



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOTEVNÍHO PRVKU

MANUFACTURING OF WALL CLAMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL MALEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Maleček

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 kotevního prvku

v anglickém jazyce:

Manufacturing of wall clamp

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby kotevního prvku z 2 mm ocelového plechu. Součástka je prostorového tvaru s několika otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

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.
6. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

MALEČEK Michal: Výroba kotevního prvku

Kotevní prvek slouží k uchycení terasového prkna na hranol nosné konstrukce. Je vyráběn z ocelového plechu 11 375.20 tloušťky 2 mm s výrobní sérií 150 000 ks/rok. Z variantního řešení byla jako nejoptimálnější technologie výroby zvolena kombinace stříhání s ohýbáním ve sdruženém nástroji. Na základě technologických a konstrukčních výpočtů byl navržen nástroj se spodním přidržovačem v místě ohybu, pro které byla zpracována základní výkresová dokumentace. Z celkové tvářecí síly a práce byl pro výrobu zvolen lis LEN 40 C (výrobce TOMA INDUSTRIES s.r.o.) se jmenovitou silou 250 kN. Z ekonomického zhodnocení byly stanoveny nutné výrobní náklady jedné součásti a dle bodu zvratu se výroba stává ziskovou pro sérii větší než 89 196 ks.

Klíčová slova: Ocel 11 375, stříhání, ohýbání, sdružený postupový nástroj

ABSTRACT

MALEČEK Michal: Manufacturing of wall clamp

A wall clamp is used for attachment of terrace board to supporting structure. The discussed part is manufactured from sheet metal 11 375.20 which is 2 mm thick. The production series will be 150,000 pieces per year. A combination of shearing and bending in the combined tool was selected from a variant solution as the most suitable technology of manufacturing. Based on technological and structural calculations, a tool was designed with lower pressure pad at the bend point. For this tool was also made fundamental drawings. In view of the total moulding force and work, LEN 40 C press with the nominal force 250 kN (manufactured by TOMA INDUSTRIES s.r.o.) was selected. Necessary manufacturing costs of one part were determined from an economic evaluation. According to a break-even point, the manufacturing becomes profitable for a series of more than 89 196 pieces.

Keywords: 11 375 steel, shearing, bending, transfer combined tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MALEČEK Michal. *Výroba kotevního prvku*. Brno, 2013. 48s, 7 výkresů, 2 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci Výroba kotevního prvku vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Také děkuji mé rodině za značnou duševní a finanční podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografické citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI	10
1.1 Volba vhodného způsobu výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	13
2.1 Stříhání	13
2.1.1 Rozbor stavu napjatosti a deformace při stříhu	15
2.1.2 Střížná síla a práce	16
2.1.3 Technologičnost součásti při stříhání	18
2.1.4 Nástřihový plán	19
2.2 Ohýbání	20
2.2.1 Neutrální vrstva, minimální a maximální poloměr ohybu	21
2.2.2 Odpružení a vůle	23
2.2.3 Ohybová síla a práce	24
2.2.4 Technologičnost součásti	26
2.3 Nástroje a stroje	27
2.3.1 Nástroje pro stříhání	27
2.3.2 Střížnice	28
2.3.3 Střížníky	29
2.3.4 Nástroje pro ohýbání	30
2.3.5 Stroje	31
3 VÝROBA SOUČÁSTI	33
3.1 Nástřihový plán a technologie výroby	34
3.2 Návrh nástroje	37
3.2.1 Výpočet střížné části	38
3.2.2 Výpočet ohybové části	41
3.2.3 Poloha stopky	42
3.2.4 Popis nástroje	43
3.3 Volba stroje	44
4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	45
ZÁVĚR	48

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam výkresů

Seznam příloh

ÚVOD [7], [30]

Ve strojírenství se využívá velké množství rozdílných technologií, ale ne všechny jsou vždy výhodné. Neustálý nárůst požadavků na přesnost, výrobnost a hospodárnost procesů nutí firmy k vývoji a uplatňování nových modernějších technologií. Tímto vzniká prostor zejména pro technologii tváření, která oproti konvenčnímu obrábění a ostatním metodám výroby dokáže zajistit velmi nízkou spotřebu materiálu, nízké výrobní náklady a časy výroby. Zároveň ale zachovává vysokou produktivitu práce a kvalitu výrobků. Pro své vlastnosti je tedy podstatnou součástí moderního průmyslu.

Technologie tváření lze rozdělit na objemové, které se zabývají pýchováním, kováním a protlačováním, a plošné zabývající se stříháním, ohýbáním, hlubokým tažením a rovnáním.

Dále se ve své práci budu věnovat již jen plošnému tváření, které zpracovává materiál zejména ve formě plechu, jehož tloušťka se během procesu výrazně mění. Nejrozšířenějšími metodami plošného tváření jsou stříhání a ohýbání, které se používají ve většině technologických postupů výroby.

Nástroje pro tváření jsou konstruovány tak, aby při jejich použití bylo dosaženo co možná největšího využití materiálu. Vzhledem k úspoře materiálu a vyšší výrobní rychlosti jsou ve výsledku cenově srovnatelné s ostatními technologiemi. Efektivitu výroby lze navíc ještě zvýšit použitím sdružených nástrojů.

Na obrázku 1 jsou příklady kotevnic prvků vyrobených stříháním a ohýbáním, kombinací stříhání s lisováním plastů nebo jen lisováním plastů.



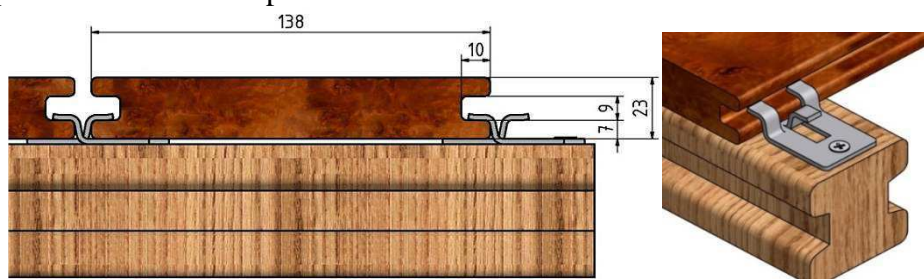
Obr. 1 Kotevní přípravky různých typů [28]

1 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI [5], [13], [18], [23], [26], [29], [30], [38]

Řešenou součástí je kotevní prvek (klip) pro upevnění terasových prken na hranol nosné konstrukce, pomocí jednoho vrutu o rozměrech 3,5x35 mm (Obr. 2). Roční produkce bude 150 000 ks. Klip musí zaručit dostatečné ukotvení, správnou pozici a minimalizovat dopady neodborné montáže na životnost prkna i celé terasy. Podle výrobce je nutné, aby mezi jednotlivými prkny byla dilatační spára minimálně 5 mm, kterou musí zajistit konstrukce klipu. Při montáži je klip zasunut do drážky v prkně (obr. 3), která je 9 mm vysoká a 10 mm hluboká, a je umístěna 7 mm od spodní části prkna. Součást je vyrobená z plechu o tloušťce 2 mm vyhnutím nosné části o 80°. Na jedné straně klipu je otvor pro vrut o průměru 5 mm. Tento klip má celkové rozměry 49x27 mm a prostor upínací části pro prkna má výšku 7,2 mm. Při stavbě terasy je na 1 m² spotřeba zhruba 20 klipů.



Obr. 2 Klip s vrutem [38]



Obr. 3 Použití klipu

Volba materiálu klipu je ovlivněna především cenou výsledného kusu a stálostí materiálu. Mechanické vlastnosti zde nejsou prioritou, protože kus bude namáhán jen minimálně. Klip musí odolávat povětrnostním podmínkám po celou dobu životnosti terasy a nesmí poškodit prkno, které drží. Pro výrobu je tedy nutné použít stálé materiály jako plast, korozivzdornou ocel nebo ocel třídy 11 s vhodnou povrchovou úpravou. Z důvodu nedostupnosti vstříkolisu na plasty bude součást vyráběna z oceli. Vhodnou volbou je běžně dostupný ocelový plech z nerezavějící oceli nebo plech z konstrukční oceli třídy 11 s následným žárovým zinkováním. Pro povlakované oceli pak platí, že doba, po kterou ji povlak chrání je přímo úměrná jeho tloušťce, proto je volena ocel s vhodnou přilnavostí zinku. Vhodné oceli jsou uvedeny v tabulce 1 a v tabulce 2. Další uvažované oceli jsou.

Tab. 1 Ocelové plechy na výrobu klipu [18], [23]

Název	Materiál		Cena za 1 kg [Kč]
	Wst.Nr.	Obdoba v ČSN	
Plech válcovaný za studena	1.4016	17 040	45,5 až 47,5
Plech válcovaný za tepla	1.0038	11 375	23,0 až 17

Tab. 2 Vlastnosti ocelových plechů na výrobu klipu [28], [30]

Ocel	Pevnost			Tažnost [%]
	R _{eH} [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	
1.4016	-	260	430 až 630	20
1.0038	235	-	440	24

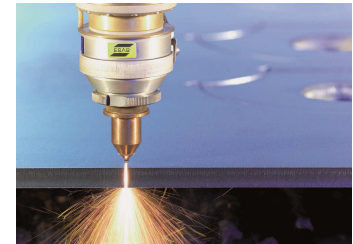
Navržený plech z konstrukční oceli je volen podle jeho mechanických vlastností a vhodnosti pro žárové zinkování. O volbě materiálu rozhodla především cena. Cenu ocelového plechu je třeba navýšit o cenu žárového zinkování, která bude zhruba 9 Kč za 1 kg. Cena plechu z oceli 11 375 je i s cenou zinkování nižší než cena nerezového plechu, a proto je zvolen tento materiál, který je dodáván v provedení 11 375.20.

1.1 Volba vhodného způsobu výroby [11], [15], [17], [20], [21], [27], [31], [32], [33]

Pro výrobu dané součásti je nutno vybrat vhodnou metodu. K dispozici je velká škála moderních technologií. Pro efektivní výrobu je nutno zvolit takovou technologii, která bude nejlépe odpovídat požadavkům z hlediska kvality, ceny a množství vyráběných součástí. Součást může být vyráběna nekonvenčními nebo konvenčními technologiemi. Z nekonvenčních technologií pak lze použít řezání laserem, vodním paprskem nebo stříhání nepevným nástrojem. Z konvenčních technologií lze použít stříhání a následné ohýbání nebo stříhání a ohýbání ve sloučeném nástroji.

- Řezání laserem s následným ohýbáním.

Laser je paprsek světla o přesně specifikovaných vlastnostech. Je zaměřen na velmi malou plochu, kde způsobuje natavení a při vyšším výkonu také odpaření materiálů, na který dopadá (obr. 4). V technické praxi se pro řezání obvykle používají CO₂ a Nd-YAG lasery, nově i pro plechy do 3 mm lasery vláknové. Kvalita řezu, kterou jsme schopni dosáhnout při použití laseru, se pohybuje okolo Ra = 3,2 až 12,5 μm s velikostí řezné spáry 0,02 až 1,0 mm a tepelně ovlivněnou oblastí TOO přibližně 0,05 až 0,2 mm. Při použití CO₂ laseru je tloušťka řezaného materiálu pro konstrukční ocel do 25 mm a u korozivzdorné oceli do 10 mm. Laser Nd-YAG řeže konstrukční oceli do tloušťky 6 mm a korozivzdorné oceli do 3 mm. Po řezání laserem bude součást ohnuta v ohýbacím nástroji do konečné podoby. Ohýbání je proces tváření, který vytváří trvalé deformace bez výrazné změny průřezu. Tento proces je limitován vlastnostmi ohýbaného materiálu a to především anizotropií a plasticitou, což ovlivní výsledný tvar a přesnost součástí. Přesnost ohýbané součásti také závisí na přesnosti výchozího polotovaru a na přesnosti nástroje. Laserů se využívá především tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na změnu struktury v TOO a její velikost, také na velikost řezné spáry. Nevýhodou této technologie jsou poměrně vysoké pořizovací náklady, a proto se vyplatí u tvarově složitých a jinak komplikovaných součástí, které je obtížné nebo nemožné vyrobit jinou metodou. Pro řešenou součást ale není tato technologie vhodná.



Obr. 4 Řezání laserem [12]

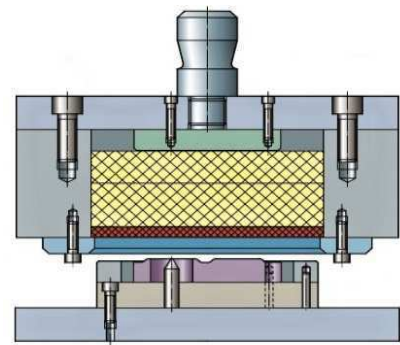
- Řezání vodním paprskem s následným ohýbáním.

Vodní paprsek (obr. 5) je proud kapaliny o malém průměru a vysokém tlaku, který odtrhává částice řezaného materiálu působením erozivních pochodů. Pro zvýšení účinnosti se přidává do řezné kapaliny abrazivní materiál. Technologie řezání vodním paprskem se vyznačuje schopností dělit materiál bez tepelných účinků v řezu. Vodním paprskem je možné řezat většinu materiálů, které se jinými technologiemi nedají zpracovávat. Tento způsob řezání umožňuje dosahovat řezných spár 1,35 až 0,3 mm při síle materiálu do 250 mm. Po řezání vodním paprskem bude součást ohýbána, jak již bylo zmíněno u předchozí technologie. Použití vodního paprsku je výhodné v případě, kdy nelze použít jiné technologie kvůli tloušťce a typu řezaného materiálu nebo tehdy, je-li nutno odstranit z řezu tepelné a deformační účinky. Vodní paprsek není vhodný pro přesné obrábění již zpracovaných dílů a vyšší série součástí, které lze uskutečnit levněji jinými technologiemi. Není vhodný také tam, kde je požadovaná vysoká přesnost bez následného dokončování. Z těchto důvodů je tato technologie pro řešenou součást nevhodná.



Obr. 5 Řezání vodním paprskem [15]

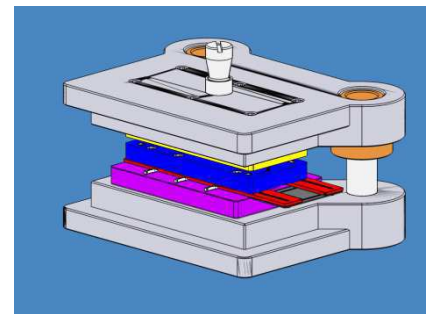
- Stříhání a ohýbání uzavřeným nepevným nástrojem.
V tomto případě se jedná o metodu Guerin (obr. 6), kdy se nástrojem z pryže nebo elastomeru stříhá a ohýbá v lisovnicku z oceli. Volené vlastnosti elastického materiálu jsou proměnné v závislosti na typu prováděné operace. Pro stříhání a ohýbání se tvrdost použitého pružného materiálu pohybuje mezi 75 až 95 Sh. Při použití nástroje vyrobeného z pryže může být lisovací tlak do 50 MPa; je také schopen krátkodobě odolávat teplotám až do 300°C. Oproti tomu má polyuretanový nástroj vyšší životnost a pracovní tlaky, ale teplota jeho použití je zhruba do 70°C. Výhoda této technologie je univerzálnost nástroje a snížení nákladů nahrazením části drahého konvenčního nástroje pružným blokem. Nepevný nástroj vyžaduje použití větších lisů bez možnosti zpracovávat silnější a tvrdší materiály. Tuto metodu lze však s výhodou uplatnit pro výrobu prototypů a malých sérií. Pro zmíněné vlastnosti je tedy tato metoda nevhodná pro výrobu řešené součásti.



Obr. 6 Metoda Guerin [14]

- Stříhání a ohýbání konvenčním nástrojem.

Poslední metodou je stříhání v nástroji s konvenčním střížníkem a střížnicí, který částečně prostříhne materiál v požadovaném tvaru. Po nastřížení je následně tento polotovar ohnut na konečný tvar. Touto metodou lze dosáhnout přesnosti stříhaných rozměrů IT 12 až 14 a při použití vodícího stojánu se přesnost zvýší na IT 9 až 11. U stříhání otvorů o malém průměru je běžná nejmenší velikost tohoto otvoru rovna tloušťce stříhaného materiálu. Při ohýbání nesmí hodnota rádiusu v ohybu být menší, než je pro daný plech minimální poloměr ohybu. Tato metoda je pro výrobu řešené součásti z hlediska sériovosti a přesnosti výroby vhodná. Stříhání a ohýbání konvenčním nástrojem nabízí dvě varianty, kterými by bylo možno zhotovit řešenou součást. U první bude součást nejdříve prostřížena a v druhém nástroji ohnuta. Druhou variantou je použití sloučeného nástroje, který na jeden chod stroje prostříhne a zároveň ohne tvar součásti do konečného tvaru.



Obr. 7 Postupový nástroj

Ze zhodnocení vybraných technologií plyne, že nejvhodnější metodou pro výrobu řešené součásti je stříhání a ohýbání v konvenčním nástroji. Tato technologie nabízí několik možných variant výroby, z nichž je nevhodnější sloučený nástroj. Při použití této varianty bude ušetřen materiál, který by byl potřeba na výrobu dalších nástrojů. Proto bude řešená součást vyráběna stříháním a ohýbáním ve sdruženém nástroji z ocelového plechu 11 503, který bude po zpracování žárově zinkován. Na stříhání a ohýbání bude zaměřena technologická studie.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [21]

Stříhání a ohýbání je jednou ze základních metod zpracovávání plechů ve strojírenství. Nástroj pro realizaci stříhu a ohybu má dvě základní části, pohyblivou a pevnou. Pohyblivá část působí silou na těleso umístěné na pevné části, která zajišťuje správnou polohu součásti.

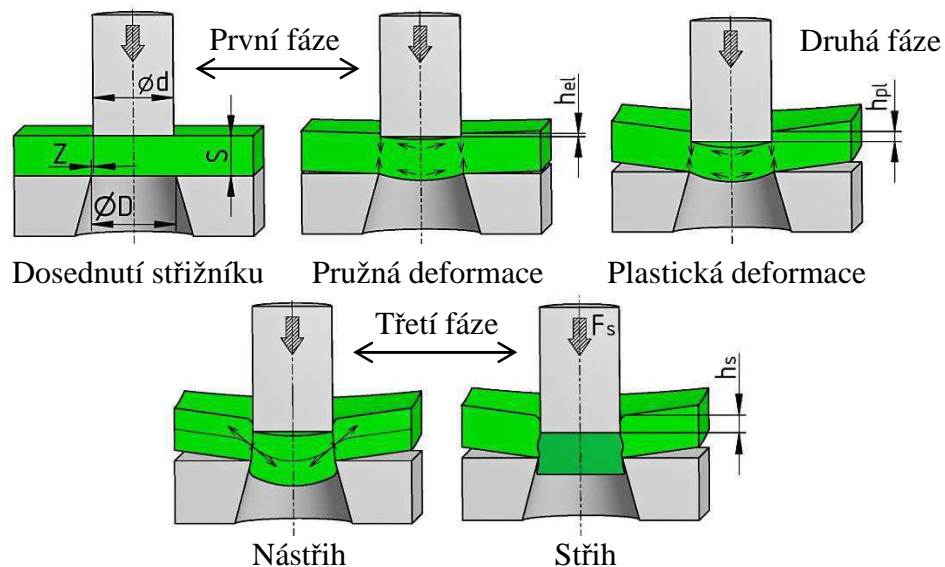
2.1 Stříhání [1], [7], [8], [16], [35]

Stříhání je dělení materiálu na dvě a více částí. V průběhu procesu stříhání dochází k porušení soudržnosti zpracovávaného materiálu za působení plastické deformace vyvolané střížným nástrojem. Samotný stříh vzniká působením dvou protilehlých pohybujících se břitů na materiál mezi nimi, což je zakončeno postupným nebo současným rozdělením po křivce stříhu. Křivka stříhu má tvar obvodu součásti, který má být vystřižen. Stříhání můžeme rozdělit na několik základních operací. A to na klasické stříhání, děrování, vystřihování, přistřihování, ostřihování, nastřihování, prostřihování a natrhávání.

Procesy probíhající při stříhání mohou být rozděleny na tři základní fáze podle účinků vyvolaných v polotovaru (obr. 8).

V první fázi dochází k dosednutí střížníku na obrobek a k počátečním deformacím v povrchu stříhaného materiálu. Postupným vnikáním nástroje do materiálu dochází ke vzniku pružných (elastických) deformací až dojde k dosažení meze pružnosti Re . Hloubka vniku střížníku v této fázi bývá $h_{el} = (5 \text{ až } 8\%)s$ v závislosti na vlastnostech děleného materiálu. Vnikání nástroje do materiálu působí druhotný nežádoucí ohyb stříhaného materiálu. Tento ohyb vzniká v důsledku momentových účinků vyvolaných postupem nástroje a vytváří deformace.

V druhé fázi je pohybujícím se střížníkem překročena mez kluzu kovu a dochází k trvalým deformacím s počátečním oddělováním částic kovu. Tato fáze má za následek nejkvalitnější část povrchu stříhu. Hloubka vniku nástroje je v této fázi $h_{pl} = (10 \text{ až } 25\%)s$ v závislosti na vlastnostech stříhaného materiálu.

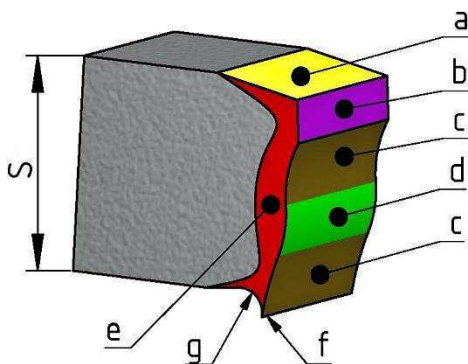


Obr. 8 Průběh stříhání [16]

Ve třetí fázi (obr. 8) napětí působené nástrojem dosáhne meze pevnosti ve stříhu materiálu a začnou se tvořit trhliny ve směru vláken. Tato část se nazývá nástřih. Pokračující postup nástroje způsobí přechod do konečného stádia nazývaného stříh, kde dochází k rychlému šíření trhlín a k jejich spojení, což způsobí úplné oddělení stříhaného materiálu za vzniku střížné plochy. K oddělení dojde dříve, než se oba nože setkají a to při hloubce vniku nástroje $h_s = (10 \text{ až } 60\%)s$. Dalším postupem nástroje je oddělený materiál jen odsunut z místa stříhu a celý proces končí.

Kvalitu plochy vzniklé stříhem ovlivňuje hned několik parametrů. Mezi nejdůležitější parametry patří mechanické vlastnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťka, velikost střížné vůle, technologie stříhání a s tím spojený typ nástroje, jeho přesnost a rychlost. Kvalita, ale především přesnost stříhané součásti, je velkou měrou závislá na přesnosti nástroje. Pokud má mít součást odpovídající přesnost, je nutné vyrobit nástroj minimálně o dvě až čtyři třídy přesněji, než je požadováno na hotové součásti.

Vzniklou střížnou plochu (obr. 9) lze rozdělit na sedm oblastí, které vznikají během stříhu. Tyto oblasti ovlivňují jakost střížné plochy, přesnost výstřížku a nutnost dalšího zpracování. Velikost a rozložení těchto oblastí je závislá na parametrech stříhu.



Obr. 9 Vzhled střížné plochy [7]

První oblastí je oblast zeslabení tloušťky (a). Tato část střížné plochy vzniká přechováním stříhaného materiálu, na který působí nástroj, a bývá (5 až 8%)s. Další je oblast plastického stříhu (b). Tato oblast střížné plochy je nejkvalitnější a vzniká při plastické deformaci vyvolané nástrojem během druhé fáze stříhu. Velikost této plochy je (10 až 40%)s. Poté vzniká oblast lomu (c), která je rozdělena na dvě části. Tato plocha vzniká po překročení meze kluzu stříhaného materiálu. Její tvar je podobný písmenu S a její horní část je vydutá směrem do materiálu. Velikost této části je ovlivněna velikostí střížné vůle.

Pokud je střížná vůle velká, pak je tato část zkosená. Zmenšováním střížné vůle se zvětšuje prohloubení horní části a tedy i esovitost. Tuto plochu rozděluje oblast otěru (d), která vzniká otěrem nástroje o vzniklou střížnou plochu. Dále vzniká směrem do materiálů oblast zpevnění (e). Tato oblast vzniká a zvětšuje se při poklesu tvárnosti stříhaného materiálu a při otupení nástroje. Velikost této oblasti je u měkkých ocelových plechů (20 až 30%)s. Na spodní straně polotovaru vzniká působením plastické deformace ve střížné vůli ořep (f). Velikost ořepu, je ovlivněna otupením nástroje a tvárností stříhaného materiálu. Poslední plocha vzniklá na obrobku, je oblast vtisku spodního nože (g). Vznik a velikost této plochy souvisí s velikostí a orientací úhlu čela spodního nože. Tato část vzniká vtačením ostří spodního nože do stříhaného materiálu při stříhu.

Kvalita střížné plochy je do značné míry také ovlivněna mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu a to v druhé a třetí fázi stříhu. Trhliny vzniklé smykovým namáháním ve třetí fázi stříhu se spojují a postupně dochází k oddělení stříhaného materiálu. Rychlost oddělení materiálu a tedy i rychlost vzniku a šíření trhlin závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Měkké a houževnaté materiály brání vzniku a šíření trhlin, díky čemuž dojde k ustřížení mnohem později, než u materiálů tvrdých a křehkých. Zároveň hloubka vniku nástroje do polotovaru h_s (obr. 8) je u měkkých materiálů větší a činní až 60% s, zatím co u materiálů tvrdých je tato hloubka zhruba 10% s. Se zvyšující se tvrdostí stříhaného materiálu se snižuje kvalita střížné plochy.

Kvalitu stříhu také ovlivní velikost střížné vůle (obr. 8). Velikost střížné vůle v je závislá na tloušťce stříhaného materiálu a na jeho mechanických vlastnostech. Střížnou vůli je možno určit ze vztahů (2.1) a (2.2).

Velikost střížné vůle pro plechy s tloušťkou $s \leq 3$ mm (2.1)

$$z = \frac{v}{2} = c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: z [mm]

c_s [-]

τ_s [MPa]

– střížná mezera,

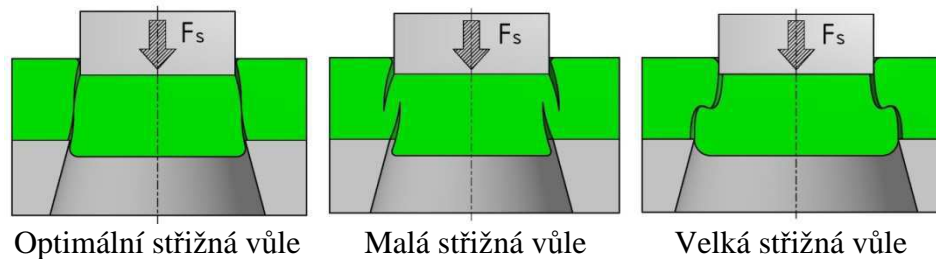
– (0,005 až 0,025) koeficient závislý na stupni stříhu (pro vyšší kvalitu střížné plochy bude volena nižší hodnota),

– střížný odpor ($\tau_s = 0,8Re$)

Velikost střížné vůle pro plechy s tloušťkou $s \geq 3$ mm (2.2)

$$z = \frac{v}{2} = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

Ze vztahů uvedených výše bude tedy určena velikost střížné vůle. Velikost této vůle má být co nejmenší, ale musí také zajistit kvalitní střížnou plochu a nízkou střížnou sílu. Při optimální velikosti střížné vůle se po nástřihu materiálu trhliny šíří tak, že se setkají v okamžiku stříhu na co nejkratší vzdálenosti. Střížná plocha vzniklá při optimální střížné vůli je na obrázku 9. Velikost střížné vůle může být menší nebo větší než je optimální střížná vůle, což se projeví na střížné ploše zvětšením pásma otěru. Při nastavení nevhodných rozměrů střížné vůle se výrazně zhorší kvalita výsledné plochy. Pokud je střížná vůle malá, dochází ke zhoršení kvality střížné plochy a nárůstu střížné síly a práce. Malá vůle také zmenšuje velikost otřepů a ohyb, vzniklý v první fázi stříhu. Při velké střížné vůli bude docházet k většímu ohýbání a vtahování součásti do střížné mezery. Velká vůle zhoršuje kvalitu povrchu, zvětšuje velikost otřepu a nadměrně zatěžuje nástroj. Průběh tvorby stříhu u zmíněných velikostí střížné vůle je znázorněn na obrázku 10.



Obr. 10 Střížná vůle [4]

Dále také kvalitu střížné plochy ovlivní rychlost stříhání. Rychlost stříhu a tedy i rychlost beranu ovlivní nejen kvalitu střížné plochy, ale i střížnou práci a délku životnosti nástroje. Zvýšení střížné rychlosti až ke kritické nárazové rychlosti vede k zmenšení oblasti přetvoření a trvalých deformací. Pokud bude rychlost stříhu větší, než je rychlost kritická pro daný materiál, dojde k navýšení oblasti zasažené deformacemi. Velikost kritické rychlosti je pro každý stříhaný materiál jiná. Při dosažení této rychlosti se mění materiál z houževnatého na křehký.

2.1.1 Rozbor stavu napjatosti a deformace při stříhu [16]

Během stříhání prochází materiál třemi stavy. Jedná se o stav pružných deformací, plastických deformací a porušení materiálu, které byly zmíněny již dříve v kapitole 2.1. Při volném stříhání platí přibližně rovinný stav napjatosti a deformace. Proto je možné z podmínky plasticity odvodit vztah pro napětí ve stříhu (střížný odpor) τ_s potřebné pro porušení soudržnosti materiálu (2.3).

Napětí ve stříhu (2.3)

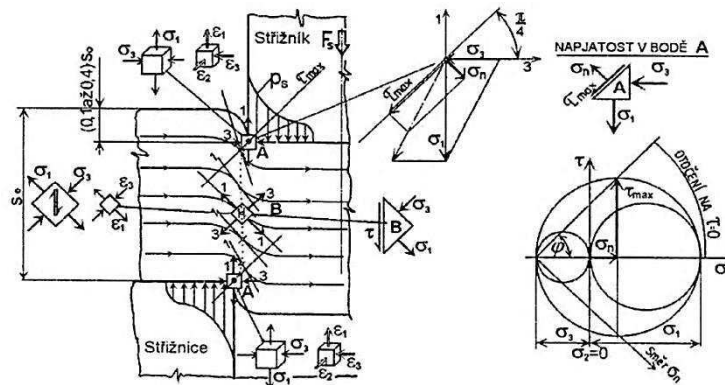
$$\tau_s = \sigma_1 = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

kde: σ_1 [MPa] – napětí ve směru stříhu,

R_m [MPa] – mez pevnosti stříhaného materiálu $R_m = \sigma_p$,

Hodnota napětí ve stříhu se mění podle druhu materiálu a jeho tloušťky a může být $\tau_s = (0,55 \text{ až } 0,9) R_m$, ale obvykle se používá $\tau_s = 0,8 R_m$. Dále u volného stříhání vznikají působením střížné mezery a střížných sil momentové účinky působící na obrobek. Tyto účinky způsobují deformace a následný ohyb stříhaného materiálu a při větší mezeře může dojít k přetočení a vklínění stříhaného plechu mezi nože. Tyto účinky lze do rovnováhy uvést použitím přidržovací síly, která zabrání nežádoucímu kroucení plechu.

Uzavřené stříhání nebo děrování (křivka stříhu tvoří uzavřený obrazec) také vytváří momentové účinky, které mohou způsobit trvalé deformace. Střížná síla je navýšena o tření vzniklé mezi střížným nástrojem a střížnými plochami. Vzájemným pohybem břitů je materiál mezi nimi natahován a současně vytláčován do stran. Toto vede k prodlužování a změnám křivosti podélných vrstevnic (obr. 11), přičemž se zmenšuje tloušťka plechu mezi břitů.

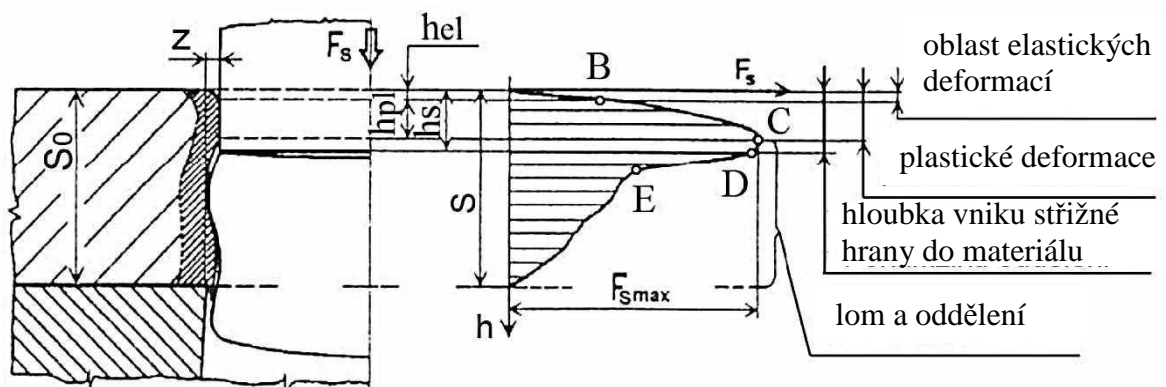


Obr. 11 Schéma napjatosti a deformace při stříhu [16]

Na schéma stříhu, v místě bodu A je největší tahové napětí, které může být definováno vztahem (2.3). U volného stříhání je $\sigma_2 = 0$, tedy stav napjatosti je rovinný. U uzavřeného stříhání je střední napětí nenulové, a proto v bodě A vzniká prostorový stav deformace (Obr. 11). Vlivem změny tvaru a průběhu vrstevnic plechu dochází ke změně orientace roviny maximálního smykového napětí τ_{max} . Směrem do středu střížné plochy k bodu B se mění poměr hlavních střížných napětí σ_1 a σ_2 , takže v tomto bodě jsou jejich velikosti totožné. Pak jsou v bodě B splněny podmínky prostého smyku a platí tu rovinný stav napjatosti $\sigma_2 = 0$. Výsledkem těchto deformačních a napěťových účinků je vznik střížné plochy tvaru S.

2.1.2 Střížná síla a práce [1], [16], [35]

U stříhání je podstatné znát nejen velikost střížné síly a práce, ale i místo jejich působení. Když nástroj působí silou na obrobek, vytváří v něm nejprve deformace elastické a poté plastické. Střížná síla závisí na hloubce vniku nástroje a je na obrázku 12. Postupem střížného nástroje se tloušťka materiálu zmenšuje, ale střížná síla vlivem lokálního zpevnění roste. Nárůst střížné síly trvá až do dosažení horní hranice plastičnosti, kdy začnou vznikat první porušení materiálu. Poté dojde ke krátkému poklesu a při vzniku prvních trhlin, tedy při nástřihu materiálu v hloubce vniku h_s' , dojde k úplnému porušení lomem. Další pokles síly je ovlivněn vzájemným otěrem vzniklé plochy.



Obr. 12 Průběh střížné síly během procesu stříhu [16]

Základem pro určení velikosti střížné síly nebo práce je znalost střížného odporu τ_s , jehož velikost se dá spočítat ze vztahu (2.3). Velikost střížné síly (2.4) je potom dána součinem velikosti střížné plochy a střížného odporu materiálu. Tato síla však musí být navýšena kvůli otupení střížného nástroje a dalším vlivům. Velikost výsledné síly působící při stříhu lze spočítat podle vztahu (2.5).

Velikost střížné síly pro děrování a vystřihování (2.4)

$$F_s = k \cdot S \cdot \tau_s = k \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s [N] \quad (2.4)$$

kde: F_s [N] – velikost střížné síly,
 k [-] – součinitel zohledňující vlivy působící při stříhání,
 S [mm] – velikost střížné plochy,
 l_s [mm] – délka křivky stříhu,

Výpočet výsledné síly (2.5)

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_{si} [N] \quad (2.5)$$

kde: F_T [N] – celková velikost střížné síly pro všechny střížníky.

Znalost střížné síly je důležitá především u postupových stříhadel, se stříhem u několika střížníků současně, kde je nutné znát i polohu působení této síly. Pokud nebude výsledná síla působit v ose lisu, budou vznikat nežádoucí momenty a může docházet k snížení přesnosti stříhu, životnosti nástroje a může dojít až k poškození stroje. Poloha těžiště sil se dá určit početně nebo graficky. Dnes se výsledná síla i její působíště dají zjistit velmi přesně za použití výpočetní techniky.

Grafická metoda je založena na vynášení velikostí střížných sil a jejich směrů do půdorysu nástroje. V této metodě hledáme průsečík výslednic působících sil, který označuje těžiště výsledné působící síly. Přesnější je metoda početní, která vychází z obecně platných podmínek dynamiky těles. V této metodě jsou počítány momentové účinky v jednotlivých bodech stanovených polohou střížníků. Výpočet těžiště výsledné síly v ose X se provede podle vztahu (2.6) a analogicky i pro Y (obr. 13).

Výpočet těžiště výsledných sil při stříhání (2.6)

$$F_T \cdot x_T = \sum_{i=1}^n F_{si} \cdot x_i [N] \quad (2.6)$$

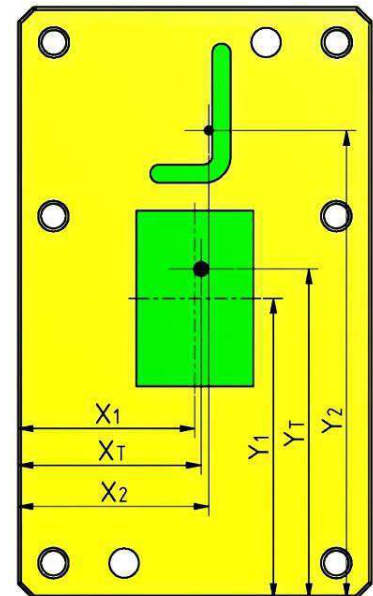
kde: x_t [mm] – polohy těžiště celkové síly,
 x_i [mm] – polohy působíště síly nástroje.

Dalším důležitým parametrem je velikost střížné práce. Střížná práce je přímo úměrná střížné síle a hloubce vniku nástroje. Velikost práce můžeme spočítat integrací plochy pod křivkou střížné síly (obr. 12) nebo je dána vztahem (2.7). Z fyzikálního hlediska lze popsat střížnou práci jako střížnou sílu působící při průchodu stříhaným materiálem.

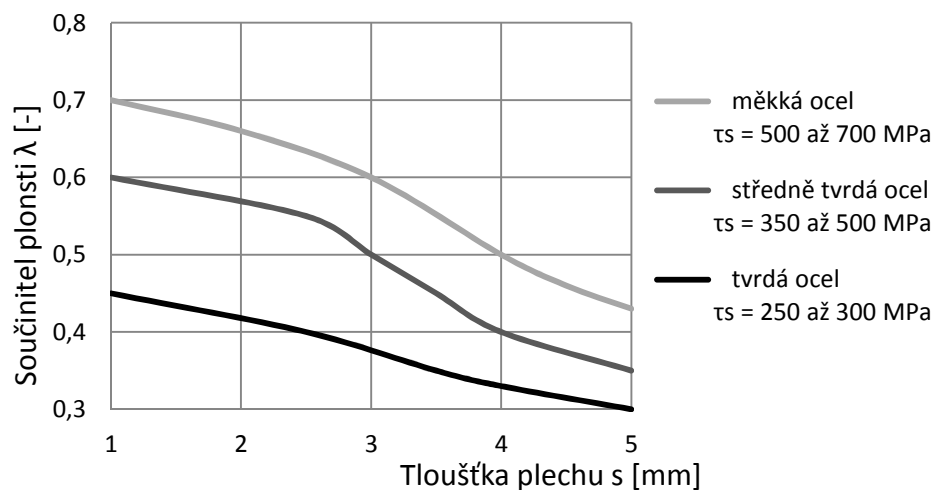
Velikost střížné práce pro rovnoběžné nástroje (2.7)

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot s}{1\,000} [J] \quad (2.7)$$

kde: A_s [J] – velikost střížné práce,
 λ [-] – součinitel plnosti diagramu z obr. 13,



Obr. 13 Těžiště sil [35]

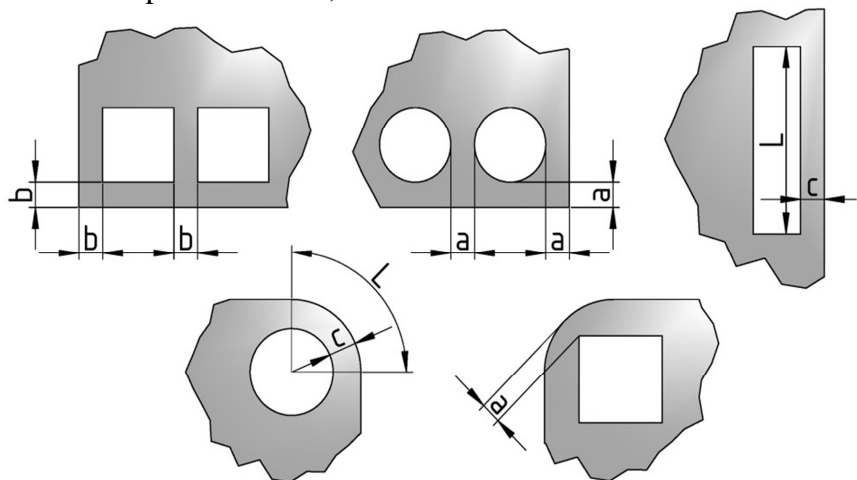


Obr. 14 Graf pro určení součinitele plnosti [16]

2.1.3 Technologičnost součásti při stříhání [1], [4], [7], [21]

Při volbě technologie pro výrobu součásti je nutno, aby součást byla touto technologií vyrobitelná. Samotnou volbu vhodné technologie ale i konstrukci výstřižku, ovlivňují požadavky na přesnost, velikost a složitost součásti. Předepsání vyšších přesností a pevností výstřižku navyšuje výrobní náklady. Z konstrukčního hlediska lze zvolit materiály výstřižku do pevnosti 1000 až 1200 MPa, které lze běžně zpracovat stříháním. Dále přesnost výstřižku lze rozdělit do tří kategorií. Stříhání s nízkou přesností IT 14 až 16, se střední přesností IT 10 až 12 a se zvýšenou přesností IT 6 až 9. Nejvyšších přesností stříhání lze dosáhnout jen za použití přesných technologií, jako například stříhání s nátláčnou hranou nebo se zaoblenou střížnou hranou. Tyto technologie ovšem vyžadují jiné strojní vybavení a jsou nákladnější. Pro střední přesnosti stačí použít například vodící stojánek, který zajistí dostatečné vedení nástroje. Náklady na výrobu součásti mohou také navýšit další požadavky jako jakost střížné plochy nebo velikost stříhaného otvoru. Proto by předepsaná drsnost střížné plochy neměla být vyšší než $Ra = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$ pokud to není nezbytně nutné. Děrováním je běžně možné vyrobit otvory o minimálním průměru $d = s$. Menší otvory lze pak zhotovit některými přesnými metodami stříhání a to až do průměru $d = 0,3s$.

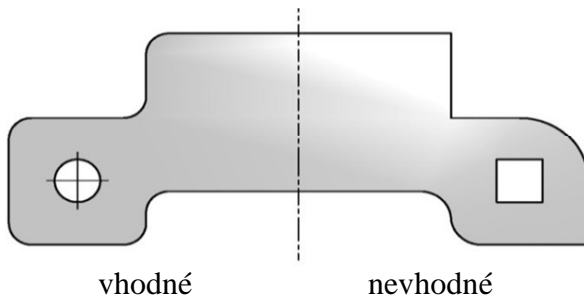
Konstrukce výstřižku také může zdražit nebo úplně znemožnit jeho výrobu. Proto, není-li část výrobku funkční nepředepisuje se její přesnost, drsnost a kolmost k rovině plechu. Také musí být při vystřihování nebo děrování dodrženy nejmenší vzdálenosti otvorů mezi sebou a od okraje pro danou technologii a materiál.



Obr. 15 Velikosti přepážky při stříhání [1]

Velikosti přepážek jsou na obr. 15 a při stříhání součástí z polotvrdých ocelových plechů by měly být $a \geq 0,8s$, $b \geq 1s$, $c \geq 1,5s$. Při stříhání měkkých ocelí je nutné zvětšit tyto hodnoty o 20 až 25%. Při stříhání je vhodné na součásti zkosit popřípadě zaoblit rohy a při děrování

upřednostňovat kruhové otvory (obr. 16). Ostré rohy je možné vyrobít na dvě operace. Také není vhodné, aby na součásti byly plynulé přechody mezi rovnými a zaoblenými částmi nebo změny poloměrů. Nejvhodnější tvar

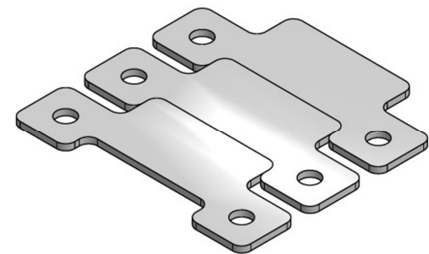


Obr. 16 Úprava tvaru součásti [4]

výstřižku je rovnoběžník, který umožní stříhání bez přepážek jedním nástrojem. Při stříhání součástí kruhového tvaru nebo součástí tvarově členitých dochází k velké spotřebě materiálu. Využití materiálu lze zvětšit u součástí s vidlovitým tvarem nebo jinak tvarově členitých součástí jejich vhodným prostorovým uspořádáním na pásu plechu.

2.1.4 Nástřihový plán [1], [3], [19]

Nástřihový plán je návrh umístění a orientace polotovaru na stříhaný plech a jeho cílem je zvýšit využití materiálu. Nástřihový plán může být s přidaným materiálem anebo bez přidaného materiálu. Pokud je třeba zvýšit přesnost stříhu, používá se nástřihový plán s přidaným materiálem po obvodu a mezi jednotlivými součástmi. Varianta bez přídavků je úspornější na materiál nebo je úplně bez odpadu, ale má nižší přesnost (obr. 17). Potom jsou nástřihové plány s můstkem a postranním můstkem, s můstkem, s postranním můstkem, bez můstku. Nástřihový plán je základ pro výpočet spotřeby materiálu, využití materiálu, a konstrukci nástroje. Výpočet využití materiálu se liší při použití tabule nebo svitku plechu. Využití tabule plechu se určí ze vztahu (2.8) a využití svitku plechu ze vztahu (2.9).



Obr. 17 Nástřihový plán bez můstků [4]

Využití tabule plechu (2.8)

$$\eta_p = \frac{n \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (2.8)$$

kde: η_p [%] – využití tabule plechu,
 n [ks] – počet výstřižků z tabule plechu (n je počet kusů na pruhu násoben počtem pruhů z tabule),
 S_p [mm²] – plocha tabule plechu,
 S_v [mm²] – plocha jednoho výstřižku.

Využití svitku plechu (2.9)

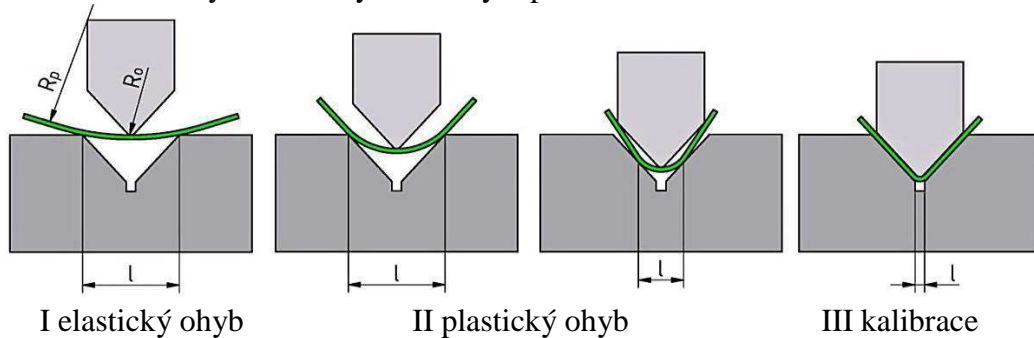
$$\eta_s = \frac{n_s \cdot S_v}{S_s} \cdot 100 [\%] \quad (2.9)$$

kde: η_s [%] – využití svitku plechu,
 n_s [ks] – počet výstřižků ze svitku plechu ($n_s = L_s/K$),
 S_s [mm²] – plocha svitku plechu,
 K [mm] – délka kroku,
 L_s [mm] – délka svitku plechu.

Využití materiálu při stříhání by mělo být vyšší než 60%. Pokud bude využití nižší, měly by být provedeny úpravy tvaru součásti, její orientace na plechu nebo velikosti můstků.

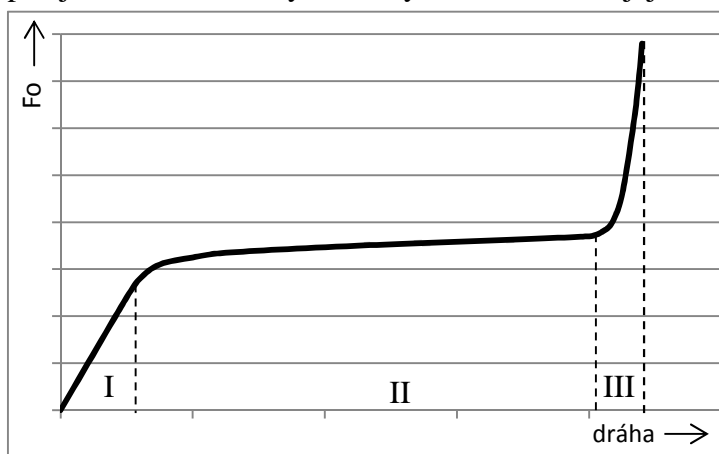
2.2 Ohýbání [1], [16], [21]

Ohýbání je jednou z hlavních částí plošného tváření. Při ohýbání je součást trvale deformována bez porušení soudržnosti materiálu. Při ohýbání působí na součást lokální síly nebo ohybové momenty. Ohýbání lze rozdělit na základní operace a to na ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování a přesazování, drápkování a zkrucování. Materiál může být zpracováván některou z operací ohýbání až na hranici mezní hodnoty deformace za studena. Součásti z materiálů křehkých, tvrdých nebo špatně tvářitelných se pro zpracování ohřívají anebo je do procesu ohýbání zařazeno tepelné zpracování. Vzhledem k účinkům vyvolaným v materiálu během ohýbání za studena je možné ohýbání rozdělit na ohýbání s malým a velkým poloměrem.



Obr. 18 Průběh ohybu v nástroji [21]

Jednoduchým ohýbáním je možné vyrobit součásti tvaru V a U. Z těchto základní tvarů je pak možné poskládat požadovanou součást. Průběh ohybu součásti do tvaru 'V' v ohýbacím nástroji je na obrázku 18. Při ohýbání je součást deformována nejprve elasticky a poté i plasticky. Tyto deformace vznikají působením pohyblivé čelisti nástroje, který vtlačuje součást do spodní pevné čelisti. Na ohýbaném polotovaru se během procesu vytváří rádius ohybu R_p , který se zmenšuje až do okamžiku plného dosednutí na spodní čelist nástroje. Spolu se zmenšujícím se poloměrem vnitřní plochy polotovaru r_p se zmenšuje i rameno ohybu l_a , na kterém působí síla vyvolaná horní čelistí nástroje s rádiusem r_o . Proces ohýbání lze rozdělit do tří fází, které popisují průběh ohybu a jsou na obrázku 18 a na grafu popisujícím závislost ohybové síly na její dráze (obr. 19).



Obr. 19 Průběh ohýbací síly [21]

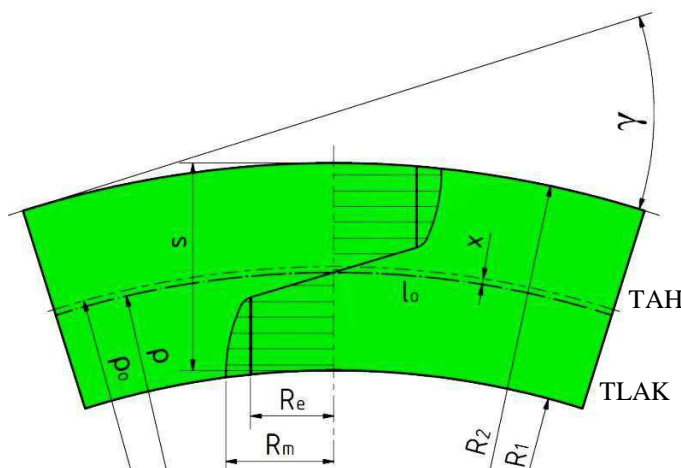
První fáze (na grafu je označena I) obsahuje prvotní deformace a pohybuje se v oblasti elastických deformací. Velikost této oblasti je dána mechanickými vlastnostmi materiálu a ovlivňuje zejména velikost maximálního možného poloměru ohybu. V této fázi je strmý nárůst ohybové síly, který může být popsán Hookovým zákonem.

Druhá fáze (II) probíhá v oblasti plastických deformací a během ní je těleso zvětší části vytvarováno. Tato fáze trvá nejdéle a je během ní minimální nárůst ohybové síly. Během této fáze ohybu se nástroj a polotovar dotýkají jen ve třech nebo později v pěti bodech a to až do úplného dosednutí ohýbaného polotovaru na spodní čelist nástroje, kdy začíná poslední fáze.

Třetí fáze ohybu (III) se nazývá kalibrace. Na počátku této fáze je kus téměř vylisován a tato fáze má za účel minimalizovat velikost odpružení. Toho je docíleno rapidním nárůstem působící síly, která vyvolává přídavné napětí v materiálu obrobku. Působením kalibrace je možné dosáhnout i záporné hodnoty odpružení.

Pokud je ohýbán materiál, který má šířku větší než tloušťku například plech, pak lze napětí vznikající ve směru jeho šířky zanedbat a $\sigma_2 = 0$. U takového tvaru lze předpokládat, že je na vnitřní straně napjatost jednoosá tlaková a na vnější straně jednoosá tahová. Pokud je ohýbán materiál, který má výšku shodnou nebo větší než šířku, potom je v tomto materiálu trojosý stav deformace. Tyto deformace způsobí, že materiál bude na vnitřní straně pýchován, což zvětší šířku polotovaru a na vnější straně natahován, což šířku zmenší. Ovšem pokud jsou ohýbané plechy o velké šířce, pak je zabráněno deformacím v příčném směru a $\varepsilon_2 = 0$. Poté je na vnitřní straně napjatost plošná tlaková a na vnější straně plošná tahová a ze zákona zachování objemu materiálu vyplývá, že $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$. Přejít mezi těmito dvěma deformacemi je oblast, kde materiál není ani natahován ani stlačován a deformace jsou nulové. Tato oblast se nazývá neutrální vrstva deformací. U napjatostí je to obdobné, oblast přechodu tlakové a tahové napjatosti se nazývá neutrální vrstva napětí.

2.2.1 Neutrální vrstva, minimální a maximální poloměr ohybu [1], [4], [16], [21]



Obr. 20 Průběh napětí a poloha neutrální vrstvy [1]

Neutrální vrstva, je přechodovou oblastí mezi tahovou a tlakovou oblastí. Neutrální vrstva napětí má poloměr ρ_n , což je geometrický průměr vnitřního R_1 a vnějšího poloměru R_2 ohýbaného polotovaru (2.10). Poloha této vrstvy se mění v závislosti na míře křivosti ohýbaného polotovaru a se zvětšující se křivostí ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně materiálu. Pohyb neutrální vrstvy ze středu je způsoben rozdílem mezi geometrickým středem r_s a geometrickým průměrem ρ_n poloměrů vnější a vnitřní plochy (obr. 20).

Velikost poloměru ohýbaného polotovaru (2.10)

$$\rho_n = \sqrt{R_1 \cdot R_2} \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

V případě, kdy je vnitřní část ohýbaného materiálu namáhána tlakem nástroje nebo působí přídavná tahová síla, je neutrální vrstva mnohem víc posunuta k vnitřní straně obrobku, poté platí $\rho_n < \sqrt{R_1 \cdot R_2}$. Pokud je obrobek namáhán podélným tlakem, pak se neutrální vrstva posune směrem k vnější straně obrobku a platí $\rho_n > \sqrt{R_1 \cdot R_2}$.

Znalost polohy neutrální vrstvy deformací ρ je důležitá pro určení rozměrů materiálu před ohýbáním a pro stanovení minimálního poloměru ohybu. Délka této vrstvy s nulovým prodloužením je shodná s počáteční délkou polotovaru tedy rozměru před ohnutím. U pásů plechu kde je šířka větší než tloušťka se poloměr neutrální vrstvy určuje pomocí koeficientu x (obr. 20) ze vztahu (2.11).

Velikost poloměru ohýbaného polotovaru (2.11)

$$\rho = R_1 + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.11)$$

kde: x [-] – koeficient posunutí neutrální vrstvy,

Hodnota koeficientu 'x' je závislá na poměru rádiusu ohybu a tloušťky plechu R_1/s . Velikost tohoto koeficientu je přímo závislá na poloměru ohybu a jeho hodnoty jsou uvedeny v příloze 1 v tabulce 1.

Poloměr neutrální vrstvy je důležitý pro stanovení délky 'l_o' a tedy i rozměru rozvinuté součásti. Délka 'l_o' je přibližně stejně velká jako délka neutrální vrstvy mezi začátkem a koncem ohybu (obr. 20). Potom se délka neutrální vrstvy dá spočítat ze vztahu (2.12).

Délka neutrální vrstvy při ohybu (2.12)

$$l_o = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \gamma}{180} [mm] \quad (2.12)$$

kde: γ [°] – úhel uhnuté části.

Vlivem deformace při ohýbání dochází ke ztenčení plechu v místě ohybu. Velikost ztenčení ohýbaného plechu je závislá na poloměru ohybu. Pokud je poloměr ohybu velký (větší než $R_1/s > 4,0$) ztenčení prakticky nenastává. Ohýbání kruhových tyčí nebo drátů do poloměru ohybu $R_1 > 1,5d$ je prakticky bez tvarových deformací, tyto deformace nastávají, pokud je poloměr ohybu $R_1 \leq 1,5d$.

Vlastnosti materiálu ovlivní velikost dosažitelného ohybu. Minimální i maximální poloměr ohybu je dán především schopností materiálu se plasticky deformovat bez porušení soudržnosti. Poloměr, při kterém ještě nedojde k porušení materiálu, je označen jako minimální poloměr ohybu R_{min} a závisí na anizotropii, na mezi pevnosti daného materiálu, na jeho tloušťce a jakosti povrchu. Na velikost tohoto poloměru má také zásadní vliv způsob ohýbání, úhel ohybu a šířka ohýbaného materiálu. Pokud je pak překročen minimální poloměr ohybu, dojde k porušení na vnější straně materiálu, kde je překročena mez pevnosti v tahu a vlákna se přetrhnou. Minimální poloměr ohybu lze pak spočítat ze vztahu (2.13), který vznikne upravením výpočtu maximálního poměrného přetvoření ϵ_{max} . Maximální poměrné přetvoření udává, jak lze nejvíce natáhnout vlákna ve vnější vrstvě ohýbaného materiálu, než prasknou.

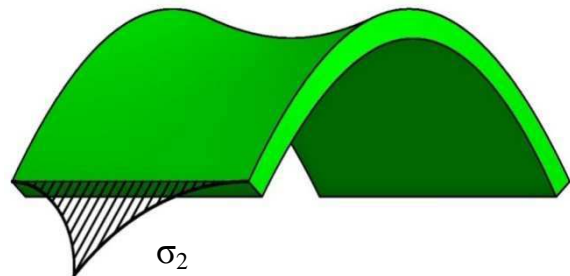
Velikost minimálního poloměru ohybu (2.13)

$$R_{min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\epsilon_{max}} - 1 \right) = c \cdot s [mm] \quad (2.13)$$

kde: c [-] – koeficient zohledňující materiál.

Koeficient c je závislý na zpevnění a anizotropii materiálu a je pro měkkou ocel 0,5 až 0,6, pro hliník 0,35 a pro měď 0,25. U běžných technicky využívaných materiálu je minimální poloměr ohybu v rozmezí $R_{min} = (1 \text{ až } 8)s$.

Minimální poloměr ohybu je také závislý na anizotropii a na šířce ohýbaného materiálu a na jeho předchozím zpracování. Velikost minimálního poloměru při ohýbání plechu se může radikálně zvětšit při nevhodné orientaci ohybu k průběhu vláken. Nejlepší výsledky jsou potom dosahovány, pokud probíhá ohyb kolmo k vláknům. Šířka polotovaru také výrazně ovlivní velikost poloměru ohybu a výslednou přesnost. Se zvětšující se šířkou se



Obr. 21 Axiální napětí při ohybu [20]

zvětšuje velikost minimálního poloměru ohybu. Zvětšení šířky polotovaru způsobí nárůst axiálních napětí 'σ₂' což vede k poklesu plastičnosti kovu. Při velké šířce je toto axiální napětí proměnné a od nulové hodnoty na okraji se směrem do středu zvětšuje, viz obrázek 21. Tento nárůst napětí způsobí prohnutí střední části polotovaru, které může vést až ke vzniku trhlin. Také pro dosažení minimálního rádiusu u výstřižků je nutno dbát na správné založení dílu

do ohýbacího nástroje a to tak, že ostřiny vzniklé stříhem budou na vnitřní straně ohybu. Tímto se zajistí, že tyto ostřiny budou stlačovány nikoli natahovány. Materiály málo tvárné nebo s výrazným deformačním zpevněním je možné během operací ohybů vhodně tepelně zpracovat tak aby bylo dosaženo co nejmenšího poloměru ohybu a nedošlo k defektu.

Ohyb v součásti vzniká díky plastickým deformacím. Pokud však bude poloměr ohybu tak velký, že tyto deformace nenastanou, tak se součást vlivem jevu, který se nazývá odpružení, vrátí do původního tvaru. Maximální poloměr ohybu r_{max} je takový, při kterém již vznikne plastické přetvoření v místě ohybu a součást se úplně nenarovná. Výpočet maximálního poloměru ohybu vychází z výpočtu minimálního poměrného přetvoření ε_{min} v krajní vrstvě polotovaru, která je zatížena tahem. Minimální poměrné přetvoření je takové, při kterém vznikají v materiálu první plastické deformace. Upravením rovnice pro výpočet poměrného přetvoření dostaneme vztah pro výpočet maximálního poloměru ohybu (2.14).

Velikost maximálního poloměru ohybu (2.15)

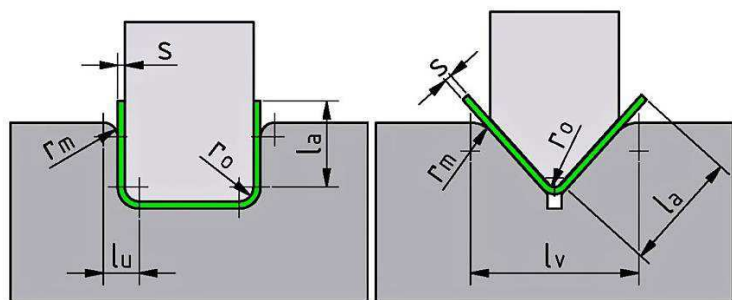
$$R_{max} = \frac{s}{2 \cdot \varepsilon_{min}} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot R_e} \quad [mm] \quad (2.14)$$

kde: E [MPa] – modul pružnosti v tahu,
Re [MPa] – mez elasticity.

2.2.2 Odpružení a vůle [11], [20], [23]

Během procesu ohýbání za studena dochází k pružným (elastickým) a poté i k plastickým deformacím. Deformace elastické již podle názvu jsou takové, které nejsou trvalé a po odstranění působící síly se vrátí do původního stavu. Toto platí i o ohýbání, kde po dokončení ohybu a odlehčení síly vlivem pružných deformací dojde k částečnému navrácení neboli k odpružení ohýbaného materiálu. Velikost odpružení je různá u různých metod ohýbání a pro rozdílné tvary polotovaru a druhy ohybu. U ohýbané součásti je míra odpružení závislá na pružných vlastnostech ohýbaného materiálu, úhlu ohybu, stupni deformace, a jestli se jedná o ohyb tvaru V nebo U. Rozhodujícím faktorem je také tloušťka ohýbané součásti a poloměr ohybu, přičemž při větší tloušťce a menším poloměru ohybu se úhel odpružení zmenšuje. Pokud bude součást ohýbána s kalibrováním a ražením úhlu, je velikost odpružení závislá na stupni zpevnění materiálu. Potom je možno dosáhnout kladného, nulového nebo i záporného úhlu odpružení. Toto je závislé na nástroji, na úhlu ohybu, délce ohybu a na velikosti poloměru ohybu. Kalibrováním a ražením úhlu je možné dosáhnout dvou odpružení s opačným směrem a to odpružení v zaoblené části výlisku a odpružení rovných částí. V druhém případě jsou rovné části výlisku kalibrovány mezi ohýbacími čelistmi a výsledný úhel pak vznikne působením protichůdných deformací.

Nástroje pro ohýbání je nutno konstruovat tak, aby byl odstraněn účinek odpružení. Velikost deformací vzniklých odpružením je možno stanovit z výpočtů nebo z praktických zkoušek provedených na podobných součástech. Velikost úhlu odpružení β' od původního úhlu ohybu α' lze stanovit pro ohyb tvaru 'V' ze vztahu (2.15) pro ohyb tvaru 'U' ze vztahu (2.16) a obrázku 22.



Obr. 22 Schéma pro výpočet odpružení [11]

Velikost úhlu odpružení při ohybu (2.15), (2.16)

$$\beta = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{l_V \cdot R_e}{k_o \cdot s \cdot E} \right) [^\circ] \quad (2.15)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(0,75 \cdot \frac{l_U \cdot R_e}{k_o \cdot s \cdot E} \right) [^\circ] \quad (2.16)$$

kde: l_V [mm] – vzdálenost mezi opěrami ohybnice pro tvar V,
 l_U [mm] – vzdálenost mezi opěrami ohybnice pro tvar U,
 k_o [-] – koeficient určující polohu neutrální vrstvy $k_o = 1-x$.

Na velikost odpružení má také vliv vůle mezi ohybnicí a ohybníkem. Při ohýbání do tvaru V je vůle rovná tloušťce ohýbaného materiálu a její velikost se nastaví seřízením sevření lisu. Při ohýbání do tvaru U ovlivňuje vůli tloušťka ohýbaného materiálu, proměnnost jeho tloušťky a délka ramene ohybu. Tuto vůli je možné spočítat ze vztahu (2.17).

Velikost vůle při ohybu (2.17)

$$v_o = s_{max} + c_o \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

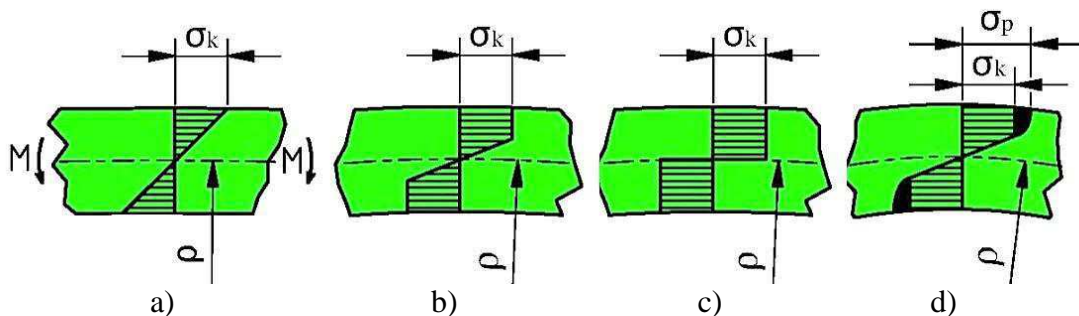
kde: s_{max} [mm] – maximální tloušťka plechu (tloušťka + horní úchylka plechu),
 c_o [-] – koeficient zohledňující tření a délku ramene viz tabulka 2 v příloze 1.

Obecně je velikost ohybové vůle pro ocel $v_o = (1,05 \text{ až } 1,15)s$. Vůle je vytvářena na čelisti, kde není vyznačena přesnost rozměrů součásti. Velikost vůle také ovlivňuje ztenčení v místě ohybu a velikost ohybové síly.

2.2.3 Ohybová síla a práce [1], [4], [9], [21]

I při určení velikosti ohybové síly a práce je nutné rozdělit ohýbané tvary na tvar V a U. Při určení ohýbací síly je podstatná znalost ohybového momentu vnějších sil. Tyto momenty jsou v rovnováze s momenty vnitřních sil, které je možné stanovit z průběhu vnitřních napětí při ohybu. Dnes se pro přesné výpočty ohýbacích sil používá výpočetní technika. Toto umožní použít metodu konečných prvků a průběh ohybu zobrazit v simulaci.

Uvnitř součásti v průběhu ohýbání vznikají nejprve pružné deformace, které se mění na plastické deformace. Tyto plastické deformace začínají ve vnějších vrstvách materiálu a vznikají tehdy, překročí-li σ_k v těchto vláknech mez kluzu (obr. 23 a). Při dalším ohybu se plastické deformace šíří směrem k neutrální vrstvě přičemž rozložení napětí bude mít tvar lichoběžníku (obr. 23 b). V některých případech je možné předpokládat stav, kdy jsou plastické deformace rozšířeny v celém průřezu ohýbaného materiálu a potom nastane ideálně plastický ohyb (obr. 23 c). Vlivem zpevnování materiálů při ohýbání vzrůstá hodnota a tvar napětí, které je na obr. 23 d. Proto je největší deformace, zpevnění a celkové napětí σ_p na povrchu součásti.



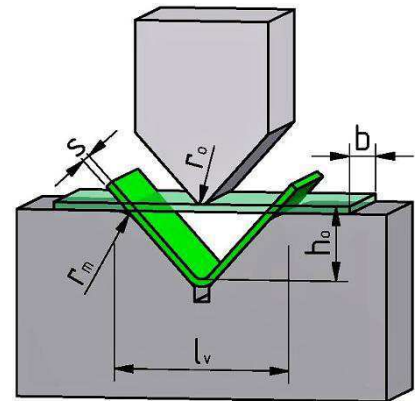
Obr. 23 Rozložení napětí v průřezu ohýbaného polotovaru [21]

Při ohýbání do tvaru 'V' (obr. 24) lze brát součást jako nosník na dvou podporách vzdálených l_v a zatížených silou F_v ve středu součásti. Pak byl z rovnosti momentů vyvolaných vnitřními a vnějšími silami odvozen vztah pro výpočet ohybové síly (2.18). Konstanta 'C' je volena menší pro větší l_v .

Velikost ohybové síly (2.18)

$$F_v = \frac{b \cdot s^2}{l_v} \cdot R_m \cdot C \quad [N] \quad (2.18)$$

kde: b [mm] – šířka ohybu,
 C [mm] – konstanta zohledňující stav napjatosti.



Obr. 24 Ohýbání do tvaru V [1]

Síla potřebná pro ohnutí součásti se většinou zvětšuje o sílu pro kalibraci nebo o vyrovnávací sílu na konci ohybu. V některých případech, kdy je potřeba zajistit polohu součásti se používá přidržovač a potom je ohýbací síla navýšena o sílu potřebnou k překonání přidržovače. Síla přidržovače bývá obvykle $F_p = (0,25 \text{ až } 0,30)F_v$. Velikost celkové ohybové síly bude spočítána podle vztahu (2.19).

Velikost celkové ohybové síly (2.19)

$$F_{cv} = F_v + F_K + F_p \quad [N] \quad (2.19)$$

kde: F_K [N] – kalibrovací síla $F_K = (2,0 \text{ až } 2,5)F_v$.

Při návrhu ohybu je také nezbytné stanovit velikost práce potřebné pro ohnutí součásti. Z fyzikálního hlediska je práce definovaná jako součin síly působící na dráze. V našem případě se jedná o ohybovou sílu F_v působící na dráze h_o , kterou lisovník urazí, než plně vylisuje součást, viz obr. 24. Práce při ohybu spočítaná ze vztahu (2.20), nebude ovlivněna kalibrací, jelikož kalibrační síla působí na konci ohybu a to na velmi krátké dráze. Pokud je použit přidržovač, je nutno práci počítat ze síly zvětšené o sílu přidržovače.

Velikost ohybové práce (2.20)

$$A_v = F_v \cdot h_o \cdot \psi \quad [J] \quad (2.20)$$

kde: A_v [J] – velikost ohybové práce,
 ψ [-] – součinitel plnosti diagramu pro ohyb $\psi = 0,5 \text{ až } 0,65$.

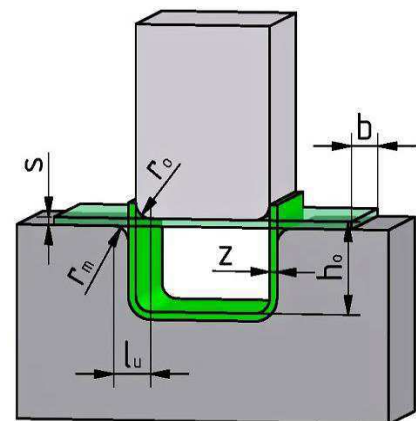
Při ohýbání součásti tvaru 'U' je také předpokládáno, že se jedná o ohyb nosníku na dvou podporách a součinitel dynamického tření je $f = 0,1$. Potom lze velikost ohybové síly spočítat podle vztahu (2.21). Schéma je na obr. 25.

Velikost ohybové síly (2.21)

$$F_u = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{R_e \cdot b \cdot s^2}{R_1 \cdot s} \quad [N] \quad (2.21)$$

kde: R_e [MPa] – mez kluzu,

Stejně jako u ohýbání do tvaru 'V' je zde možno použít kalibrace a celková síla bude navýšena o kalibrovací sílu, která činí $F_K = (2,0 \text{ až } 2,5)F_u$. Pokud použijeme přidržovač, pak bude celková síla ještě navýšena o sílu potřebnou na překonání přidržovače $F_p = (0,25 \text{ až } 0,30)F_u$.



Obr. 25 Ohýbání do tvaru U [1]

Práci při ohybu do tvaru 'U' spočítáme podobně jako u předchozího případu, a to ze vztahu (2.23), kde bude součinitel plnosti diagramu $\psi = 0,5 \text{ až } 0,65$. Pokud je používán přidržovač musí být tato práce počítána ze síly navýšené o sílu přidržovače a práce vyvolaná kalibrační silou nebude započítávána.

Velikost celkové ohybové síly (2.22)

$$F_{cu} = F_u + F_K + F_p \text{ [N]} \quad (2.22)$$

Velikost ohybové práce (2.23)

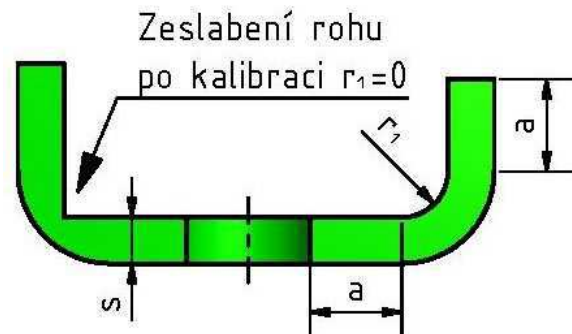
$$A_u = F_u \cdot h_o \cdot \psi \text{ [J]} \quad (2.23)$$

kde: A_u [J] - velikost ohybové práce.

2.2.4 Technologičnost součásti [1], [4], [21]

Vzhledem k vyrobiteľnosti a správné funkčnosti součásti je nutno při výrobě dodržet některé technologické požadavky na konstrukci. Podstatné nejsou jen rozměry a tvar, ale především použitý materiál a jeho vlastnosti. Kvalita a přesnost součásti závisí na plastičnosti materiálu a také na jeho tvrdosti a houževnatosti. Při návrhu je také nutno zvážit s jakou přesností je možno danou součást ohnout a jak přesně lze zajistit její polohu nebo do jaké míry je proměnný průřez materiálu a poloměr ohybu v celé šířce. Pokud to není nutné, neměla by být předepisována tolerance rozměrů a tvarů u výlisků.

Při ohýbání je nutno uvažovat ztenčení tloušťky plechu v místě ohybu a to zhruba o 20% z výchozí tloušťky. Při ohýbání je také nutno dodržet jisté geometrické a rozměrové požadavky na součást. Pokud je na součásti umístěn otvor, měl by mít okraj minimálně $a \geq 2s$ vzdálený od ohybu podle obrázku 26. Při nedodržení minimální vzdálenosti bude docházet k deformacím těchto otvorů, a pokud je nutno umístit otvory blíž ohybu nebo mají mít vyšší přesnost, musí být vyrobeny až po ohnutí. Vzhledem k anizotropii ohýbaného materiálu je třeba umístit ohyb kolmo na směr vláken, a pokud nelze tuto podmínku dodržet je třeba zvětšit R_{\min} . Ostré ohyby s malým nebo žádným poloměrem je možno vyrobit dodatečnou kalibrací, která povede k zeslabení plechu v místě ohybu (obr. 26). Při malých poloměrech ohybu nebo při použití materiálů s velkým deformačním zpevněním je nutno materiál vhodně tepelně zpracovat.



Obr. 26 Technologičnost součásti [21]

Velké poloměry ohybu mají malou tuhost a proto je vhodné je vyztužit vhodně umístěnými žebry nebo prolisy. Ohýbání tvarově složitých součástí nebo součástí s rozdílnými délkami ramen, působí při ohýbání posuv polotovaru na stranu delšího ramene. Eliminací nežádoucích posunů součástí při ohýbání je možno zabránit vhodnou konstrukcí nástroje, například použitím konstrukčního otvoru v součásti pro zajištění správné polohy. Pokud je jedno rameno kratší tak by jeho délka neměla být menší než $a \geq 2s$ viz obr. 26. Tato minimální délka je závislá na tvrdosti ohýbaného materiálu, přičemž se s rostoucí tvrdostí zvětšuje. Součást s kratším ramenem je nutno vyrobit s technologickým přídatkem na tomto rameni a tento následně odstříhnout. Osa ohybu by měla být kolmá na ohýbanou součást a není-li možné zajistit kolmost, je nutno provést vhodné technologické úpravy nástroje i obrobku.

Přesnost výsledné součásti ohnuté v ohýbacím nástroji je ovlivněna řadou aspektů, zejména jejím tvarem, velikostí, homogenitou mechanických vlastností, přesností výchozího polotovaru a přesností ohýbacího nástroje. Přesnost ovlivní také použití kalibrace na konci ohybu. Jakost struktury povrchu je závislá na jakosti povrchu vstupního polotovaru, geometrii a drsnosti povrchu nástroje a vůli mezi čelistmi. Jakost také ovlivní způsob a míra mazání při ohýbání a míra proměnlivosti tloušťky ohýbaného materiálu.

2.3 Nástroje a stroje [2], [19], [24]

Nástroje pro tváření je možné rozdělit podle výrobní technologie, podle teploty tvářecího procesu a podle působící síly. Nástroje lze dále rozdělit podle počtu operací a jejich druhu na jednoduché (jedno operační), postupné (více operací jdoucích po sobě), sloučené (několik úkonů sejného charakteru v jednom nástroji na jeden zdvih) a sdružené (několik úkonů rozdílného charakteru v jednom nástroji). Nástroje mohou být také rozděleny podle zavádění a vyjímání polotovaru a podle použitých pomocných zařízení jako jsou přidržovače, vodící stojánky nebo vyhazovače. Z konstrukčního hlediska je nutné při návrhu nástroje zajistit vyrobiteľnost, vyměnitelnost a smontovatelnost všech částí, jeho bezpečnost, cenu a životnost.

Dnes je většina částí tvářecích nástrojů normalizována což vede ke snižování jejich ceny a usnadnění dostupnosti a vyměnitelnosti jednotlivých dílů. Normalizace také značně ulehčuje návrh nových nebo úpravy již existujících nástrojů. Většina tvářecích nástrojů obsahuje stejné části jako upínací a základní desku, vodící stojánek nebo stopku.

Základní deska slouží k upevnění nástroje. Její rozměry jsou ovlivněny velikostí stroje a střížnice, a jsou předepsané ČSN 22 7262. Tloušťka se podle velikosti nástroje pohybuje mezi 25 až 60 mm. Materiál základní desky bývá 11 500 a pro větší rozměry 42 2425. V základové desce jsou otvory pro odchod ustřiženého materiálu a pro snadnou manipulaci bývá po stranách vybavena otvory pro nasazení čepů.

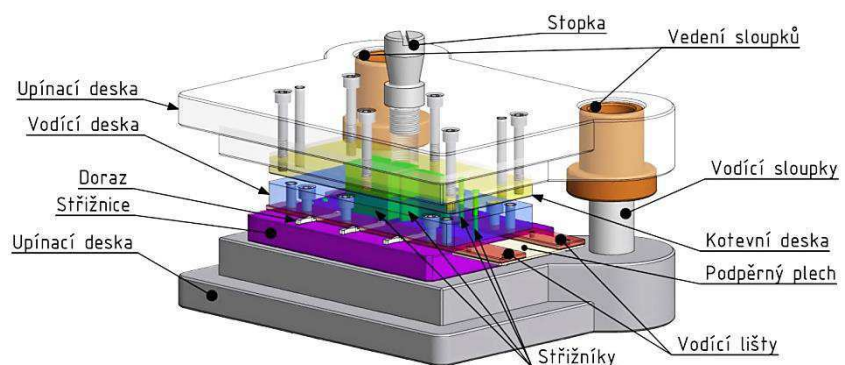
Upínací deska slouží jako nosný komponent pohyblivé části nástroje a k upnutí nástroje k beranu. Upínací deska bývá vyrobena z oceli 11 500 a její tloušťka je 23 až 50 mm. Upnutí je zprostředkováno stopkou umístěnou v těžišti působících sil, nebo je zvětšena pro upnutí pomocí upínek.

Vodící stojánky podle ČSN jsou ocelové z 11 500 nebo pro větší rozměry ocelolitinové 42 2661 a lité 42 2456. Použití vodících stojánku zvyšuje přesnost výroby a zajišťuje přesné dosednutí střížníku na střížnici. Vedení stojánků může být kluzné nebo valivé podle počtu zdvihů za minutu. Pokud je použit vodící stojánek tak z konstrukce nástroje odpadá nutnost použít základní a upínací desku, které jsou nahrazeny horní a spodní částí stojánku.

Stopka je přišroubovaná k upínací desce a slouží k upnutí vrchní části nástroje do beranu lisu. Její tvar a rozměry jsou předepsány normou ČSN 22 6264, ale její velikost je volená podle parametrů stroje. Bývá vyrobena z oceli 11 600.

2.3.1 Nástroje pro stříhání [2], [19], [24], [36]

Části střížného nástroje lze podle ČSN rozdělit na vodící stojánky, střížné skříně, střížné hlavice, střížníky, střížnice, dorazy, stopky a hledáčky, viz obr. 27. Podle vedení mohou být střížné nástroje rozděleny na vedené a bez vedení. Nástroje bez vedení jsou



Obr. 27 Nástroj s vedením a stojánkem [16]

velmi jednoduché a jsou složeny ze základové desky, střížné skříně a upínací desky. Nástroj bez vedení je používán u součástí s malou požadovanou přesností a vzájemné vedení nástroje je zajištěno vedením beranu stroje. Nástrojem bez vedení se obvykle vyrábí pro přesnosti IT 12 až 14. Vedení nástroje zaručí vyšší přesnost výroby IT 9 až 11, ovšem také zvýší náklady na nástroj. Vedení eliminuje nepřesnosti lisu a také zvyšuje životnost nástroje.

Střížné skříně jsou rozdílné pro kruhové stříhadla a pravoúhlá stříhadla. Kruhové střížné skříně jsou většinou jednoduché konstrukce pro tvarově nenáročné součástky. Střížné skříně

pro pravouhlá stříhadla jsou nejpoužívanější a bývají konstruovány bez vedení a s vedením. Vedené jsou se základovou deskou (střížníky jsou vedeny vodící deskou) nebo bez základové desky (střížníky jsou vedeny vodícím stojánkem). Varianta bez vedení je vhodná pro malé série. Pro vyšší série a požadavky na přesnost je vhodné použít kombinaci vodící desky s vodícím stojánkem. Rozměry střížné skříně a jejich částí jsou závislé především na rozměrech stříhaného materiálu a na počtu střížníků a střížných kroků. Základní rozměry střížné skříně jsou dány ČSN.

Střížná skříň obsahuje základní desku, která může být nahrazena vodícím stojánkem, dále pak vodící desku, která slouží k vedení střížníků a k stírání materiálu při zpětném pohybu střížníků a vodící lišty, které jsou mezi střížnicí a vodící deskou. Tyto lišty slouží k vedení pásu nebo pruhu plechu a jejich vzdálenost je ovlivněna přesností vkládaného plechu. Pokud je stříhaný plech vkládán ručně, upevňuje se na vstupní straně podpěrný plech, který usnadňuje vkládání polotovaru. Dorazy jsou použity u postupových stříhadel v případě pokud je polotovar zakládán a posouván ručně. Při použití dorazů lze dosáhnout ustavení polotovaru s přesností až 0,2 mm. Pokud je třeba zajistit přesnější ustavení, jsou použity hledáčky. Obvykle se hledáčky používají s mechanickým podáváním plechu.

Střížná hlavice obsahuje kotevní desku, Opěrnou desku a upínací desku, která může být nahrazena horní částí stojánku. Rozměry střížných hlavice jsou voleny podle rozměrů střížných skříní ČSN 22 6208. V kotevní desce jsou zasunuty střížníky, které jsou podepřeny opěrnou deskou vyrobenou z kalené oceli. Opěrná deska má obvykle tloušťku 4 mm a brání vtačování střížníků do upínací desky.

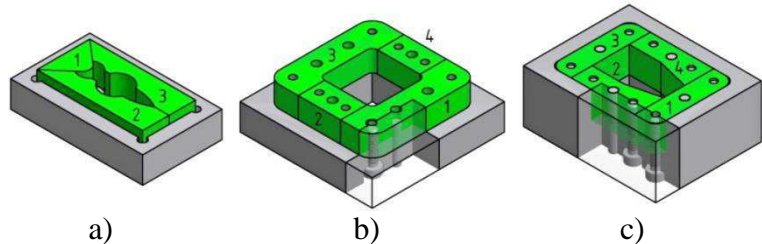
Rozměry činných částí nástroje jsou závislé na charakteru vyráběné součásti. Pokud bude výsledná součást zhotovena vystříhnutím, musí mít střížnice otvor o rozměru součásti a střížník bude zmenšen o střížnou vůli. Pokud se bude jednat o děrování a v součásti budou vytvářeny otvory, musí mít střížník rozměr součásti a střížnice bude zvětšena o střížnou vůli.

2.3.2 Střížnice [19], [24], [36]

Střížnice je nejnákladnější část střížného nástroje. Tato činná část je upevněna na základové desce a její rozměr je dán velikostí polotovaru a počtem kroků. Ve střížnici jsou vyrobeny otvory odpovídající stříhanému tvaru. Přesnost výstřížků je nemálo ovlivněna výrobní přesností střížnice a mírou jejího opotřebení. Střížnice se dnes vyrábí z nástrojových ocelí nebo částečně ze slinutých karbidů. Obvykle se vyrábí z oceli 19 191, 19 312, 19 436, nebo ze slinutých karbidů G3, G4 a G5.

Střížnice lze rozdělit v závislosti na konstrukci nástroje, tvaru a rozměru činné části a výrobních možnostech na střížnice celistvé, skládané a vložkové. Střížnice celistvé jsou obvykle používány na součásti jednoduchých tvarů a menších rozměrů. U těchto střížnic jsou limitující možnosti výroby, výrobní cena a deformace vzniklé po kalení.

Skládané střížnice se používají u tvarově složitých součástí nebo u součástí s většími rozměry nad 300 mm. Tyto střížnice jsou skládány z menších částí, které se dají snadno vyrobit. Deformace vzniklé tepelným zpěrováním jsou potom snadno odstranitelné což zajišťuje přesnost. Skládané střížnice mají delší životnost a nižší náklady na údržbu, proto se hodí do sériové a hromadné výroby. Tento typ střížnice bývá obvykle zalísován do střížné skříně (deska z nekalené oceli 11 500), obr. 28 a. U větších rozměrů je možné střížnici přišroubovat, popřípadě zajistit kolíky (obr. 28 b, c).



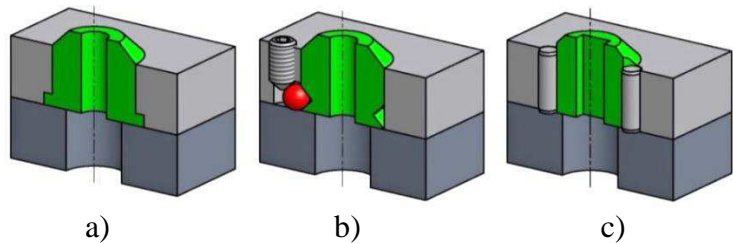
Obr. 28 Skládané střížnice [24]

Střížnice vložkové mají podobné výhody jako střížnice skládané. Při použití těchto střížnic pro stříhání větších a složitějších tvarů dochází k úspoře nástrojové oceli. Tento typ střížnic je používán především pro sériovou a hromadnou výrobu z důvodu delší životnosti nástroje a snadné výměny jednotlivých vložek. Vložky jsou výrobně jednoduché a při montáži mohou být zalisované do střížné skříně. Poloha vložky musí být zajištěna tak aby při zpětném pohybu střížníku nedošlo k jejímu vytažení a pokud je stříhán nekruhový tvar tak proti pootočení ve střížné skříně.

Z důvodu obroušení bývají vložky o 3 až 5 mm vyšší než střížná skříň. Upevnění vložek je možné provést nalisováním nebo u vložek které je třeba často měnit upínacím mechanismem.

Na obrázku 29 je znázorněno

několik možností upevnění vložek. Na obrázku 29 a, c je znázorněna možnost vlisované vložky s osazením a zajištěné proti pootočení a na obrázku 29 b je volně vyměnitelná vložka zajištěná kuličkou proti vytažení.



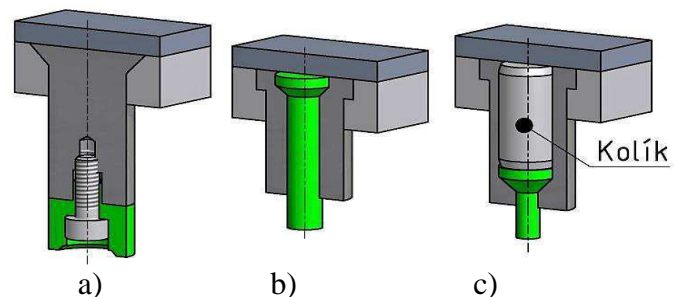
Obr. 29 Upevnění vložek střížnice [24]

Geometrie činné části střížnice se liší podle technologie stříhání, velikosti výstřížku a počtu kusů. Typ geometrie střížné části ovlivní kvalitu a přesnost výstřížku, ale především životnost nástroje a způsob jeho broušení a oprav. Typy geometrie střížné části jsou v tabulce 3 v příloze 1. Během střížného procesu se vlivem opotřebení zaobluje břit, což vede ke zhoršení kvality výstřížku a zvětšení střížné síly. Střížnice musí být konstruována tak, aby jí při dosažení hranice ekonomického opotřebení břitu bylo možné nabrousit.

2.3.3 Střížníky [19], [24]

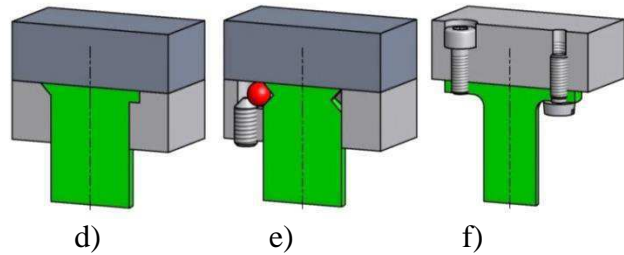
Střížník je pohyblivá část střížného nástroje a je upevněna ve střížné hlavici. Střížníky mají tvar shodný se stříhaným. Jejich délka obvykle bývá větší než průměr nebo u nerotačních součástí než šířka. Střížníky jsou celé nebo částečně vyrobeny z nástrojové oceli, obvykle 19 191, 19 312, 19 436, nebo ze slinutých karbidů G3, G4 a G5. Střížníky musí být konstruovány tak aby byly stabilní na vzpěr. Toto ovlivní velikost jejich průměr a délka, způsob vedení, kvalita oceli, ze které je vyroben, materiálem stříhaného plechu a jeho tloušťka.

Střížníky se dají dělit podle tvaru průřezu a také způsobu upínání. Tvar střížníků i jejich velikost zásadně ovlivňuje jejich konstrukci. Střížníky malých průměrů a tvarů všeobecně jsou většinou vyráběny z jednoho kusu nástrojové oceli. Na rozdíl od toho střížníky větších rozměrů mívají nosnou část vyrobenou z konstrukční oceli (11 500, 11 600 a 11 700) a činná část bývá z nástrojové oceli. Dělené střížníky se používají přibližně od průměru 50 až 250 mm. V případě kdy je střížník ze dvou částí, je funkční část upevněna na nosné šrouby a musí být vystředěna pomocí středících ploch (obr. 30 a). Pokud bude průměr střížníku menší jak 5 mm při stříhání tvrdých plechů, nebo bude poměr $s/d = (0,8 \text{ až } 1,4)$, je nezbytné použít zesílený střížník v plné délce (obr. 30 b). Při průměru střížníku menším jak 3 mm se používá provedení na obrázku 30 c.



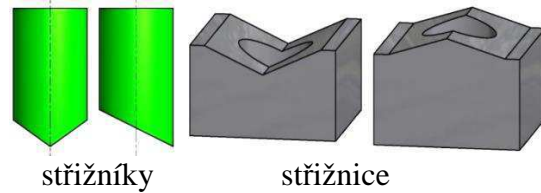
Obr. 30 Provedení střížnic [19]

Upínání a aretace střížníků je druhým kritériem, které je podstatné při jejich konstrukci. Nejjednodušším způsobem upevnění střížníku do kotevní desky je roznytování horní části střížníku nebo vytvoření osazení (obr. 31 d). Velké střížníky, které jsou daleko od sebe je možné přišroubovat dle obrázku 31 e. Střížníky je také možno zalít pryskyřicí a při stříhání malých rozměrů nebo při velkých délkách střížníku se používá příruba (obr. 30 b, c). Pro častou výměnu střížníků je možné použít některý typ rychloupínání, jako třeba zajištění kuličkou (obr. 31 f), nebo pokud je blízko okraje lze použít k upnutí šroub.



Obr. 31 Ukotvení střížníků [24]

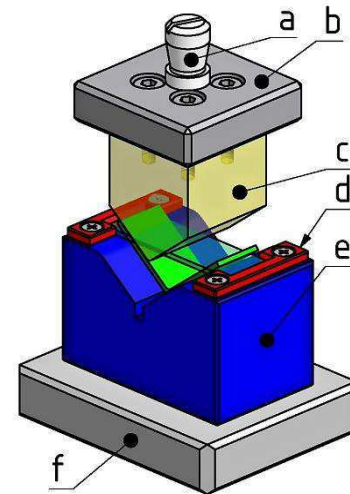
Obvykle jsou střížníky vyráběny tak, že jejich břit je kolmý k ose stříhu což usnadňuje broušení a opravy. Z důvodů snížení střížné síly je možné čelo střížníku tvarově upravit, viz obrázek 32. Podobně je možné upravit i střížnice a tím snížit střížnou sílu až o 30 %. Další možnost jak snížit střížnou sílu je odstupňovat délku střížníků.



Obr. 32 Úpravy střížnic a střížníků [24]

2.3.4 Nástroje pro ohýbání [19], [24]

Nástroj pro ohýbání je složen z ohybníku a ohybnice. Konstrukce nástroje musí být taková, aby eliminovala účinky odpružení a zajistila správnou polohu součásti během ohybu. Ohýbací hrany jsou zušlechťené a leštěny pro snížení tření při ohybu a pro zvýšení životnosti nástroje. Ohýbací nástroj je podle požadavků na přesnost vedený nebo bez vedení. Při požadavku na vyšší přesnost nebo u větších sériích jsou použity vodící stojánky, které nejsou určeny k zachycení bočních posuvových sil. Ty musejí být odstraněny vhodnou konstrukcí nástroje. Základní ohýbací nástroj na obrázku 33 se skládá ze stopky (a), opěrné desky (b), ohybníku (c), základacích dorazů (d), ohybnice (e) a základové desky (f). Podle požadavků na konstrukci mohou být některé části vynechány nebo řešeny jiným způsobem. Pokud je použit k vedení stojánek tak je opěrná a základová deska nahrazena deskami stojánek. Některé součásti mohou být podobné nebo stejné jako u stříhání, například stopka nebo vodící stojánek.



Obr. 33 Nástroj na ohýbání [24]

Ohybník je pohyblivá čelist, která působí silou na ohýbaný materiál a bývá vyrobena z ocelí 19 191, 19 312, 19 436, 19 437 zušlechťených na HRC = 55 až 60 nebo ze slinutých karbidů. Tato čelist je upnuta do beranu lisu pomocí stopky. Stopka může být našroubovaná v pohyblivé čelisti nebo může být čelist a stopka z jednoho kusu. Rozměry ohybnice jsou dány rozměry součásti a její složitostí. Šířka pohyblivé čelisti by měla být stejná nebo větší než šířka ohýbaného materiálu. Velikost poloměru zaoblení ohýbací hrany ohybníku r_p může být stejné jako poloměr součásti nebo je upraveno pro eliminaci odpružení. Ohybník může být vyroben z jednoho kusu nebo pro úsporu nástrojové oceli bývají použity ohýbací vložky, které jsou vyrobeny z kalené oceli nebo ze slinutých karbidů.

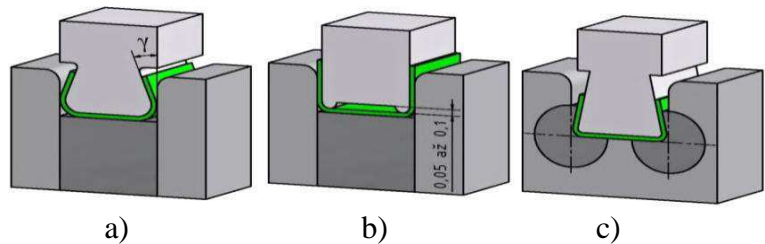
Ohybnice je spodní pevná čelist nástroje. Tato čelist je upnuta na stole stroje a z konstrukčního hlediska je složitější než pohyblivá čelist a bývá vyrobena ze stejných ocelí jako ohybníky. Ohybnice může být vyrobena pro úsporu materiálu s vložkami. Zaoblení náběhových hran pevné čelisti r_m ovlivňuje jakost ohybu a velikost ohýbací síly.

Toto zaoblení bývá $r_m = (2 \text{ až } 6)s$ a pro plechy o větší tloušťce $s > 3$ je vhodné náběhové hrany udělat sražené pod 45° se zaoblením rohů. Pevné čelisti jsou namáhány více než čelisti pohyblivé, proto je u nich vhodné volit přídavek na opotřebení.

Pokud budou náběhové hrany rozdílné nebo tloušťka plechu proměnná, materiál bude klouzat směrem k hraně s menším poloměrem nebo na stranu kde je větší tloušťka plechu. Vyšší přesnost ohybu a rozdílnou délku výsledných ramen může ovlivnit také velikost vůle mezi ohybnicí a ohybníkem a nepřesně upnutý nástroj. Posun materiálu lze eliminovat použitím vyšší síly přidržovače, zdrsněním ohybníku nebo zajištěním polotovaru kolíkem za vystřižený otvor. Radiální posuv také hrozí při ohýbání nesymetrických součástí s rozdílně dlouhými rameny.

Pro přesné ohýbání je také důležité správné založení a středění součásti, které se provádí dorazy na pevné čelisti nástroje. Tyto dorazy musí mít takový tvar, aby nebránil funkci ohýbadla. Pro snadné zakládání mohou mít hrany zešíkmeny pod úhlem 30° a výška jejich zakládací plochy by měla být rovna tloušťce plechu, minimálně však 1,5 mm. Tyto dorazy mohou být kolíky, lišty přišroubované k pevné čelisti nebo mohou být vyrobeny vyfrézováním drážky přímo do pevné čelisti. Ve spodní čelisti mohou být také vyhazovače, které jsou používány především tam, kde po ohnutí zůstává součást v nástroji nebo kde jejich použití usnadní manipulaci s výliskem.

Odpružení po ohnutí je možné minimalizovat nebo úplně odstranit vhodnou konstrukcí funkční části nástroje. Odpružení je možné řešit použitím ohybníku s kalibračním úhlem (obr. 34 a), zaobleným přidržovačem a spodní částí ohybníku, zpevněním materiálu v místě ohybu (obr. 34 b), vytvořením prolisů, postupným ohýbáním v upravené ohybnici nebo kalibračními bočními čelistmi dle obr. 34 c.



Obr. 34 Opatření proti odpružení [24]

2.3.5 Stroje [25], [29]

Tvářecí stroj je dynamická soustava, která slouží k realizaci technologického tvářecího procesu vedoucího k trvalým přetvořením polotovaru. Požadované přetvoření polotovaru je zprostředkované energií vyvolanou pohonnou jednotkou stroje. Samotný proces tváření je prováděn nástrojem, který je upnut v pracovním prostoru stroje. Tento pracovní prostor se většinou skládá z pohyblivého beranu a pevného stolu. Na stole je upevněna spodní část nástroje se zpracovávaným polotovarem a beran vykonává přímočarý vratný pohyb mezi horní HÚ a dolní DÚ úvratí. Beran svůj pohyb začíná s nulovou rychlostí v horní úvrati, odkud zrychluje, až do okamžiku kontaktu s materiálem a následně končí v dolní úvrati kdy je jeho rychlost opět nulová. Pohyb beranu mezi těmito úvratěmi musí vyvinout dostatečnou energii pro přetvoření polotovaru, přičemž podle formy této energie můžeme tvářecí stroje rozdělit na silové, energetické a zdvihové.

Energetické stroje (buchary) působí na materiál rázovou silou a proto se hodí spíše na objemové tváření.

Stroje zdvihové neboli mechanické využívají jak energie potencionální, tak i kinetickou. Mezi jejich typické představitele patří klikové (obr. 35), výstředníkové a kolenové lisy. U těchto strojů je síla a rychlost beranu závislá na jeho zdvihu. Tato síla je vyvozena klikovým mechanismem a její velikost se zvětšuje až do spodní úvratě. Tyto stroje jsou poměrně jednoduché, mají



Obr. 35 Klikový lis [10]

velkou výrobnost, ovšem použitelná tvářecí síla je dostupná až těsně před dolní úvratí. Vzhledem k tomuto je při použití nutné provést kontrolu aby nedošlo k přetížení lisu a tím i jeho zastavení nebo poškození.

Tvářecí stroje silové působí na polotovar klidnou silou o malé rychlosti a nejčastějším zástupcem je hydraulický lis (obr. 36). Síla vyvozená tímto lisem je konstantní na celém zdvihu beranu. Tyto stroje využívají rovnoměrného šíření tlaku v kapalině a rychlost jejich beranu bývá nejvýš $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mezi jejich výhody patří především možnost nastavit pracovní rychlost, konstantní rychlost beranu a možnost vyvodit pracovní sílu při jakémkoli zdvihu beranu. Nevýhodou tohoto stroje je pomalý chod beranu, složitější konstrukce a vyšší náklady.



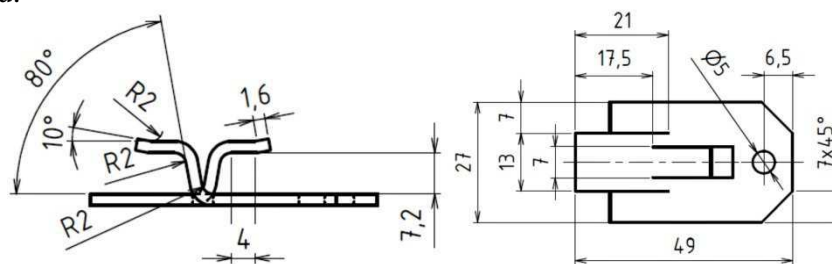
Obr. 36 Hydraulický lis [10]

3 VÝROBA SOUČÁSTI [18], [26]

Pro výrobu řešené součásti byla zvolena technologie stříhání a ohýbání ve sruženém nástroji při velikosti série 150 000 ks. Jako výchozí polotvar byl zvolen ocelový plech třídy 11 375.20 o tloušťce 2 mm s následným žárovým zinkováním. Plech byl zvolen s ohledem na jeho mechanické vlastnosti a vhodnost pro žárové zinkování. Tento plech je dodáván ve dvou provedeních, a to jako tabule o rozměrech šířka x délka ($b_t \times l_t$) 1000 x 2000, 1250 x 2500, 1500 x 3000 nebo jako svitek šířky 7 až 500 mm.

Z technologického hlediska lze zvolený materiál bez problému stříhat a ohýbat. Součást nemá předepsané žádné vyšší přesnosti, a proto bude vyráběna podle netolerovaných rozměrů ČSN ISO 2768. Děrováním jsou běžně vyráběny kruhové otvory s nejmenším rozměrem shodným s tloušťkou materiálu.

Otvor umístěný na součásti má průměr 5 mm a při tloušťce plechu 2 mm bude bez problému vyrobitelný. Součást obsahovala nevhodně zaoblené rohy, které byly nahrazeny snáze vyrobitelným zkosením. Vzdálenost všech stříhů prováděných naráz v jednom kroku je z technologického hlediska v pořádku a součást lze bez problému vystříhnout. Při ohýbání je jediným kritickým místem poloměr ohnutí 2 mm, který by mohl vzhledem ke zvolenému materiálu způsobit defekt součásti, viz obr 37. Tento poloměr bude zkontrolován během výpočtů ohybu.



Obr. 37 Vyráběná součást

Rozměry součásti v rozvinutém stavu (obr. 39) byly stanoveny jako součet ramen ohybu a délek neutrálních vrstev. Na součásti je z funkčního hlediska zadán rozměr 7,2 mm, který určuje délku ramene l_3 (obr. 38). Ta musí být dopočítána před stanovením délky rozvinutí. Délka ramene l_3 bude spočítána pomocí upravené sinové věty a goniometrických funkcí.

Pro řešenou součást jsou vstupní hodnoty $\gamma = 80^\circ$, $R_1 = 2$ mm, $s = 2$ mm, $l_1 = 1,7$ mm, $l_2 = 4$ mm, $h_1 = 7,2$ mm, $x = 0,35$ z přílohy 1 tabulky 5.

➤ Výpočet délky ramene l_3

$$c_1 = \frac{R_1 \cdot \sin 80^\circ}{\sin 50^\circ} = \frac{2 \cdot \sin 80^\circ}{\sin 50^\circ} = 2,57 \text{ mm}$$

$$b_1 = c_1 \cdot \sin 40^\circ = 2,57 \cdot \sin 40^\circ = 1,65 \text{ mm}$$

$$e_1 = h_1 - (2 \cdot b_1) = 7,2 - (2 \cdot 1,65) = 3,90 \text{ mm}$$

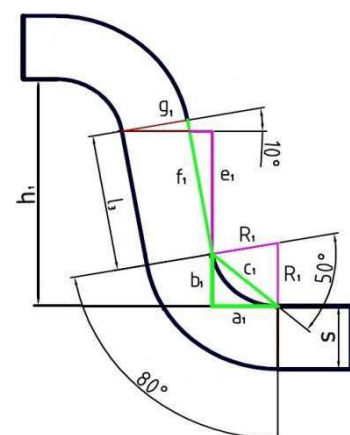
$$f_1 = \frac{e_1}{\cos 10^\circ} = \frac{3,9}{\cos 10^\circ} = 3,96 \text{ mm}$$

$$g_1 = s \cdot \tan 10^\circ = 2 \cdot \tan 10^\circ = 0,35 \text{ mm}$$

$$l_3 = f_1 + g_1 = 3,96 + 0,35 = 4,31 \text{ mm}$$

kde: b_1, c_1, e_1, f_1, g_1 [mm] - pomocné hodnoty pro výpočet ramene l_3 ,

h_1 [mm] – rozměr upínací drážky na vyráběném klipu.



Obr. 38 Délka l_3

Hodnoty při výpočtu l_3 byly zaokrouhleny na dvě desetinná místa z důvodu nízké požadované přesnosti na výrobek. Za použití deky ramene l_3 bude následně spočítáno rozvinutí ohnuté součásti podle kapitoly 2.2.1

➤ Výpočet délky rozvinu l_0 a l_{01} ze vztahu (2.11) a (2.12)

$$\rho = R_1 + x \cdot s = 2 + 0,35 \cdot 2 = 2,70 \text{ mm}$$

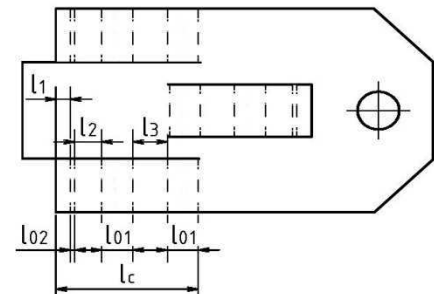
$$l_{01} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \gamma}{180} = \frac{\pi \cdot 2,7 \cdot 80}{180} = 3,77 \text{ mm}$$

$$l_{02} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \gamma}{180} = \frac{\pi \cdot 2,7 \cdot 10}{180} = 0,47 \text{ mm}$$

Z délek rozvinutých ramen bude spočítána celková délka rozvinuté části.

$$l_c = l_1 + l_2 + l_3 + (2 \cdot l_{01}) + l_{02} = 1,7 + 4 + 4,31 + (2 \cdot 3,77) + 0,47 = 18,02 \text{ mm}$$

Délka rozvinuté části l_c je stejná pro všechny ohýbané části a její rozměr byl zaokrouhlen z 18,02 mm na 18 mm.

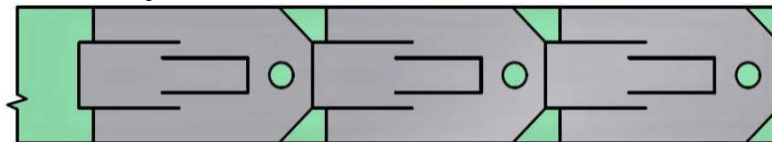


Obr. 39 Rozvinutý tvar součásti

3.1 Nástřihový plán a technologie výroby [18], [26]

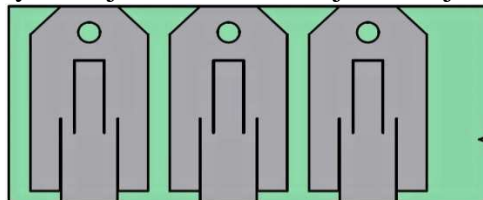
Pro výrobu klipu lze použít pruhy nebo svitky plechu. Obdélníkový tvar řešené součásti stanovil dvě vhodné varianty nástřihového plánu a to rovnoběžně se směrem posunu nebo kolmo na něj. U obou variant bude součást vyráběna bez okrajových můstků, které nejsou potřeba kvůli nízké požadované přesnosti součásti.

V první variantě bude součást umístěna na pruhu nebo svitku plechu podle obrázku 40 a to delší hranou rovnoběžně se směrem posunu. Výhodou této varianty je možnost stříhání bez můstků a vhodná orientace ohybu vzhledem k průběhu vláken. Nevýhodou je delší krok, který ovlivní velikost nástroje.



Obr. 40 První varianta

U druhé varianty je součást delší stranou umístěna kolmo na směr posunu podle obr. 41. Nevýhodou je nutnost použití můstků mezi stříhanými součástmi a také nevhodné umístění osy ohybu ve směru vláken. Nevýhodná je také složitější konstrukce nástroje než u první varianty. U této varianty je výhodnější velikost nástroje, která je dána kratším krokem.

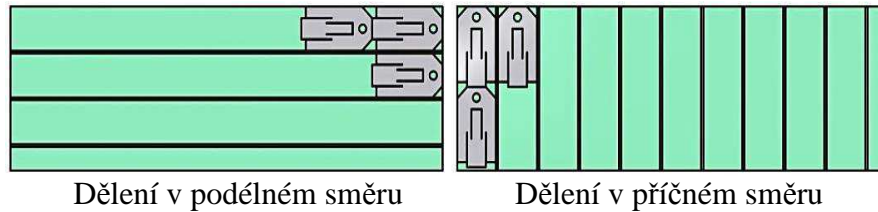


Obr. 41 Druhá varianta

Po zohlednění výhod a nevýhod obou variant umístění výstřižku na plechu, byla vybrána jako výhodnější první varianta umístění, kde je součást orientována delší hranou ve směru posunu.

Pro výrobu řešené součásti byly jako vhodné varianty zvoleny pruh nebo svitek plechu. U svitku plechu bude třeba počítat se ztrátou materiálu při dělení na pruhy, které bude třeba do stroje vkládat ručně. Před zavedením do listu bude také nezbytné použít rovnačku. V obou případech bude součást stříhaná bez můstku a využití materiálu bude určeno podle kapitoly 2.1.5. Na základě využití materiálu bude vybrána nejvhodnější forma výchozího plechu.

Při výrobě z tabule plechu mohou být pruhy děleny dvěma způsoby a to podélně a příčně, viz obr. 42. Pro obě varianty bude spočítáno využití podle vztahu (2.8) a (3.1) pro dostupné formáty plechů (1 x 2 m, 1,25 x 2,5 m, 1,5 x 3 m).



Obr. 42 Dělení tabule plechu na pruhy

U dělení v podélném směru pro tabuli $s \times b_t \times l_t = 1000 \times 2000 \text{ mm}$ je šířka pruhu shodná se šířkou součásti $B = 27 \text{ mm}$, délka kroku je shodná s délkou součásti $K = 49 \text{ mm}$ a velikostí série $N = 150\,000 \text{ ks}$

➤ Počet pruhů na plechu

$$n_{k1} = \frac{b_t}{B} = \frac{1000}{27} = 37,04 \text{ ks}$$

➤ Počet kusů na pruhu

$$n_{k2} = \frac{l_t}{K} = \frac{2000}{49} = 40,82 \text{ ks}$$

Počet kusů pruhů z plechu a počet kusů na pruhu byl zaokrouhlen směrem dolů z $n_{k1} = 37,04 \text{ ks}$ na $n_{k1} = 37 \text{ ks}$ a ze $n_{k2} = 40,82 \text{ ks}$ na $n_{k2} = 40 \text{ ks}$.

➤ Celkový počet kusů z jedné tabule

$$n = n_{k1} \cdot n_{k2} = 40 \cdot 37 = 1\,480 \text{ ks}$$

➤ Obsah jednoho výstřížku, viz obr. 43

$$S_v = (S_1 - S_2 - S_3 - S_4) = (49 \cdot 27) - 7^2 - \left(\frac{\pi \cdot 5^2}{4}\right) - 2 \cdot (3 \cdot 7) = 1212,37 \text{ mm}^2$$

➤ Obsah tabule

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

➤ Počet tabulí na sérii

$$n_{tab} = \frac{N}{n} = \frac{150\,000}{1\,480} = 101,35 \text{ ks}$$

Počet tabulí potřebných na výrobu série byl zaokrouhlen z 101,35 ks na 102 ks.

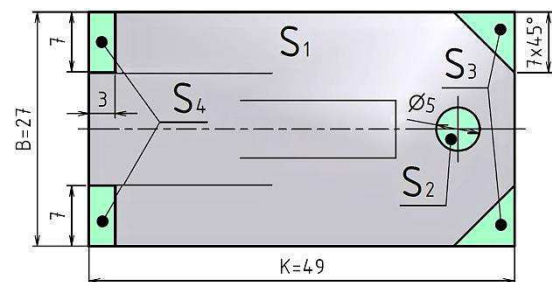
➤ Využití tabule plechu (2.8)

$$\eta_P = \frac{n \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{1480 \cdot 1212,37}{2\,000\,000} \cdot 100 = 98,7\%$$

➤ Využití všech tabulí plechu (3.1), odvozeno ze vztahu (2.8)

$$\eta_{Pc} = \frac{N \cdot S_v}{S_p \cdot n_{tab}} \cdot 100 = \frac{150\,000 \cdot 1212,37}{2\,000\,000 \cdot 102} \cdot 100 = 89,1\% \quad (3.1)$$

Hodnoty pro dostupné formáty plechu a pro obě varianty dělení jsou v tabulce 3, s využitím jednotlivých tabulí a s celkovým využitím materiálu.



Obr. 43 Obsahy výstřížku

Tab. 3 Využití tabulí plechu v závislosti na jejich rozměrech a směru dělení

Rozměry tabulí $b_t \times l_t$ [m]	Dělení tabulí v podélném směru			Dělení tabulí v příčném směru		
	1 x 2	1,25 x 2,5	1,5 x 3	1 x 2	1,25 x 2,5	1,5 x 3
Délka kroku K [mm]	49	49	49	49	49	49
Šířka pruhu B [mm]	27	27	27	27	27	27
Počet pruhů na plechu [ks]	37	46	55	74	92	111
Počet kusů na pruhu [ks]	40	51	61	20	25	30
Počet kusů z tabule [ks]	1 480	2 346	3 355	1 480	2 300	3 330
Plocha tabule [m ²]	2	3,125	4,5	2	3,125	4,5
Plocha výstřižku [mm ²]	1 212,37	1 212,37	1 212,37	1 212,37	1 212,37	1 212,37
Tabulí na sérii [ks]	102	64	45	102	66	46
Využití tabule [%]	89,7	91,0	90,4	89,7	89,2	89,7
Využití všech tabulí [%]	89,1	90,9	89,8	89,1	88,2	87,9

Délka svitku je dána jeho rozměry (obr. 44), přičemž jeho vnější průměr je konstantní $D_{sv} = 1200$ mm a vnitřní průměr může být $d_{sv} = 150$ až 500 mm. Šířka svitku bude stejná jako šířka součásti $B = 27$ mm, délka kroku bude shodná s délkou součásti $K = 49$ mm, tloušťka plechu bude $s = 2$ mm a hustota oceli bude $\rho_{ocel} = 7,8 \cdot 10^{-6}$ kg/mm². Využití materiálu pak bude spočítáno podle vztahů (2.9) a (3.2).

➤ Hmotnost svitku

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot B \cdot \rho_{ocel} = \frac{\pi \cdot (1200^2 - 150^2)}{4} \cdot 27 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6} = 234,46 \text{ kg}$$

➤ Délka svitku

$$L_s = \frac{m_{sv}}{B \cdot s \cdot \rho_{ocel}} = \frac{234,46}{27 \cdot 2 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6}} = 556\,647,67 \text{ mm} = 556,65 \text{ m}$$

➤ Plocha svitku

$$S_s = L_s \cdot B = 556\,647,67 \cdot 27 = 15\,029\,487,09 \text{ mm}^2 = 15,03 \text{ m}^2$$

➤ Plocha výstřižku, viz tabule plechu

$$S_v = 1\,212,37 \text{ mm}^2$$

➤ Počet kusů z jednoho svitku

$$n_s = \frac{L_s}{K} = \frac{556\,647,67}{49} = 11\,360,16 \text{ ks}$$

➤ Sviteků na sérii

$$n_{svit} = N = \frac{150\,000}{1\,360} = 13,20 \text{ ks}$$

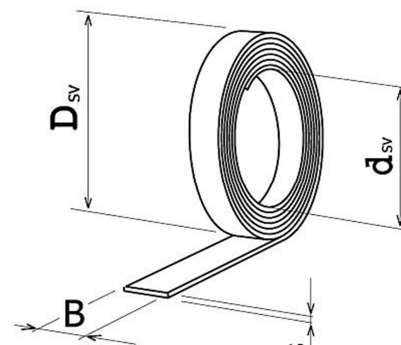
Počet kusů z jednoho svitku plechu a počet sviteků série byl zaokrouhlen směrem dolů z $n_s = 11\,360,16$ ks na $n_s = 11\,360$ ks a počet sviteků série byl zaokrouhlen směrem nahoru ze $n_{svit} = 13,20$ ks na $n_{svit} = 14$ ks.

➤ Využití svitku (2.9)

$$\eta_s = \frac{n_s \cdot S_v}{S_s} \cdot 100 = \frac{11\,360 \cdot 1\,212,37}{15\,029\,487,09} \cdot 100 = 91,6 \%$$

➤ Využití všech svitku (3.2) odvozeno z (2.9)

$$\eta_{sc} = \frac{N \cdot S_v}{S_s \cdot n_{tab}} \cdot 100 = \frac{150\,000 \cdot 1\,212,37}{15\,029\,487,09 \cdot 111} \cdot 100 = 86,4 \% \quad (3.2)$$



Obr. 44 Svitek [18]

na

na

Hodnoty pro dostupné délky svitků jsou v tabulce 3, s využitím jednotlivých svitků a s celkovým využitím materiálu.

Tab. 4 Využití svitku plechu v závislosti na jejich rozměrech

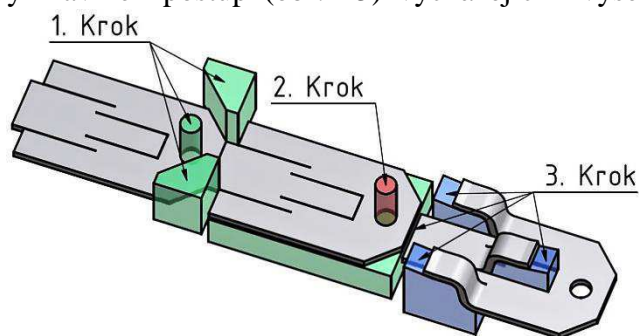
Vnitřní průměr d_{sv} [mm]	150	280	350	400	450	500
Vnější průměr D_{sv} [mm]	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Šířka svitku B [mm]	27	27	27	27	27	27
Délka kroku K [mm]	49	49	49	49	49	49
Hmotnost svitku [kg]	234,46	225,22	217,92	211,72	204,69	196,83
Délka svitku [m]	556,65	534,71	517,38	502,66	485,97	467,31
Plocha svitku [m ²]	15,03	14,44	13,97	13,57	13,12	12,62
Plocha výstřižku [mm ²]	1 212,37	1 212,37	1 212,37	1 212,37	1 212,37	1 212,37
Počet kusů ze svitku [ks]	11 360	10 912	10 558	10 258	9 917	9 536
Svitků na sérii [ks]	14	14	15	15	16	16
Využití svitku [%]	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6
Využití všech svitků [%]	86,4	90,0	86,8	89,3	86,6	90,1

Výsledky byly zaokrouhleny na dvě desetinná místa, pokud nebylo uvedeno jinak z důvodu technologického zaokrouhlování. Při rozhodování mezi pruhem a svitkem plechu je nutno vzít v potaz využití materiálu a cenu těchto variant. Z tabulky 3 a 4 vyplývá, že nejvhodnější variantou je tabule plechu 1,25 x 2,5 m dělená v podélném směru, kdy bude třeba pruhy do stroje zakládat ručně. Vzhledem k ceně materiálu je výhodnější varianta svitku, u které je cenový rozdíl až 8 Kč/kg, z tohoto důvodu byl vybrán svitek o rozměrech $D_{sv} \times d_{sv} \times B \times s = 1200 \times 500 \times 27 \times 2$ mm.

Kompletní výroba součásti bude provedena ve sdruženém nástroji a výchozím polotovarem bude svitek plechu. Pro výrobu součásti byl navržen postup (obr. 45) vycházející z výše zjištěných parametrů.

Proces bude probíhat následovně:

1. krok – vystřižení zkosení a osazení,
– děrování otvoru,
2. krok – ustavení polohy hledáčkem,
3. krok – odstřižení z pásu plechu
– prostřížení a tvarování nožiček



Obr. 45 Nástřihový plán

Součást bude vyráběna ze svitku plechu, který bude veden, a podáván mechanickým podavačem. Pás plechu bude v prvním kroku doražen na načínací doraz, který bude zasunut před prvním zdvihem. V tomto kroku bude vystřiženo sražení na první součásti a osazení na druhé součásti. Při zavádění plechu bude vystřiženo jenom sražení. Po prvním zdvihu bude pás posunut na druhý krok, ve kterém bude součást ustavena pomocí hledáčku za otvor vystřižený v prvním kroku. Ve třetím kroku bude součást nejprve odstřižena od pásu plechu a následně tvarována spodní částí nástroje.

3.2 Návrh nástroje

Součást bude vyráběna ve sdruženém postupovém nástroji kombinací stříhání a ohýbání. Vzhledem k tomuto budou provedeny výpočty pro střížnou část a následně pro ohybovou část. Celková síla potřebná pro vylisování bude určena z celkové střížné a celkové ohybové síly a podle ní pak bude určena poloha stopky.

3.2.1 Výpočet střížné části

V této části budou provedeny výpočty pro střížnou část nástroje. Bude stanovena celková střížná síla na základě, které bude učena konstrukce nástroje. Výpočet střížné síly bude proveden podle kapitoly 2.1.2. Stříhání o ohýbání bude prováděno z materiálu 11 375.20 o tloušťce $s = 2 \text{ mm}$ s pevností v tahu $R_m = 440 \text{ MPa}$, mezí pružnosti $R_{eH} = 235 \text{ MPa}$ a tažností $A = 24\%$.

- Napětí ve stříhu ze vztahu (2.3)

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 440 = 352 \text{ MPa}$$

- Velikost střížné síly pro střížník $\varnothing 5 \text{ mm}$ ze vztahu (2.4)

$$F_{s1} = k \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (\pi \cdot 5) \cdot 2 \cdot 352 = 14\,376 \text{ N}$$

- Velikost střížné síly pro stříhání sražení a osazení ze vztahu (2.4)

$$F_{s2} = k \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (9,9 + 3 + 7) \cdot 2 \cdot 352 = 18\,213 \text{ N}$$

Velikost střížné síly pro třetí krok bude určena jako součet sil potřebných pro prostřížení ohýbaných „nožiček“. Tato síla bude počítána zjednodušeně bez zaoblení podle vztahu (3.3) pro střížnou sílu šikmých nožů, viz obr. 46. Střížná práce bude spočítána pro rovné nože a šikmé nože zvlášť. U stříhání šikmými noži bude počítáno se zjednodušeným tvarem nože a také s přibližnými hodnotami.

- Velikost střížné síly pro stříhání šikmými noži

$$F_{ss} = k \cdot \frac{s^2 \cdot \tau_s}{2 \cdot \tan \kappa} \text{ [N]} \quad (3.3)$$

kde: F_{ss} [N] – velikost střížné síly pro šikmý nůž,
 κ [°] – úhel sokolnu nože.

- Velikost střížné síly pro odstřížení v třetím kroku ze vztahu (2.4)

$$F_{s3} = k \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 13 \cdot 2 \cdot 352 = 11\,898 \text{ N}$$

- Velikost střížné síly pro prostřihování „krajní nožičky“

$$F_{s4} = F_{ss1} + F_{sa} + F_{ss2} = k \cdot \left(\frac{s^2 \cdot \tau_s}{2 \cdot \tan \kappa_1} + l_{sa} \cdot s \cdot \tau_s + \frac{s^2 \cdot \tau_s}{2 \cdot \tan \kappa_2} \right)$$

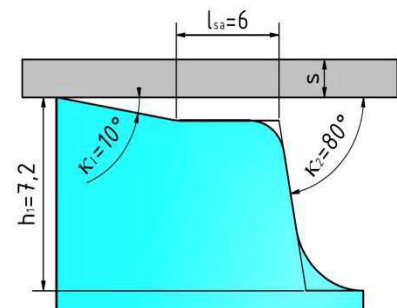
$$F_{s4} = 1,3 \cdot \left(\frac{2^2 \cdot 352}{2 \cdot \tan 10^\circ} + 6 \cdot 2 \cdot 352 + \frac{2^2 \cdot 352}{2 \cdot \tan 80^\circ} \right) = 10\,843 \text{ N}$$

- Velikost střížné síly pro prostřihování „prostřední nožičky“

$$F_{s5} = 2 \cdot (F_{ss1} + F_{sa} + F_{ss2}) + F_{sb}$$

$$F_{s5} = k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{s^2 \cdot \tau_s}{2 \cdot \tan \kappa_1} + l_s \cdot s \cdot \tau_s + \frac{s^2 \cdot \tau_s}{2 \cdot \tan \kappa_2} \right) + l_{sb} \cdot s \cdot \tau_s \right]$$

$$F_{s5} = 1,3 \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{2^2 \cdot 352}{2 \cdot \tan 10^\circ} + 6 \cdot 2 \cdot 352 + \frac{2^2 \cdot 352}{2 \cdot \tan 80^\circ} \right) + 7 \cdot 2 \cdot 352 \right] = 28\,092 \text{ N}$$



Obr. 46 Šikmý nůž

- Výpočet výsledné síly pro rovnoběžné nože

$$F_{T1} = F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + F_{s3} = 14\,376 + 2 \cdot 18\,213 + 11\,898 = 62\,700 \text{ N}$$

- Velikost sřížné práce pro rovnoběžné nože ze vztahu (2.7), λ byl zvolen $\lambda = 0,56$

$$A_{s1} = \frac{\lambda \cdot F_{T1} \cdot s}{1\,000} = \frac{0,56 \cdot 62\,700 \cdot 2}{1\,000} = 70 \text{ J}$$

- Výpočet výsledné síly pro šikmé nože ze vztahu (2.5)

$$F_{T2} = 2 \cdot F_{s4} + F_{s5} = 2 \cdot 10\,843 + 28\,092 = 49\,778 \text{ N}$$

- Velikost sřížné práce pro šikmé nože

$$A_{s2} = \frac{\lambda \cdot F_{T2} \cdot h_1}{1\,000} = \frac{0,56 \cdot 49\,778 \cdot 7,2}{1\,000} = 201 \text{ J} \quad (3.4)$$

- Výpočet výsledné síly ze vztahu (2.5)

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} = 62\,700 + 49\,778 = 112\,478 \text{ N}$$

- Celková velikost sřížné práce

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 70 + 201 = 271 \text{ J}$$

Při střihání je nutné provést kontrolu na otlacení. Tato kontrola bude posuzovat, zda hrozí nebezpečí vtlačování sřížníku do základové desky. Pokud bude napětí na osazené straně sřížníku větší, než $\sigma_{\text{dovol}} = 180 \text{ MPa}$ pro ocel, bude docházet k vtlačování sřížníku do základové desky a musí být použita opěrná kalená deska.

- Plocha osazení nejmenšího sřížníku $\varnothing 8 \text{ mm}$

$$S_{s1} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2$$

- Napětí na nejmenším sřížníku

$$\sigma_{s1} = \frac{F_{s1}}{S_{s1}} = \frac{14\,376}{50,27} = 286 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

Ze zjištěných hodnot vyplývá, že napětí na osazení nejmenšího sřížníku je vyšší, než je dovolené napětí pro materiál základové desky $\sigma_{s1} = 286 \text{ MPa} > \sigma_{\text{dovol}} = 180 \text{ MPa}$. Z toho důvodu bude použita opěrná deska.

Při konstrukci nástroje mohou být některé sřížníky dlouhé s malým průměrem. U těchto sřížníků musí být provedena kontrola na vzpěr, aby nedošlo k jejich zlomení. Pokud bude jejich délka větší, než je délka kritická, musí být provedeny konstrukční úpravy. V opačném případě bude docházet k deformacím nebo až k jejich zlomení. Sřížníky vedené ve vodící desce lze považovat za nosník vetknutý na obou koncích a jejich kritickou délku je možné spočítat ze vztahu (3.6). Pro tento výpočet bude nutno stanovit moment setrvačnosti kontrolovaného sřížníku.

- Moment setrvačnosti nejmenšího sřížníku

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} = 30,68 \text{ mm}^4$$

Koeficient bezpečnosti byl stanoven $n = 2$ a modul pružnosti v tahu $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

- Kritická délka nejmenšího sřížníku

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 30,68}{2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 352}} = 190 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Při konstruování je nutno provést kontrolu rozměrů střížnice na ohybu. Během stříhání je střížnice namáhána ohybem a hrozí nebezpečí prasknutí, proto bude stanovena její optimální šířka H .

➤ Kritická délka nejmenšího střížníku

$$H = \sqrt[3]{F_T} = \sqrt[3]{112\,478} = 48,3 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Velikost střížné vůle bude určena podle kapitoly 2.1. Koeficient závislý na stupni stříhu byl zvolen $c_s = 0,004$

➤ Velikost střížné vůle pro plechy s tloušťkou $s \leq 3 \text{ mm}$ (2.1)

$$v = 2 \cdot (c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}) = 2 \cdot (0,015 \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{352}) = 0,36 \text{ mm}$$

Rozměry střížníku a střížnice jsou podstatné především pro životnost nástroje a přesnost výroby. Jejich rozměry a tolerance jsou dány úkonem, pro který jsou určeny, v případě, že jimi bude vystřihováno nebo děrováno. Rozměry a tolerance činných částí jsou dány rozměrem a tolerancí vyráběné součásti. Tolerance pro netolerované rozměry jsou stanoveny ze strojnických tabulek podle normy ČSN ISO 2768-1 a jsou zapsány v tabulce 5. Rozměry a výrobní tolerance nástroje pro vystřihování a děrování byly určeny pro střížník a střížnici podle normy ČSN 22 6015 a jsou v tabulce 6.

Tab. 5 Netolerované rozměry [20]

Rozsah rozměru (přes – do) [mm]	Tolerance [mm]
0,5 až 6	$\pm 0,1$
6 až 30	$\pm 0,2$
30 až 120	$\pm 0,3$

Tab. 6 Rozměry střížníků a střížnic

Stříhaný rozměr [mm]	Tolerance rozměru [mm]	Výrobní tolerance střížníku [mm]	Výrobní tolerance střížnice [mm]
Ø 5	$\pm 0,1$	+ 0,085	+ 0,508
		+ 0,045	+ 0,445
3	$\pm 0,1$	+ 0,085	+ 0,485
		+ 0,022	+ 0,445
7	$\pm 0,2$	$\pm 0,140$	$\pm 0,087$
9,9	$\pm 0,2$	$\pm 0,140$	$\pm 0,087$
49	$\pm 0,3$	+ 0,250	+ 0,800
		+ 0,130	+ 0,610

Další podstatnou hodnotou je také vzdálenost vodících lišt, která je dána ze vztahu (3.8) a ovlivní přesnost výroby. Tolerance rozměru pásu podle tabulky 5 je $p = \pm 0,3 \text{ mm}$, vůle mezi pásem a lištami byla zvolena $v_s = 0,1 \text{ mm}$ a výrobní tolerance vzdálenosti lišt je $p_s = 0,2 \text{ mm}$.

➤ Vzdálenost vodících lišt

$$o = B + p + v_s + p_s = 27 + 0,6 + 0,1 + 0,2 = 27,9 \text{ mm}$$

Výsledky jsou do jisté míry zkreslené, jelikož je počítáno s nepřesnými hodnotami kvůli těžko definovatelnému průběhu procesu tváření. Z tohoto důvodu bylo počítáno se zaokrouhlenými hodnotami.

3.2.2 Výpočet ohybové části

Pro ohýbání je z konstrukčního hlediska součásti nutné provést kontrolu minimálního a maximálního poloměru ohybu, ale také výpočty úhlu odpuzení a vůle mezi ohybnicí a ohybníkem. Pro tyto výpočty bude šířka ohýbané části $b = 7$ mm, koeficient materiálu $c = 0,6$, koeficient délky ramene $c_0 = 0,1$, vzdálenost podpěr při ohybu $l_U = 7$ mm a mez pružnosti $R_e = R_{eH} = 235$ MPa.

- Velikost minimálního poloměru ohybu ze vztahu (2.13)

$$R_{min} = c \cdot s = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ mm}$$

- Velikost maximálního poloměru ohybu ze vztahu (2.14)

$$R_{max} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot R_e} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 2}{2 \cdot 235} = 893,62 \text{ mm}$$

- Koeficient určující polohu neutrální vrstvy bude určen podle koeficientu $x = 0,35$ z přílohy 1 tabulky 5 a podle něj bude spočítán koeficient k_0 .

$$k_0 = 1 - x = 1 - 0,35 = 0,65$$

- Velikost úhlu odpružení při ohybu ze vztahu (2.16)

$$\beta = \tan^{-1} \left(0,75 \cdot \frac{l_U}{k_0 \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \tan^{-1} \left(0,75 \cdot \frac{7}{0,65 \cdot 2} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,26^\circ$$

- Velikost vůle při ohybu ze vztahu (2.17)

$$v_o = s_{max} + c_0 \cdot s = 2,1 + 0,1 \cdot 2 = 2,3 \text{ mm}$$

Součást bude ohýbána do tvaru U, kdy bude ohýbací síla spočítána podle vztahu (2.21). Ohýbání bude prováděno s přidržovačem a s kalibrační silou, jejichž hodnoty budou spočítány podle kapitoly 2.2.3. Pro výpočet ohybové síly bude součinitel tření $f = 0,1$.

- Velikost ohybové síly do tvaru U ze vztahu (2.21)

$$F_{u1} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{R_e \cdot b \cdot s^2}{R \cdot s} = (1 + 7 \cdot 0,1) \cdot \frac{235 \cdot 7 \cdot 2^2}{2 \cdot 2} = 2\,796,5 \text{ N}$$

- Velikost síly pro kalibraci k odstranění odpružení ze vztahu (2.16)

$$F_K = 2 \cdot F_{u1} = 2 \cdot 2\,796,5 = 5\,593 \text{ N}$$

- Na součásti jsou ohýbány tři nožičky, proto bude ohybová síla F_u trojnásobná

$$F_u = 3 \cdot F_{u1} = 3 \cdot 2\,796,5 = 8\,386,5 \text{ N}$$

- Velikost síly přidržovače

$$F_p = 0,25 \cdot F_u = 0,25 \cdot 8\,386,5 = 2\,096,6 \text{ N}$$

- Velikost celkové ohybové síly podle vztahu (2.22)

$$F_{cu} = F_u + F_p + 3 \cdot F_K = 8\,386,5 + 2\,096,6 + 3 \cdot 5\,593 = 27\,271,2 \text{ N}$$

Práci při ohybu do tvaru U spočítáme ze síly navýšené o sílu přidržovače, kdy práce vyvolaná kalibrační silou nebude započítávána. Součinitel plnosti diagramu byl zvolen $\psi = 0,65$ a hloubka ohybu $h_o = 10,3$ mm.

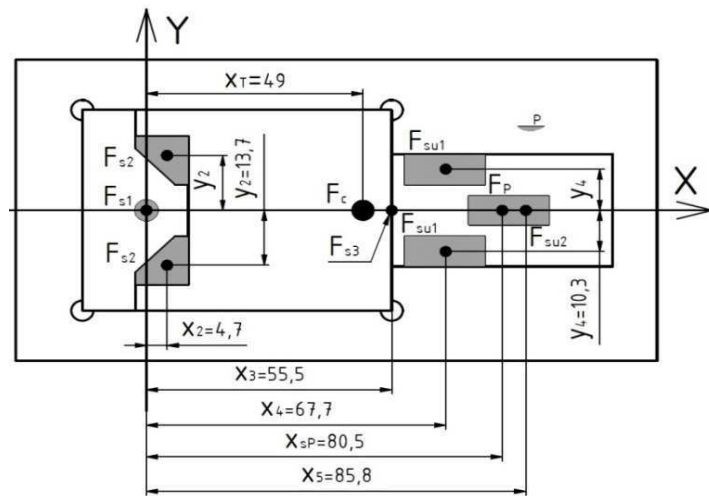
- Velikost ohybové práce podle vztahu (2.23)

$$A_u = \frac{(F_u + F_p) \cdot h_o \cdot \psi}{1\,000} = \frac{(8\,386,5 + 2\,096,6) \cdot 10,3 \cdot 0,5}{1\,000} = 54 \text{ J}$$

3.2.3 Poloha stopky

Poloha stopky a tedy i střed upínací desky lisu musí být umístěn v těžišti působící síly. Pokud by tak nebylo učiněno, vznikaly by krokující momenty, které by ovlivnily přesnost výroby a mohly by i poškodit stroj. Těžiště působících sil bude určeno ve směru osy X a Y.

Poloha osy X bude ve směru posunu pásu plechu a osa Y bude kolmo na něj; počáteční bod byl umístěn na střed kruhového střížníku. Vzdálenosti (obr. 47) byly odměřeny v programu Autodesk Inventor 2010.



Obr. 47 Poloha těžiště

- Celková velikost síly

$$F_c = F_T + F_{cu} = 112\,478 + 27\,271,2 = 139\,749,2 \text{ N}$$

- Celková velikost síly stříhání a ohýbání ‚krajní nožičky‘

$$F_{su1} = F_{s4} + F_{u1} + F_K = 10\,843 + 2\,796,5 + 5\,593 = 19\,232,5 \text{ N}$$

- Celková velikost síly stříhání a ohýbání ‚prostřední nožičky‘

$$F_{su2} = F_{s5} + F_{u1} + F_K = 28\,092 + 2\,796,5 + 5\,593 = 36\,481,5 \text{ N}$$

- Vztah (2.6) byl upraven pro výpočet hodnoty x_T

$$x_T = \frac{F_{si} \cdot x_i}{F_c} = \frac{F_{s1} \cdot x_1 + 2 \cdot F_{s2} \cdot x_2 + F_{s3} \cdot x_3 + 2 \cdot F_{su1} \cdot x_4 + F_{su2} \cdot x_5 + F_p \cdot x_{5P}}{F_c}$$

$$x_T = \frac{14\,376 \cdot 0 + 2 \cdot 18\,213 \cdot 4,7 + 11\,898 \cdot 55,5 + 2 \cdot 19\,232,5 \cdot 67,7 + 36\,481,5 \cdot 85,8 + 2\,096,6 \cdot 80,5}{139\,749,2} = 49 \text{ mm}$$

- Vztah (2.6) byl upraven pro výpočet hodnoty y_T

$$y_T = \frac{F_{si} \cdot y_i}{F_c} = \frac{F_{s1} \cdot y_1 - F_{s2} \cdot y_2 + F_{s2} \cdot y_2 + F_{s3} \cdot y_3 - F_{su1} \cdot y_4 + F_{su1} \cdot y_4 + F_{su2} \cdot y_5 + F_p \cdot y_{5P}}{F_c}$$

$$y_T = \frac{14\,376 \cdot 0 - 18\,213 \cdot 13,7 + 18\,213 \cdot 13,7 + 11\,898 \cdot 0 - 19\,232,5 \cdot 10,3 + 19\,232,5 \cdot 10,3 + 36\,481,5 \cdot 0 + 2\,096,6 \cdot 0}{139\,749,2} = 0 \text{ mm}$$

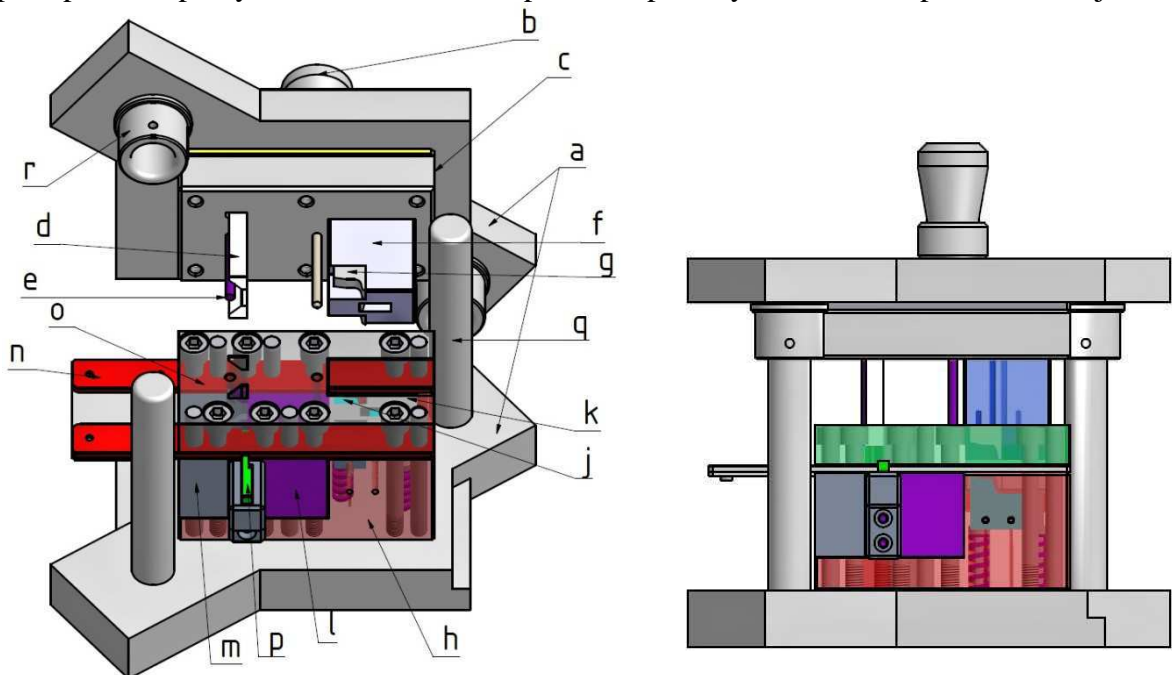
Poloha stopky je podle obrázku 47 stanovena tak, že ve směru osy X je vzdálená 49 mm od nulového bodu a na ose Y leží. Hodnoty byly při výpočtech zaokrouhleny na jedno desetinné číslo, protože vyšší přesnost není potřeba.

3.2.4 Popis nástroje

Konstrukce nástroje umožňuje výrobu celé součásti ve třech krocích. Přehledně je nástroj znázorněn na obrázku 48.

Nástroj je konstruován s normalizovaným ocelovým vodícím stojánkem (obr. 48 a), který slouží k upevnění nástroje na stůl a na beran lisu. Do beranu lisu jen upnuta horní část nástroje pomocí stopky (b), která je umístěna ve výslednici sil. Stojánek je veden dvěma klusnými vodícími vložkami (r) po kolících (q). Na horní části nástroje je přišroubována kotevní deska (c), která obsahuje střížníky pro stříhání zkosení (d) a otvoru o průměru 5 mm (e), hledáček a sdužený lisovník (f). Tento lisovník obsahuje tři tvarové vložky (g), které po nastřížení ohnou a zkalibrují součást do konečného tvaru. Mezi kotevní deskou a horní částí stojánku je 4 mm široká kalená opěrná deska, která brání vtláčování střížníku do stojánku.

Spodní část nástroje je upevněná na stole lisu za spodní část stojánku (a) pomocí upínek. Na spodní části stojánku je přišroubována základová deska (h), ve které je umístěna ohybnice a lisovací vložky (j) s přidržovačem (k). Na střížnici jsou otvory pro stříhání, vedení hledáčku a upravená hrana pro oddělení polotovaru v třetím kroku. Střížnice je konstruována ze dvou dílů (l), (m) přišroubovaných k základové desce. V lisovací části je v základové desce umístěn přidržovač s vybráním pro spodní vložky lisovníků, které prostříhnou a ohnou součást při dosednutí horní části nástroje. Přidržovač je veden na dvou vodících tyčích s tlačnými pružinami. Pás plechu je veden mezi vodícími lištami (n) a mezi střížnicí a vodící deskou (o). Vodící deska je umístěna nad střížnou částí nástroje a končí u střížné hrany třetího kroku. Vodící lišty jsou v celé délce nástroje a na vstupní části jsou prodlouženy a spojeny opěrnou deskou pro snadnější zavádění pásu plechu. V posledním kroku bude součást oddělena od pásu plechu a po vylišování bude dalším posunem pásu vysunuta mimo prostor nástroje.



Obr. 48 Sdužený postupový nástroj

Vedení a posun pásu plechu je zprostředkováno pomocí mechanizovaného podavače. Pro zavedení pásu je použit načínací doraz (p), umístěný v místě zkosení rohu na součásti, a při dalším posunu bude k ustavení délky kroku použit hledáček. U ohybu je hodnota odpružení stanovena na $0,26^\circ$, o kterou budou úhly funkčních částí lisovníku zvětšeny.

3.3 Volba stroje

Výsledná střižná síla je $F_T = 112\,478\text{ N}$, práce při stříhu $A_s = 271\text{ J}$, ohybová síla při ohýbání je $F_{cu} = 27\,271,2\text{ N}$ a velikost ohybové práce je $A_u = 54\text{ J}$.

➤ Celková velikost práce

$$A_c = A_s + A_u = 271 + 54 = 325\text{ J}$$

Výsledná síla potřebná k vylisování byla spočítána na $F_c = 139\,749,2\text{ N} = 139,8\text{ kN}$ a celková potřebná práce na $A_c = 325\text{ J}$. Tyto hodnoty byly klíčové při volbě výrobního stroje, který musí mít jmenovité hodnoty větší, než jsou požadované. Jako vhodný stroj byl vybrán výstředníkový lis LEN 40 C od firmy TOMA INDUSTRIES s.r.o. (obr. 49) se jmenovitou tvářecí silou 400 kN, který je součástí strojního parku firmy. Tento lis je vhodný pro plošné tváření za studena jako stříhání, ohýbání, tažení a rovnání.

Tab. 7 Parametry lisu LEN 40 C [37]

Jmenovitá tvářecí síla	400	kN
Maximální odebraná práce	800 / 450	J
Sevření (bez stolní desky)	295	mm
Upínací plocha stolu	530 x 660	mm
Tloušťka stolní desky	75	mm
Upínací plocha beranu	250 x 400	mm
Přestavitelnost beranu	60	mm
Max. tloušťka plechu	6,4	mm
Počet zdvihů při trvalém chodu	70/140	min-1
Pracovní tlak	0,5 / 6,3	MPa
Výkon hlavního motoru	3,5 / 7,0	kW



Obr. 47 Lis LEN 40 C [37]

4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [22], [34]

Konstrukce této součásti byla upravena tak, aby odpovídala technologičnosti použitých technologií. Ze součásti byly odstraněny nevhodně zaoblené rohy, které byly nahrazeny lépe vyrobitelným zkosením. Ze dvou variant nástřihového plánu byla vybrána varianta s umístěním součásti ve směru posunu plechu, která umožňuje jednodušší konstrukci nástroje a vyšší využití materiálu až na 90 %. Vzhledem k výrobní sérii 150 000 ks a výraznému cenovému rozdílu mezi svitkem a tabulí byl pro výrobu vybrán svitek plechu o rozměrech 1200 x 500 x 27 x 2 mm.

V rámci ekonomického zhodnocení budou zjištěny přibližné náklady na výrobu jedné součásti. Velikost výrobní série je $N = 150\,000$ ks za rok. Náklady na pořízení výrobního stroje nejsou zvažovány z důvodu předpokladu, že lis je součástí strojního parku firmy. Do výsledné ceny součásti budou zahrnuty i náklady na povrchovou úpravu. Cenu konečné součásti ovlivní také náklady na její materiál, na mzdy, energie, režijní náklady a náklady spojené s konstrukcí nástroje.

Pořizovací náklady na materiál budou určeny dle kapitoly 3.1 z počtu potřebných svitků plechu na výrobu roční série $n_{svit} = 16$ ks při hmotnosti jednoho svitku $m_{sv} = 196,83$ kg.

- Celková hmotnost svitků

$$m_{csv} = m_{sv} \cdot n_{svit} = 196,83 \cdot 16 = 3\,149 \text{ kg}$$

- Cena všech svitků

Firmou Arcelor Mittal FCE CZ s.r.o. byla cena 1 kg materiálu stanovena na $C_m = 18,07$ Kč / kg.

$$N_{csv} = m_{csv} \cdot C_m = 3149 \cdot 18,07 = 56\,908 \text{ Kč}$$

- Hmotnost jedné součásti

$$m_{ks} = S_v \cdot s \cdot \rho_{ocel} = 1212,37 \cdot 2 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6} = 0,019 \text{ kg}$$

- Celková hmotnost součástí

$$m_{cks} = m_{ks} \cdot N = 0,019 \cdot 150\,000 = 2\,837 \text{ kg}$$

- Hmotnost odpadu

$$m_{od} = m_{csv} - m_{cks} = 3\,149 - 2\,837 = 312 \text{ kg}$$

- Zhodnocení odpadu

Cena výkupu odpadního materiálu je $C_{od} = 3$ Kč / kg

$$N_{od} = C_{od} \cdot m_{od} = 3 \cdot 312 = 937 \text{ Kč}$$

- Výsledná cena materiálu

$$N_{cm} = N_{csv} - N_{od} = 56\,908 - 937 = 55\,970 \text{ Kč}$$

- Cena materiálu na jeden kus

$$N_{msk} = \frac{N_{cm}}{N} = \frac{55\,970}{150\,000} = 0,37 \text{ Kč}$$

Do ceny součásti musí být započítány i náklady spojené s konstrukcí nástroje. Skutečná cena nástroje se skládá z nákladů na materiál, nákladů na zpracování a zisků výrobce. Náklady na zpracování zahrnují mzdy pracovníků a režijní náklady podniku. Náklady na materiál nástroje jsou závislé na jakosti použitého materiálu, na hmotnosti jednotlivých dílů a na nákladech spojených s manipulací a dopravou. Pro navrhovaný nástroj byla cena stanovena odhadem dle výroby podobných nástrojů na $N_n = 180\,000$ Kč.

Náklady na mzdy jsou odvislé od hodinové mzdy pracovníka a celkového výrobního času. Výše hodinové mzdy obsluhy lisu je $C_{prac} = 135$ Kč. Výrobní čas zahrnuje dobu pro zahájení a ukončení směny v délce 1 hodiny na směnu. Na každou výměnu a seřízení nového svitku je počítáno s 30 minutami. Délka předpokládané pracovní doby je 7,5 hod. na jednu směnu. Počet zdvihů beranu lisu byl navržen na $n_z = 30 \text{ min}^{-1}$, tato hodnota bude upravena po zavedení do výroby.

- Počet součástí vyrobených za hodinu

$$n_{hks} = n_z \cdot 60 = 30 \cdot 60 = 1\,800 \text{ ks}$$

- Počet výměn svitků za směnu

$$n_{hsv} = \frac{7,5 \cdot n_{svit} \cdot n_z}{N} = \frac{7,5 \cdot 16 \cdot 1\,800}{150\,000} = 1,44$$

Počet svitků vyměněných za jednu směnu je $n_{hsv} = 1,44$, tedy za směnu bude svitek měněn jednou.

- Počet hodin na výrobu všech součástí

$$n_{chks} = \frac{N \cdot 7,5}{n_{hks} \cdot (7,5 - 1 - 1 \cdot 0,5)} = \frac{150\,000 \cdot 7,5}{1\,800 \cdot 5} = 105 \text{ hod.}$$

- Přímá mzda obsluhy lisu s navýšením na super hrubou mzdu o 34%

$$M_o = n_{chks} \cdot C_{prac} \cdot 1,34 = 105 \cdot 135 \cdot 1,34 = 18\,994,5 \text{ Kč}$$

- Náklady na mzdu včetně režie

Správní režie jsou $S_{sr} = 110\%$ z M_o a výrobní režie jsou $V_{vr} = 340\%$.

$$M_C = M_o \cdot (S_{sr} + V_{vr}) = 18\,994,5 \cdot 4,5 = 85\,475,25 \text{ Kč}$$

Náklady na energie zahrnují spotřebu energie vlastním lisem a energii spotřebovanou ostatním pomocným zařízením. Typ ani spotřeba energie přídavných zařízení pro práci lisu, jako podavač, rovnačka nebo jeřáb nejsou známy, proto bude spotřeba energie stanovena pouze pro výrobní lis. Příkon lisu je $P_{STR} = 3,5$ kW a cena elektrické energie nabízená společností PRE je pro podnikatele $C_e = 5$ Kč / kWh.

- Náklady na energie

$$N_{ener} = P_{STR} \cdot n_{chks} \cdot C_e = 3,5 \cdot 105 \cdot 5 = 1\,837,5 \text{ Kč}$$

Náklady na součást musí být ještě navýšeny o cenu povrchové úpravy nabízené firmou Reno-Tech.cz, s.r.o. která je $C_{zz} = 9$ Kč / kg

- Náklady na součást bez zisku

$$N_{ks} = \frac{N_{cm} + M_C + N_n + N_{ener} + (m_{cks} \cdot C_{zz})}{N}$$
$$N_{ks} = \frac{55\,970 + 85\,475,25 + 180\,000 + 1\,837,5 + 25\,533}{150\,000} = 2,33 \text{ Kč}$$

Výše zisků výrobců se liší v závislosti na vyráběném množství, typu výrobku, velikosti firmy a podobně. Součást bude v tomto případě vyráběna se ziskem 40%.

- Náklady na součást se ziskem

$$N_{zks} = N_{ks} \cdot 1,4 = 2,17 \cdot 1,4 = 3,26 \text{ Kč}$$

- Fixní náklady

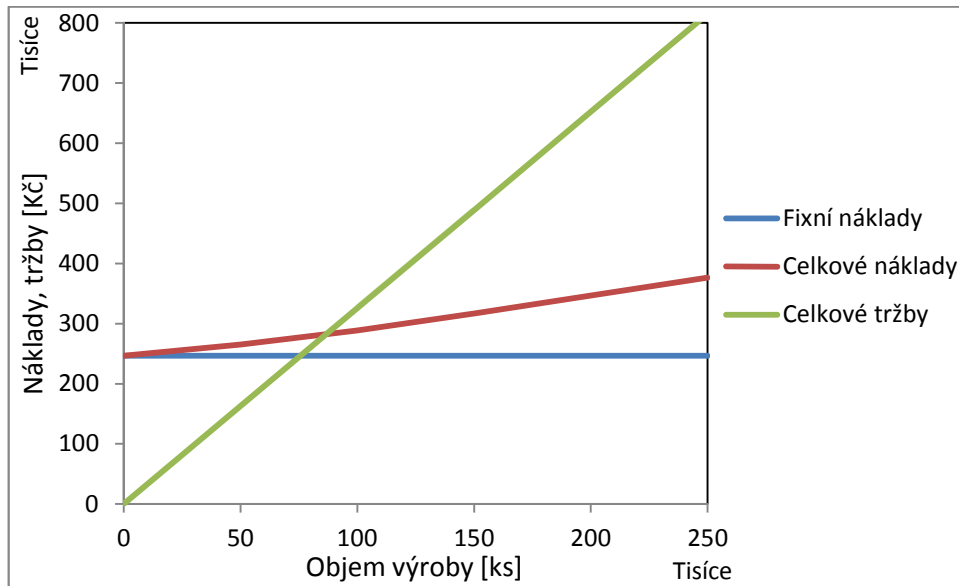
$$N_{fx} = M_C + N_n - M_o = 85\,475,25 + 180\,000 - 18\,994,5 = 246\,480,75 \text{ Kč}$$

- Variabilní náklady

$$N_{var} = N_{msk} + \frac{M_o}{N} = 0,37 + \frac{18\,994,5}{150\,000} = 0,5 \text{ Kč}$$

➤ Bod zvratu

$$b_z = \frac{N_{fx}}{N_{zks} - N_{var}} = \frac{246\,480,75}{3,26 - 0,5} = 89\,196 \text{ ks}$$



Obr. 50 Bod zvratu

Z grafu na obrázku 50 vyplývá, že výroba začne být zisková při sérii větší než 89 196 kusů výtisků. Vzhledem k tomu, že roční dávky je 150 000 kusů, výroba bude zisková.

➤ Roční zisk

Roční zisk je spočítán pro roční sérii bez daně.

$$Z_{rok} = (N - b_z) \cdot (N_{zks} - N_{ks}) = (150\,000 - 89\,196) \cdot (3,26 - 2,33) = 56\,548 \text{ Kč}$$

ZÁVĚR

Řešený kotevní prvek slouží k uchycení terasového prkna na hranol nosné konstrukce. Součást je vyráběna z ocelového plechu 11 375.20 tloušťky 2 mm s výrobní sérií 150 000 ks. S ohledem na požadavek dlouhé životnosti součásti celoročně vystavené povětrnostním podmínkám je pro zvolený materiál navržena povrchová úprava žárovým zinkováním.

Z variantního řešení výrobních technologií byla vybrána jako nejvýhodnější výroba stříháním a ohýbáním ve sdruženém nástroji.

S ohledem na požadavky zvolených technologií bylo nutné provést na řešené součásti konstrukční úpravy. U technologie stříhání byly nevhodně zaoblené rohy nahrazeny snáze vyrobitelným zkosením. Podle tvaru a rozměru součásti byla vybrána nejvhodnější varianta nástřihového plánu. Ze srovnání jednotlivých variant využití materiálu vyšly nejvýhodněji tabule plechu o rozměrech 1,25 x 2,5 m, které mají využití 90,9 %, a svitek plechu o rozměrech 1200 x 500 x 27 x 2 mm s využitím 90,1 %. Po zohlednění nákupní ceny byl jako nejvýhodnější varianta zvolen svitek plechu.

Pro řešenou součást byly provedeny technologické a konstrukční výpočty, na základě kterých byl navržen sdružený postupový nástroj se spodním přidržovačem. Z celkových rozměrů nástroje, tvářecí síly a práce byl pro výrobu zvolen výstředníkový lis LEN 40 C.

Ekonomickým zhodnocením byly stanoveny výrobní náklady na jednu součást ve výši 3,26 Kč a to včetně 40% zisku. V závislosti na těchto hodnotách byl stanoven bod zvratu. Za předpokladu že výrobní série přesáhne hodnotu 89 196 ks, lze tvrdit, že se výroba stane ziskovou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [6]

1. 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-
2. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
3. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, c2004, xix, 219 p. ISBN 08-311-3182-9.
4. BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 114 s. ISBN 80-248-0068-3. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
5. *Ceny žárového zinkování*. RENO – TECH.CZ, s.r.o. [online]. © 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.reno-tech.cz/docs/RT_zinkovani.pdf
6. *Citace.com* [online]. © 2004-2013 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
7. ČADA, Radek. *Technologie I: část tváření a slévání : (návodů do cvičení)*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005, 180 s. ISBN 978-80-248-0795-9.
8. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřle: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ÚNM, 1977.
9. ČSN 22 7340 (227340) *A Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet = Pressing tools. Bending dies. Calculation and design rules*. -- Praha : Vydavatelství norem, 1991. -- 16 s.. ISBN: Kč 211.00. Sign: ČSN 22 7340
10. DEEP INDUSTRIAL CORPORATION. *Mechanical Power Press* [online]. © 1996-2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.indiamart.com/deepindustrialcorporation/mechanical-powerpress.html> VÝROBA SOUČÁSTI
11. 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.
12. ESAB VAMBERK, s.r.o. *ESAB Style sheet* [online]. 3013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/global/en/news/image-archive.cfm>
13. FERRUM PLZEŇ S.R.O. *Výběr konstrukčních ocelí pro žárové pozinkování ponorem* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.ferrum.cz/technicka-normalizace/aktuality-4/217-vyber-konstr-oceli-pro-zarove-pozinkovani/>
14. Fibro. *Elastomere - Desky a profily FIBROFLEX®* [online]. © 2004-2007. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.fibro.de/xdesk_neu/ximages/265/1217_teilg.pdf
15. FLOW INTERNATIONAL CORPORATION. *Řezání abrazivním vodním paprskem* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology/abrasive-waterjet.aspx>
16. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
17. JANATA, Marek. *PR Ů MYSLOVÉ LASERY A JEJICH APLIKACE*. AIR PRODUCTS SPOL. S R.O. *Svařování a tepelné dělení* [online]. c 1996-2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.airproducts.cz/metalfabrication/svarovani/pdf/Lasery_clanek-MJ.pdf
18. *Katalog pásové oceli válcované za studena*. NOVÁ HUŤ - Válcovna za studena, spol. s r.o. [online]. © 2008 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/katalog_cz.pdf
19. KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena* [online]. Dotisk. České vysoké učení technické v Praze, 1978 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/NVPO_nastroje_pro_tvareni.pdf
20. LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
21. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.

22. MORAVEC Jiří: Výroba pantu. Brno, 2011. 62 s., CD. FSI VUT v Brno, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
23. NEREZMATERIAL.CZ. *Internetový obchod s nerezovým materiálem* [online]. c 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.nerezmaterial.cz/index.php?str=produkty&k=plechy&r2=x1500&jakost=xWst-t-Nr-t--m-1-t-4016&povrch=x2B&r1=x2>
24. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
25. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje. Část I. - Tváření. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 112 s.
26. Plechy černé za tepla válcované. KONDOR, s.r.o. KONDOR, s.r.o. - prodej a dělení hutních materiálů [online]. © 2011 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz/plechy-cerne-za-tepla-valcovane/c-1503/?iop=21>
27. PODANÝ, Kamil. Problematika tváření elastomery. Brno, 2012. Dostupné z: <http://opus.fme.vutbr.cz/dokumenty/moduly/Podany.pdf>. Vzdělávací a tréninkový modul. Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství.
28. PPP PODLAHY A. S. *PPP Podlahy: dřevěné podlahy z exotických dřevin* [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.ppp-podlahy.cz/e-shop/venkovni-terasy/pohledove-skryty-spoj/>
29. Přehled vlastností oceli S355J2. BOHDAN BOLZANO S.R.O. Velkoobchod s hutním materiálem [online]. © 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/S355J2G3/>
30. Přehled vlastností oceli X6Cr17. BOHDAN BOLZANO S.R.O. Velkoobchod s hutním materiálem [online]. © 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/zaruvzdorne_oceli/korozivzdorne/Materialovelisty/feriticke/X6Cr17/
31. Příklady vhodných a nevhodných aplikací vodního paprsku. CHPS S.R.O. CHPS s.r.o.: řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů [online]. [2009] [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/priklady-aplikaci.html>
32. ROHAN, Pavel. Zásobování laseru technickými plyny od Air Products. AIR PRODUCTS SPOL. S R.O. Svet svaru: časopis o moderních trendech ve svařování [online]. c 1996-2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2010-1%20TP%20pro%20laser.pdf>
33. SADÍLEK, Marek. Nekonvenční metody obrábění I. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 146 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
34. SUCHOMEL, Svatoslav. Výroba objímky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2011. 68 s, 3 přílohy, 4 výkresy, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
35. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. Speciální technologie I a II: Návody do cvičení - část: plošné tváření. 1. vyd. Brno: Rektorát vysokého učení technického v Brně, 1991, 109 s. ISBN 80-214-0259-8.
36. ŠPINLEROVÁ, Marie. Technologie: Obor Nástrojař [online]. Opava, 2007 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
37. TOMA INDUSTRIES S.R.O. Výstředníkové lisy [online]. © 2011 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.toma.sk/sk/forming-technology/tvarniaca-technika/vystrednikove-lisy/>
38. WPC - WOODPLASTIC A.S. *Terasové Centrum - MojeTerasa.cz* [online]. © 2011 [cit. 2013- 5-22]. Dostupné z: <http://eshop.mojeterasa.cz/spojovaci-klip-s-vrutem-silva-emo>
39. ŽĎAS, a.s. [online]. [2012] [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=66>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A_c	[J]	celková práce
A_s	[J]	velikost střižné práce
A_u	[J]	velikost ohybové práce
A_v	[J]	velikost ohybové práce
B	[mm]	šířka pruhu nebo svitku
C_e	[Kč/kWh]	cena elektrické energie
C_m	[Kč/kg]	cena jednoho kilogramu svitkové oceli 11 375
C_{od}	[Kč /kg]	cena odpadního materiálu
C_{prac}	[Kč]	hodinový plat obsluhy lisu
C_U	[-]	konstanta zohledňující stav napjatosti při ohybu
D_{sv}	[mm]	vnější průměr svitku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F_c	[N]	celková velikost síly
F_{cu}	[N]	velikost celkové ohybové síly
F_K	[N]	kalibrovací síla
F_{si}	[MPa]	střižná síla
F_{ss}	[N]	velikost střižné síly pro šikmý nůž
F_{sui}	[N]	síla ohýbání a stříhání
F_T	[N]	celková velikost střižné síly pro všechny střižníky
F_u	[N]	síla při U ohybu
F_v	[N]	síla při V ohybu
H	[mm]	šířka střižnice
K	[mm]	délka kroku
L_s	[mm]	délka svitku plechu
M_c	[Kč]	mzda včetně režie
M_o	[Kč]	přímá mzda obsluhy
N	[ks]	velikost série
N_{cm}	[Kč]	výsledná cena materiálu
N_{csv}	[Kč]	cena všech svitků
N_{fx}	[Kč]	fixní náklady
N_{ks}	[Kč]	náklady na součást bez zisku
N_{msk}	[Kč]	cena materiálu na jeden kus
N_n	[Kč]	náklady na nástroj
N_{od}	[Kč]	hodnota odpadu

N_{var}	[Kč]	variabilní náklady
N_{zks}	[Kč]	náklady na součást se ziskem
P_{STR}	[kW]	příkon lisu
R_1	[mm]	poloměr vnitřní plochy ohýbané součásti
R_2	[mm]	poloměr vnější plochy ohýbané součásti
R_e	[MPa]	mez kluzu,
R_{eH}	[MPa]	horní mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti stříhaného materiálu
R_{max}	[mm]	maximální poloměr ohybu
R_{min}	[mm]	minimální poloměr ohybu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
S	[mm]	velikost střížné plochy
S_p	[mm ²]	obsah tabule plechu
S_s	[mm ²]	obsah svitku plechu
S_{si}	[mm]	plocha střížníku
S_{sr}	[%]	správné režie
S_v	[mm ²]	obsah jednoho výstřížku
V_{vr}	[%]	výrobní režie
Z_{rok}	[Kč]	zisky za rok
b	[mm]	šířka ohybu
b_1	[mm]	pomocné hodnoty pro výpočet ramene l_3
b_t	[mm]	šířka tabule plechu
b_z	[ks]	bod zvratu
c	[-]	koeficient zohledňující materiál při ohybu
c_1	[mm]	pomocné hodnoty pro výpočet ramene l_3
c_o	[-]	koeficient zohledňující tření a délku ramene
c_s	[-]	koeficient závislý na stupni stříhu
d	[mm]	průměr
d_{sv}	[mm]	vnitřní průměr svitku
e_1	[mm]	pomocné hodnoty pro výpočet ramene l_3
f	[-]	součinitel dynamického tření oceli po oceli
f_1	[mm]	pomocné hodnoty pro výpočet ramene l_3
g_1	[mm]	pomocné hodnoty pro výpočet ramene l_3
h_1	[mm]	rozměr upínací drážky na vyráběném klipu
h_1	[mm]	rozměr upínací drážky na vyráběném klipu
h_{el}	[mm]	hloubka vniku nástroje v první fázi
h_o	[mm]	dráha ohybníku

h_{pl}	[mm]	hloubka vniku nástroje v druhé fázi
h_s	[mm]	hloubce vniku nástroje
k	[-]	součinitel zohledňující vlivy působící při stříhání
k_o	[-]	koeficient určující polohu neutrální vrstvy
l_{oi}	[mm]	délka rozvinuté hrany
l_a	[mm]	délka ramene ohybu součásti
l_c	[mm]	délka rozvinuté součásti
l_i	[mm]	délka ramene rozvinuté součásti
l_{krit}	[mm]	kritická délka střížníku
l_s	[mm]	délka křivky stříhu
l_t	[mm]	délka tabule plechu
l_u	[mm]	vzdálenost mezi opěrami ohybnice pro tvar U
l_v	[mm]	vzdálenost mezi opěrami ohybnice pro tvar V
m_{cks}	[kg]	celková hmotnost součástí
m_{csv}	[kg]	celková hmotnost všech svitků
m_{ks}	[kg]	hmotnost jedné součásti
m_{od}	[kg]	hmotnost odpadu
m_{sv}	[kg]	hmotnost svitku
n	[ks]	počet výstřižků z tabule plechu
n_{hks}	[ks]	součástí vyrobených za hodinu
n_{hsv}	[ks]	počet svitků za směnu
n_{chks}	[hod]	počet hodin na výrobu všech součástí
n_{ki}	[ks]	počet kusů na tabuli
n_{si}	[ks]	počet výstřižků ze svitku plechu
n_{svit}	[ks]	svitků na sérii
n_{tab}	[ks]	tabulí na sérii
n_z	[min ⁻¹]	vyrobených dílů za minuty
p	[mm]	tolerance šířky plechu
p_s	[mm]	výrobní tolerance vzdálenosti lišt
r_m	[mm]	poloměr ohybnice
r_o	[mm]	poloměr ohybníku
r_p	[mm]	poloměr ohýbané součásti během procesu
s	[mm]	tloušťka stříhaného materiálu
s_{max}	[mm]	maximální tloušťka plechu
v	[mm]	střížná vůle
v_s	[mm]	vůle mezi pásem plechu a vodící lištou
x	[-]	koeficient posunutí neutrální vrstvy

x_i ,	[mm]	polohy působíště síly nástroje v ose x
x_T ,	[mm]	polohy těžiště celkové síly
y_i	[mm]	polohy působíště síly nástroje v ose y
y_T	[mm]	polohy těžiště celkové síly
z	[mm]	střížná mezera

Symbol	Jednotka	Popis
α	[°]	úhel ohybu
γ	[°]	úhel uhnuté části
ε_{\max}	[-]	maximální poměrné přetvoření
ε_{\min}	[-]	minimální poměrné přetvoření
η_p	[%]	využití tabule plechu
η_{pc}	[%]	využití všech tabulí plechu
η_s	[%]	využití svitku plechu
η_{sc}	[%]	využití všech svitků plechu
κ	[°]	úhel sklonu nože
λ	[-]	součinitel plnosti diagramu
ρ	[mm]	poloměr neutrální vrstvy deformací při ohybu
ρ_n	[mm]	poloměr neutrální vrstvy při ohybu
ρ_{ocel}	[kg/m ³]	hustota oceli
$\sigma_{1, 2, 3}$	[MPa]	směrové napětí při stříhu
σ_{dovol}	[MPa]	dovolené napětí při kontrole vtačení střížníků
σ_k	[MPa]	napětí při ohybu
σ_p	[MPa]	napětí při ohybu zvětšené zpevněním materiálu
σ_{s1}	[MPa]	napětí na osazení nejmenšího střížníku
τ_s	[MPa]	střížný odpor
ψ	[-]	součinitel plnosti diagramu pro ohyb

Zkratka

ČSN

TOO

Popis

česká národní norma

tepelně ovlivněná oblast

SEZNAM VÝKRESŮ

2013-BP-134085-1	Výkres součásti
2013-BP-134085-2	Výkres 1. střížnice
2013-BP-134085-3	Výkres 1. střížníku
2013-BP-134085-4	Výkres 1. ohybníku
2013-BP-134085-5	Výkres 1. ohybnice
2013-BP-134085-SP-01	Výkres sestavy
2013-BP-134085-SP-02	Seznam položek

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tabulky technologických hodnot
Příloha 2	Technické parametry lisů

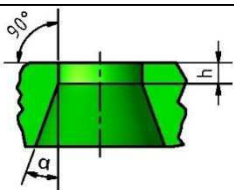
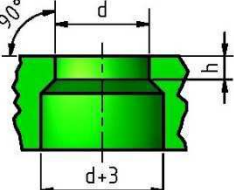
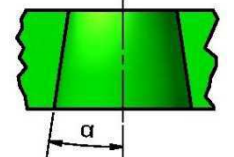
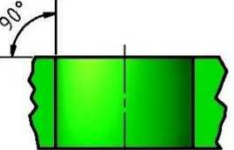
Tab. 1 Hodnoty koeficientu posunutí neutrální vrstvy x [1]

Mez pevnosti R _m [MPa]	poměr R ₁ /s											
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
do 400	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,36	0,37	0,38
Mez pevnosti R _m [MPa]	poměr R ₁ /s											
	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
do 400	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
nad 400	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49

Tab. 2 Hodnota koeficientu c₀ [24]

Tloušťka materiálu s [mm]	Délka ramene l _a [mm]								
	do 10	do 20	do 35	do 50	do 75	do 100	do 150	do 200	
0,5 až 2	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	
2 až 4	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	

Tab. 3 Geometrie střížnice [24]

Schéma	Vlastnosti	Použití
	h = 5 až 10 mm pro s = 0,5 až 5 mm $\alpha = 3$ až 5°	Kuželová s válcovou fazetou - pro vysoké počty kusů, - pro kusy komplikovaných tvarů, - pro vysoké přesnosti,
	h = 5 až 10 mm pro s = 0,5 až 5 mm	Válcová s rozšířením - pro děrování - do d = 5 mm
	$\alpha = 0,3$ až $0,5^\circ$ pro s = 1 až 2 mm $\alpha = 0,5$ až $0,75^\circ$ pro s = 2 až 4 mm	Kónická - pro střední počty kusů, - pro vystřihování malých součástí, - střední přesnosti,
	-	Válcová nebo prizmatická - při použití vyhazovače - pro rozměrné obrobky

Tab. 1 Technické parametry lisů [37]

Technické údaje		LEN25 C	LEN40 C	LEN 63 C	
Menovitá síla lisu		250	400	630	kN
Počet zdvihů – trvalý chod P/R		75/155	70/140	65/130	1/min
Využitelný počet jednotlivých zdvihů P/R		60/-	35/-	32/-	1/min
max. hrúbka spracovaného plechu P/R	trvalý chod	2,5/1,6	3,2/2	3,5/2,5	mm
	jednotlivé zdvihy	5/-	6,4/-	7/-	mm
maximálne odobratá práca P/R	jednotlivé zdvihy	630/400	1040/-	1540/-	J
	trvalý chod	320/200	800/425	770/700	J
elektromotor	výkon	2,5/5	3,5/7	3,5/7	KW
	otáčky	720/1430	710/1450	725/1450	1/min.
elektrické napätie	siet'ové	380 V/50 Hz			V/Hz
	ovládacie	24 V/50 Hz			
	osvetlenie	24 V/50 Hz			
tlakový vzduch	pracovný tlak	0,5 ÷ 0,63			Mpa
	spotreba vzduchu	0,005	0,006	0,009	m ³ /zdvih
	prípojka vzduchu	G 1/2 ''			
Parametre a rozmery					
staviteľnosť zdvihu	A	LEN25 C	LEN40 C	LEN 63 C	MJ
staviteľnosť barana	B	8.85	8.95	10-105	
vyloženie	C	55	60	70	
zovretie	E	225	265	315	
prieťah	F	265	295	335	
plocha stola		250	300	355	
plocha barana		450 x 560	530 x 660	630 x 800	
hrúbka stolovej dosky		220 x 355	250 x 400	280 x 450	
		65	75	85	
rozmery lisu	A ₁	1125	1250	1400	mm
	B ₁	2145	2370	2550	
	C ₁	1365	1585	1790	
	D ₁	1075	1220	1470	
	E ₁	760	830	970	
	F ₁	395	450	475	
	G ₁	455	505	570	
	H	800	800	800	
	H ₁	85	120	150	
	J ₁	120	130	150	
	K				
	K ₁	835	900	1100	
L ₁	668	738	850		
sklopenie stojana	α	0, 15°, 30°		0; 12,5°; 25°	
hmotnosť lisu		2500	4500	5850	kg