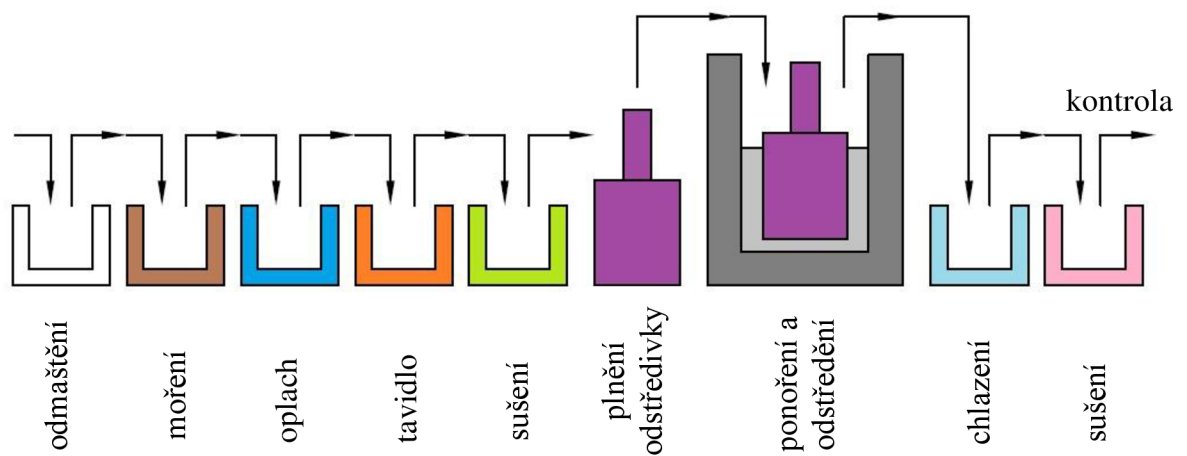
Pro ohýbací nástroj je zvolen stejný lis jako pro nástroj střížný. Jmenovitá síla lisu Dirinler CDCS 2500 P81 je dostačující, jelikož výsledná střížná síla je podstatně větší než síla, která je nutná pro ohyb součásti. Po vystřížení polotovaru pro ohýbání bude následovat výměna nástroje a součást se v ohýbacím nástroji ohne na požadovaný tvar. Vkládání výstřižků do jednotlivých ohýbacích kroků bude ručně obsluhou stroje.

3.4 Povrchová úprava [1], [9], [27]

Kotevní patka bude využívána pro drobnější dřevěné konstrukce, kterými bývají menší přístřešky, altány či pergoly. Zákazník očekává od kotevní patky dlouhou životnost, proto bylo při návrhu řešení rozhodnuto kotevní patku ošetřit následným žárovým zinkováním. To se řadí mezi moderní a hodně používané ochrany proti korozním vlivům. K výhodám žárového zinkování patří dlouhá životnost, dobrá odolnost proti mechanickým vlivům a šetrnost k životnímu prostředí. Při zinkování dochází ke zmenšování otvorů.

U ponorného zinkování se otvor zmenší o 1 až 2mm, což je nepříznivé z hlediska následné montáže, při kterých by mohly vznikat problémy. Proto bude použito tzv. odstředivé zinkování, u kterého po ponoření do lázně je součást vložena do odstředivky a přebytečný zinek v otvorech je vlivem odstředivé síly odstraněn.

Průběh procesu žárového zinkování je schematicky popsán na obr. 72. Nejdříve je nutno provést tzv. předúpravy, jako jsou odmaštění a moření. Následuje oplach a namočení v tavidle s následným osušením. Tavidlo zajistí likvidaci oxidů a zabrání jejich následnému vzniku před ponořením do zinkové lázně. Drobnější součástky jsou poté vloženy do speciálních klecí a namočeny v zinkové lázni. Tam jsou smočeny při teplotě lázně 540 až 560°C a po vytažení se součást odstředí, čímž je vytvořen rovnoměrný a hladký zinkový povlak. Po ochlazení ve vodě či na vzduchu je součást připravena k montáži.



Obr. 72 Průběh žárového zinkování s odstředováním [9]

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [28]

Ekonomičnost výroby součásti byla částečně zohledněna v kap. 3.2.1, kde jsem se rozhodl ze dvou možných variant nástřihového plánu a byl rovněž zvolen polotovar s ohledem na jeho maximální využití. Po zhodnocení jednotlivých variant nástřihového plánu byla vybrána varianta umístění součásti kolmo na směr posuvu plechu. Jako polotovar byl zvolen plech o rozměrech 4 x 1500 x 3000mm s využitím materiálu 94,1%. Potřebný počet tabulí pro zhotovení požadované série výrobků je 2000ks.

Po podrobnějším ekonomickém zhodnocení budou zjištěny náklady na výrobu jedné kotevní patky i celé výrobní série, která je 80 000ks/rok. Náklady na pořízení lisu nebudeme zohledňovat s předpokladem, že stroj je součástí výrobní společnosti. Do výsledné ceny budou zahrnuty náklady na povrchovou úpravu, nákup polotovaru, mzdy pracovníků, náklady na spotřebu energií, konstrukci nástroje a režijní náklady.

- Hmotnost jednoho plechu 4 x 1500 x 3000mm

$$m_p = V_{\text{plechu}} \cdot \rho_{\text{oceli}} = (0,004 \cdot 1,5 \cdot 3) \cdot 7850 = 141,3 \text{ kg} \quad (4.1)$$

- Hmotnost všech plechů pro zhotovení požadované série

$$m_{ps} = m_p \cdot n_{\text{tab}} = 141,3 \cdot 2000 = 282\,600 \text{ kg} \quad (4.2)$$

- Cena všech tabulí

$$c_{\text{stab}} = n_{\text{tab}} \cdot c_{\text{tab}} = 2000 \cdot 2268,72 = 4\,537\,440 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

Cena tabule byla stanovena firmou Feron a.s.

- Hmotnost jedné kotevní patky

Dle programu Autodesk Inventor Professional 2015 je hmotnost kotevní patky $m_{\text{patky}} = 1,04 \text{ kg}$.

- Hmotnost všech kotevních patek na sérii výroby

$$m_{cp} = m_{\text{patky}} \cdot N = 1,04 \cdot 80\,000 = 83\,200 \text{ kg} \quad (4.4)$$

- Hmotnost odpadu na sérii výroby

$$m_{od} = m_{ps} - m_{cp} = 282\,600 - 83\,200 = 199\,400 \text{ kg} \quad (4.5)$$

- Zhodnocení odpadu

Výkupní cena odpadu činí $c_{od} = 3,50 \text{ Kč/kg}$

$$c_{sod} = m_{od} \cdot c_{od} = 199\,400 \cdot 3,50 = 697\,900 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

- Výsledná cena materiálu na sérii výroby

$$c_{\text{mat}} = c_{\text{stab}} - c_{sod} = 4\,537\,440 - 697\,900 = 3\,839\,540 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

- Cena materiálu na jednu kotevní patku

$$c_{mp} = \frac{c_{\text{mat}}}{N} = \frac{3\,839\,540}{80\,000} = 48,7 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Výsledná cena kotevní patky bude navýšena o pořizovací náklady navrženého nástroje. Pro ohýbací a střížný nástroj je navržena cena $c_n = 500\,000 \text{ Kč}$, která byla stanovena odhadem z prodejních cen podobných nástrojů. V ceně jsou započteny náklady na materiál, zpracování a zisku výrobce.

Dalšími výdaji budou náklady na mzdy dělníka. Hodinová mzda obsluhy lisu je $c_{obs}=150kč$. Výrobní čas je doba mezi zahájením a ukončením práce lisu. Délka jedné pracovní doby je předpokládána $t_{sm}=7,5hod$, z toho kontrolní čas je $t_k=0,5hod$ a čas nutný na zavedení nových pruhů z plechu $t_p=1hod$. Počet zdvihů beranu lisu byl navržen $n_{zs}=65min^{-1}$ pro střížný nástroj. Pro ohýbací nástroj musíme počítat s tím, že součást musí být do nástroje vložena obslužným personálem, proto je zdvih lisu pro ohýbací nástroj zvolen $n_{zo}=10min^{-1}$

- Počet výstřížků za 1 hodinu

$$n_{vh} = n_{zs} \cdot 60 = 65 \cdot 60 = 3\,900ks \quad (4.9)$$

- Počet výstřížků za 1 směnu

$$n_{vs} = n_{vh} \cdot (t_{sm} - t_k - t_p) = 3\,900 \cdot (7,5 - 0,5 - 1) = 23\,400ks \quad (4.10)$$

- Počet směn na zhotovení výstřížků série

$$n_{sv} = \frac{N}{n_{vs}} = \frac{80\,000}{23\,400} = 3,41ks \quad (4.11)$$

Pro zhotovení 80 000ks série výstřížků jsou zapotřebí $n_{sv}=4$ směny.

- Počet kotevních patek za 1 hodinu práce ohýbacího nástroje

$$n_{oh} = n_{zo} \cdot 60 = 10 \cdot 60 = 600ks \quad (4.12)$$

- Počet ohnutých kotevních patek za 1 směnu

$$n_{os} = n_{oh} \cdot (t_{sm} - t_k - t_p) = 600 \cdot (7,5 - 0,5 - 1) = 3\,600ks \quad (4.13)$$

- Počet směn na zhotovení ohybů série

$$n_{so} = \frac{N}{n_{os}} = \frac{80\,000}{3\,600} = 22,2ks \quad (4.14)$$

Pro ohnutí kotevní patky do požadovaného tvaru je nutno $n_{so}=23$ směn.

- Celkový počet hodin na splnění jedné výrobní série

$$n_h = (n_{sv} + n_{so}) \cdot t_{sm} = (4 + 23) \cdot 7,5 = 202,5hod \Rightarrow 203hod \quad (4.15)$$

Celkový počet hodin na zhotovení požadované série kotevních patek byl zaokrouhlen nahoru a činí 203hod.

- Přímá mzda obsluhy lisu navýšená o sociální (25 %) a zdravotní (9 %) pojištění

$$M_o = n_h \cdot c_{obs} \cdot 1,34 = 203 \cdot 150 \cdot 1,34 = 40\,803kč \quad (4.16)$$

- Celkové náklady na mzdu včetně režii

Výrobní režie jsou $V_{vr}=340\%$ z M_o a správní režie $S_{sr}=110\%$ z M_o

$$M_c = M_o \cdot (V_{sr} + S_{sr}) = 40\,803 \cdot (3,4 + 1,1) = 183\,613,5kč \quad (4.17)$$

Náklady na spotřebu energie budou vypočteny pouze pro výrobní stroj. Náklady na spotřebu dalších zařízení jako např. osvětlení či pohon vysokozdvížného vozíku zanedbáme. Příkon lisu Dirinler CDCS 2500 P81 je $P_{lis}=18,5kW$, viz tab. 9. Cenu energie bude brát $c_e=5kč/kWh$.

- Náklady na energie

$$N_{ener} = P_{lis} \cdot n_h \cdot c_e = 18,5 \cdot 203 \cdot 5 = 18\,777,5kč \quad (4.18)$$

Cena součásti bude navýšena o povrchovou úpravu. Cena žárového zinkování byla vyčíslena firmou ACO Industries na $c_z=21$ kč.

- Náklady na 1 kotevní patku bez zisku

$$N_v = \frac{c_{mat} + M_c + c_n + N_{ener} + (m_{cp} \cdot c_z)}{N} \quad (4.19)$$
$$= \frac{3\,899\,540 + 183\,613,5 + 500\,000 + (83\,200 \cdot 21)}{80\,000} = 79,1\text{kč}$$

Náklady na výrobu jedné kotevní patky vyšly 79,1kč. Tato cena je uvedená bez zisku společnosti a je pouze cenou orientační a to z důvodu nezahrnutí pořizovací ceny lisu, údržby a další mnoha faktorů, které při výrobě výrazně ovlivňují celkovou cenu výrobku. Výše zisku je závislá na mnoha faktorech a pro každou součást bývá stanovena jednotlivě. Pro stanovení bodu zvratu, ten nastane v případě, že se výroba stane výdělečnou, budeme počítat s 30 % ziskem společnosti.

- Náklady na výlisek se ziskem

$$N_{zsk} = N_v \cdot 1,3 = 79,1 \cdot 1,3 = 102,3\text{kč} \quad (4.20)$$

- Fixní náklady

$$N_{fix} = M_c + c_n - M_o = 183\,613,5 + 500\,000 - 40\,803 = 642\,810,5\text{kč} \quad (4.21)$$

- Variabilní náklady

$$N_{var} = c_{mp} + \frac{M_o}{N} = 48,7 + \frac{40\,803}{80\,000} = 49,2\text{kč} \quad (4.22)$$

- Bod zvratu

$$Z = \frac{N_{fix}}{N_{zsk} - N_{var}} = \frac{642\,810,5}{102,3 - 49,2} = 12\,105,7\text{ks} \quad (4.23)$$

Bod zvratu byl zaokrouhlen směrem nahoru na 12 106ks.

Výroba kotevní patky začne být zisková při sérii větší než je 12 106ks. Proto máme jistotu, že roční výroba kotevní patky bude zisková a to i přes to, že vlivem opotřebení se po určité době budou muset nástroje přebrousit či jeho části vyměnit.

- Roční zisk

$$Z_{rok} = (N - Z) \cdot (N_{zsk} - N_v) \quad (4.24)$$

$$Z_{rok} = (80\,000 - 12\,106) \cdot (102,3 - 79,1) = 1\,575\,140,8\text{kč}$$

4 ZÁVĚRY

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout kotevní patku, která zabrání přímému styku trámu s podložím. Tyto patky jsou nedílnou součástí dřevěných konstrukcí. Byla tedy navržena kotevní patka jednoduchého tvaru U, u které zabraňují přímému styku trámu s podložím dva ohnuté výčnělky nacházející se na vnitřní straně ohybu. Jako vhodný materiál byla vybrána konstrukční ocel 1.0038, která je dle ČSN značena jako 11 375. Z důvodu zatížení součásti korozními vlivy je povrch součásti žárově zinkován. Kotevní patka bude vyráběna ve výrobní sérii 80 000ks/rok.

Při výběru vhodné technologie výroby byla zohledněna řada ovlivňujících faktorů, jako zvolený materiál, tvar, rozměrová a tvarová přesnost součástí, ekonomická náročnost apod. Po zhodnocení jednotlivých variant výroby bylo vybráno stříhání a ohýbání v postupovém nástroji. Výroba kotevní patky tedy bude probíhat ve dvou nástrojích, kde v postupovém nástroji bude vystřižen rozvinutý tvar součásti se všemi otvory včetně otvorů pro budoucí ohyb. Po vložení výstřížku do ohýbacího nástroje a následných dvou pracovních úkonech lisu bude zhotoven výsledný tvar součásti. Pro takto zvolenou technologii výroby nebylo nutné provést žádnou konstrukční úpravu z hlediska technologičnosti výroby součásti.

Dle rozvinutého tvaru byl navržen nástřihový plán. Výstřížek kotevní patky tedy bude vystřižen na tři kroky. Z důvodu eliminace klopného momentu posledního střížného kroku, který je ustřížení hotového výstřížku z pruhu polotovaru, byl přidán mezikrok, ve kterém jsou umístěny dvě plynové pružiny. Jako polotovar byl uvažována pouze tabule plechu, svitek nebyl uvažován z důvodu ekonomické zátěže na nákup strojů, pro odvíjení a rovnání svitku plechu. Z hlediska využití a způsobu dělení tabule byl z dostupných formátů vybrán plech rozměrů 4 x 1500 x 3000mm, který bude dělen podélně, tedy rovnoběžně s delší hranou plechu, což je výhodnější z hlediska manipulace s pruhem a zároveň je snížen počet potřebných stříhů, než při dělení příčném. Využití zvoleného formátu plechu při příčném dělení je 94,1%.

Pro navržený výrobní postup byly provedeny technologické, konstrukční a kontrolní výpočty, na jejichž základě byly zkonstruovány výrobní nástroje. Pro tyto nástroje byl vhodně zvolen výstředníkový lis CDCS 2500 P81 vyrábějící společnost Dirinler.

Ekonomickým zhodnocením byly určeny náklady na jednu kotevní patku ve výši 102,3Kč, ve kterých je započten 30 % zisk společnosti. Dalšími výpočty byl určen tzv. bod zvratu 12 106ks, který udává, po kolika výrobcích se stává výroba zisková. Z výrobní ceny lze předpokládat, že navržená patka má velké šance v konkurenčním zastoupení na trhu, jelikož kotevní patky stejně užité hodnoty stojí 200 až 300Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 AČSZ [online]. 2015. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.acsz.cz/clanek/zarove-zinkovani-ponorem-zakladni-informace-pro-uzivatele/>
- 2 BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
- 3 *Blohm: Normteile* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.blohm.cz/>
- 4 BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
- 5 *CZ FERRO - Steel* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11375.pdf>
- 6 ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřle: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975.
- 7 DIN ISO 2768 - MK. *Všeobecné tolerance délkových a úhlových rozměrů: Lineární rozměry*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1992.
- 8 DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- 9 ERIKSSON, Hans a Annikki HIRNOVÁ. *Příručka žárového zinkování. Ochrana proti korozi* [online]. 5. vyd. Stockohl, 2005 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.zinkoza.sk/prirucka_ziaroveho_zinkovania.pdf
- 10 *Esab: Svařování a pálení Česká Republika* [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.esab.com/cz/cz/news/image-archive.cfm>
- 11 *FaMTools: Konstrukční kancelář* [online]. 2015 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
- 12 *Ferrum* [online]. 2015 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovaci-lis/>
- 13 FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- 14 FOREJT, Milan. ROČNÍKOVÝ PROJEKT I: SYLABUS. In: *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. 2002 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/oborovy_projekt_2__forejt.pdf
- 15 *Formetal: Plechotvářecí stroje* [online]. 2015. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.formetal.cz/popis/vystrednikovy_lis_CDCSP81.html
- 16 *Framingconnectors* [online]. 2015. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.framingconnectors.com/caps.php>
- 17 *KNK CZ: Nábytkové kování* [online]. 2015. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.knk.cz/spojovaci-material?tabpage=15&taboffset=0&ts=-1&epc=9+60405.30>

- 18 KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování* [online]. Brno, 2015 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf. Syllabus. Vysoké učení technické.
- 19 LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
- 20 *Řezání vodním paprskem* [online]. 2015 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://wcm.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem/princip-rezani>
- 21 NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
- 22 NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- 23 *Obchod pro dílnu* [online]. 2015 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.obchodprodilnu.cz/>
- 24 ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky 2: pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2007, 586 s. ISBN 978-80-86960-20-3.
- 25 *Řezeme vodou: Řezání vodním paprskem* [online]. 2015 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
- 26 *Schinkmann* [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2>
- 27 *Signum* [online]. 2015. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.signumcz.com/zarove-a-odstredive-zinkovani>
- 28 ŠOBÁŇ Pavel. *Výroba kotevního prvku*. Brno, 2014. 55s, 5 výkresů, 5 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- 29 *Tesařské kování* [online]. 2015 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://tesarskekovani.dodasvacina.cz/kotevni-patka-u-160x160-250>
- 30 *Xinology* [online]. 2015 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-cutting/water-jet-cutting/overview/overview.html>
- 31 *Žďas* [online]. 2015. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Legenda
A_o	[J]	ohybová práce
A_{oi}	[J]	ohýbací práce jednotlivých ohýbacích kroků
A_c	[J]	celková práce ohýbacího nástroje
b	[mm]	šířka ohýbaného pásu
c	[-]	koeficient zohledňující materiál
c_e	[kč]	cena energie
c_{mat}	[kč]	výsledná cena materiálu
c_{mp}	[kč]	cena materiálu na jednu kotevní patku
c_n	[kč]	cena nástrojů
c_o	[-]	koeficient délky ramene a tření
c_{od}	[kč]	výkupní cena odpadu
c_{sod}	[kč]	zhodnocení odpadu
c_s	[-]	součinitel závislý na stupni stříhu
c_{tab}	[kč]	cena tabule
c_{stab}	[kč]	cena všech tabulí
c_z	[kč]	cena žárového zinkování
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
f	[-]	součinitel tření
F_{co}	[N]	celková ohýbací síla
F_c	[N]	celková síla ohýbacího nástroje
F_l	[N]	střížná síla pro volbu lisu
F_{lc}	[N]	celková střížná síla pro volbu lisu
F_o	[N]	ohýbací síla
F_{ou}	[N]	ohybová síla pro „U„ ohyb
F_{ov}	[N]	ohybová síla pro „V„ ohyb
F_p	[N]	síla přidržovače
F_s	[N]	střížná síla
F_{si}	[N]	střížná síla jednotlivých střížníků
F_{simax}	[N]	max. střížná síla kontrolovaného střížníku
F_{smax}	[N]	maximální hodnota střížné síly
F_{so}	[N]	střížná síla prvního kroku v ohýbacím nástroji
h_{el}	[mm]	elastické vniknutí
h_o	[mm]	dráha (hloubka) ohybu
h_{pl}	[mm]	plastické zatlačení
h_s	[mm]	hloubka vniku střížné hrany v okamžiku oddělení
I	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu
K	[mm]	krok (vzdálenost o kterou se posouvá materiál vůči nástroji)
l	[mm]	délka křivky stříhu (obvod střížníku)
l_c	[mm]	celková délka polotovaru
l_i	[mm]	délka rovného úseku
l_{krit}	[mm]	kritická délka střížníku
l_{oj}	[mm]	délka ohnutého úseku
l_p	[mm]	délka, či šířka plechu
L_{po}	[mm]	délka pásu (svitku)
l_u	[mm]	rameno ohybu

Symbol	Jednotka	Legenda
l_v	[mm]	vzdálenost mezi opěrami ohybnice tvaru „V„
L	[mm]	vzdálenost L, dle obr 58
m_{op}	[kg]	hmotnost odpadu série
m_p	[kg]	hmotnost jednoho plechu
m_{patky}	[kg]	hmotnost jedné kotevní patky
m_{cp}	[kg]	hmotnost všech patek série
m_{ps}	[kg]	hmotnost všech pechů pro zhotovení požadované série
n	[-]	koeficient bezpečnosti
n_b	[-]	koeficient otupení nástroje
n_c	[ks]	celkový počet výstřížků z polotovaru
n_h	[hod]	celkový počet hodin na splnění série
n_p	[ks]	počet pásů z plechu
n_{oh}	[ks]	počet kotevních patek za hodinu
n_{os}	[ks]	počet ohnutých patek za jednu směnu
n_{so}	[ks]	počet směn na sérii
n_{tab}	[-]	potřebný počet tabulí
n_v	[ks]	počet výstřížků z pásu plechu (svitku)
n_{vh}	[ks]	počet výstřížků za hodinu
n_{vs}	[ks]	počet směn na zhotovení série
n_{zs}	[min ⁻¹]	počet zdvihů lisu pro střížný nástroj
n_{zo}	[min ⁻¹]	počet zdvihů lisu pro ohýbací nástroj
N_{ener}	[kč]	náklady na energii
N_{fix}	[kč]	fixní náklady
N_v	[kč]	náklady na jednu kotevní patku
N_{var}	[kč]	variabilní náklady
N_{zsk}	[kč]	náklady na výlisek se ziskem
M_o	[kč]	přímá mzda obsluhy
P_{lis}	[kW]	příkon lisu
R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu
R_m	[Mpa]	mez pevnosti materiálu
R_{max}	[mm]	maximální poloměr ohybu
R_{min}	[mm]	minimální poloměr ohybu
R_o	[mm]	poloměr ohybu
r_p	[mm]	poloměr ohybníku
s	[mm]	tloušťka plechu
S	[mm ²]	střížná plocha
S_{max}	[mm]	maximální tloušťka ohýbaného plechu
S_{po}	[mm ²]	plocha polotovaru
S_s	[mm ²]	plocha střížníku na opěrné desce
S_{sr}	[kč]	správní režie
S_v	[mm ²]	plocha jednoho výstřížku
S_{vs}	[mm ²]	plocha výstřížku kotevní patky
\check{S}	[mm]	šířka pásu
t_k	[hod]	kontrolní čas
t_p	[hod]	čas nutný na zavedení nových pruhů
t_{sm}	[hod]	doba jedné pracovní doby
v	[mm]	střížná vůle

Symbol	Jednotka	Legenda
V	[mm ³]	objem plechu
V_{vr}	[kč]	výrobní režie
$v/2$	[mm]	střižná mezera
v_o	[mm]	vůle při ohýbání
x	[-]	posun neutrální osy
x_5	[mm]	rameno střižné síly posledního kroku
y_p	[mm]	rameno síly přidržovače
Z	[-]	bod zvratu
Z_{rok}	[kč]	roční zisk

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Příklady plošně tvářených výrobků [16], [17], [31].....	9
Obr. 2 Kotvící patka tvaru U [29].....	10
Obr. 3 Kotvící patka tvaru U s prolisem stavitelná [23].....	10
Obr. 4 Kotevní hrot [23].....	10
Obr. 5 Zemní vrut [23].....	10
Obr. 6 Navržený tvar kotevní patky.....	11
Obr. 7 Kotvení stavitelné.....	11
Obr. 8 Kotvení přímé.....	11
Obr. 9 Svařování v ochranné atmosféře [26].....	12
Obr. 10 Vodní paprsek [30].....	13
Obr. 11 Řezání laserem [10].....	13
Obr. 12 Přesné vystříhování [21].....	13
Obr. 13 Postupový nástroj firmy FaMTools [11].....	14
Obr. 14 Běžné stříhání [21].....	14
Obr. 15 Jednoduchého ohýbání do tvaru U [2].....	15
Obr. 16 Ohyb na ohraňovacím lisu [12].....	15
Obr. 17 První fáze stříhu [4].....	16
Obr. 18 Druhá fáze stříhu [4].....	16
Obr. 19 Třetí fáze stříhání [4].....	16
Obr. 20 Tvar střížné plochy a jednotlivá pásma stříhání [2]	17
Obr. 21 Schéma napjatosti a deformace při uzavřeném stříhání a děrování [19].....	17
Obr. 22 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [4].....	18
Obr. 23 Průběh střížné síly [19].....	19
Obr. 24 Příklady úprav střížníků ke snížení střížné síly [19].....	20
Obr. 25 Graf ke stanovení součinitele plnosti [13].....	20
Obr. 26 Seskupení výstřížků [14].....	21
Obr. 27 Typy nástřihových plánů [2].....	21
Obr. 28 Můstek a postranní odpad výstřížku [14].....	21
Obr. 29 Vzdálenost otvorů od okraje a mezi otvory [4].....	23
Obr. 30 Schéma střížného nástroje [22].....	23
Obr. 31 Upínání střížníků [21].....	24
Obr. 32 Upínání malých střížníků [21].....	24
Obr. 33 Příklady vložkovaných střížnic [22].....	25
Obr. 34 Otvor ve střížnici [21].....	25
Obr. 35 Příklady dorazů [22].....	26
Obr. 36 Schéma ohybu momentem a osamělou silou [2].....	27
Obr. 37 Průběh ohýbání v nástroji [19].....	28
Obr. 38 Schéma ohýbání [19].....	28
Obr. 39 Schéma jednoduchého ohýbání do tvaru „U,, a „V,, [2].....	29
Obr. 40 Úhel odpružení [2].....	29
Obr. 41 Příklady konstrukčních úprav střížníků pro eliminaci odpružení [2].....	29

Obr. 42 Průběh ohybové síly a práce [19].....	30
Obr. 43 Kóta lu [2].....	31
Obr. 44 Technologičnost výlisků [19].....	32
Obr. 45 Příklad ohýbacího nástroje.....	32
Obr. 46 Náskres kotevní patky.....	33
Obr. 47 Kotvící patka po vystřížení.....	33
Obr. 48 Proces ohybu kotvící patky.....	33
Obr. 49 Rozvinutá délka kotevní patky.....	34
Obr. 50 Délka oblouku.....	34
Obr. 51 Umístění výstřížku – 1.varianta.....	35
Obr. 52 Umístění výstřížku – 2.varianta.....	35
Obr. 53 Dělení tabule.....	35
Obr. 54 Rozměry výstřížku.....	35
Obr. 55 Nástřihový plán.....	36
Obr. 56 Střížník 30x5mm.....	37
Obr. 57 Eliminace klopného momentu.....	37
Obr. 58 Zešikmení střížníku.....	38
Obr. 59 Plynová pružina [3].....	38
Obr. 60 Tolerované otvory v součásti.....	39
Obr. 61 Těžiště střížného nástroje.....	40
Obr. 62 Spodní díl střížného nástroje.....	41
Obr. 63 Horní díl střížného nástroje.....	42
Obr. 64 Střížný nástroj.....	42
Obr. 65 Zvolený lis [15].....	43
Obr. 66 Střížníko-ohybník.....	43
Obr. 67 Kotevní patka po prvním ohýbacím kroku.....	43
Obr. 68 Těžiště sil ohýbacího nástroje.....	45
Obr. 69 Spodní část ohýbacího nástroje.....	46
Obr. 70 Horní díl ohýbacího nástroje.....	46
Obr. 71 Ohýbací nástroj.....	46
Obr. 72 Průběh žárového zinkování s odstřed'ováním [9].....	47
Tab. 1 Chemické složení a základní mechanické vlastnosti oceli 1.0038 [5], [24].....	12
Tab. 2 Skosení střížných hran [19].....	20
Tab. 3 Největší rozměry otvorů [4].....	23
Tab. 4 Otvor střížnice [21].....	25
Tab. 5 Doporučené materiály pro střížné nástroje [4].....	26
Tab. 6 Určení posunutí neutrální osy x [8].....	28
Tab. 7 Hodnota koeficientu c_0 [22].....	30
Tab. 8 Využití dostupných formátů plechu v závislosti na směru dělení.....	36
Tab. 9 Velikost jmenovitých rozměrů střížníků a střížnic.....	40

SEZNAM VÝKRESŮ

2015 – 152650 – BP – A3 – 01,00	Kotevní patka
2015 – 152650 – BP – A2 – 02,00	Střížný nástroj
2015 – 152650 – BP – A2 – 03,00	Ohýbací nástroj
2015 – 152650 – BP – A2 – 04,00	Střížnice
2015 – 152650 – BP – A4 – 05,00	Střížník 1K
2015 – 152650 – BP – A3 – 06,00	Střížník 2K-L
2015 – 152650 – BP – A2 – 07,00	Ohybnice 2K
2015 – 152650 – BP – A3 – 08,00	Vložka ohybnice 2K
2015 – 152650 – BP – A3 – 09,00	Ohybník 2K

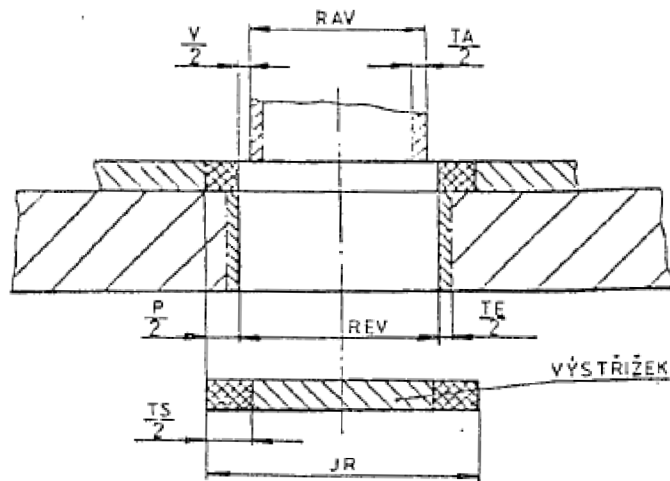
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Všeobecné tolerance délkových a úhlových rozměrů DIN ISO 2768MK
Příloha 2	Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníků a střížnice při děrování dle ČSN 22 6015
Příloha 3	Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

PŘÍLOHA 1 [7]

Všeobecné tolerance délkových a úhlových ROZMĚRY (DIN ISO 2768 T1)
Lineárních rozměrů:

Přípustné odchylky v mm se pohybuje v jmenovité délky	F (fine)	Toleranční třída určení (popis)		V (velmi hrubý)
		M (medium)	c (hrubá)	
0,5 až 3	± 0,05	± 0,1	± 0,2	-
po dobu 3 až 6	± 0,05	± 0,1	± 0,3	± 0,5
více než 6 až 30	± 0,1	± 0,2	± 0,5	± 1,0
více než 30 až 120	± 0,15	± 0,3	± 0,8	± 1,5
více než 120 až 400	± 0,2	± 0,5	± 1,2	± 2,5
více než 400 až 1000	± 0,3	± 0,8	± 2,0	± 4,0
přes 1000 do 2000	± 0,5	± 1,2	± 3,0	± 6,0
přes 2000 do 4000	-	± 2,0	± 4,0	± 8,0



Obr. 6. Vystřihování

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

Opoťe- nění rozměry:	Orien- tace odchylek TS	Technologicky základní část			
		Střížnice	*)	Střížník	**)
Zvětšuje (např.: A ₁ , B ₁ , C ₁ , E ₁ obr. 3)	+	$REV = (JR) + TE$	$RAV = (REV + TA) - TA$	$RAV = (JR - V + TA) - TA$	$REV = (RAV + V + TE) + TE$
	-	$REV = (JR - P) + TE$		$RAV = (JR - P - V + TA) - TA$	
	±	$REV = (JR - \frac{P}{2}) + TE$		$RAV = (JR - \frac{P}{2} - V + TA) - TA$	
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 | TS — tolerance jmenovitého rozměru |
| RAV — rozměr střížníku při vystřihování | P — přípustná míra opotřebení |
| JR — jmenovitý rozměr součástí | TE — výrobní tolerance střížnice |
| V — střížná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy) | TA — výrobní tolerance střížníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy) |

PŘÍLOHA 3 [6]

Příloha k ČSN 22 6015

Tab. 18. Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

Rozměry v mm

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížnisku - 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	0,043	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	0,058
0,280	0,300	0,230	0,089	0,059
0,300	0,320	0,250	0,100	0,060
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	0,360	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