



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA MONTÁŽNÍ SPONY SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

MANUFACTURING OF A MOUNTING CLIP BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Erik Krčma

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Erik Krčma**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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

Výroba montážní spony sdruženým nástrojem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby montážní spony pro palubky. Součást bude vyráběna z plechu pomocí sdruženého postupového nástroje. Pro výrobu budou navrženy vhodné technologie plošného tváření, jejichž princip bude popsán v úvodní části diplomové práce. Praktickým výstupem bude návrh postupu výroby zadané součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na zvolené technologie plošného tváření.
Návrh postupu výroby a provedení technologických a kontrolních výpočtů.
Volba vhodného stroje.
Návrh tvářecího nástroje pro výrobu zadané součásti.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem technologie výroby montážní spony pro dřevěné palubky. Materiálem je zároveň pozinkovaná ocel DX51D+Z140 o tloušťce 0,5 mm. Roční série 600 000 ks bude zhotovena ze svitku plechu. Navržený výrobní postup je složen z pěti kroků, zahrnuje střížné, ohýbací a lisovací operace. Pro výrobu zadané součásti byl navržen sdružený postupový nástroj. Tvářecí síla potřebná pro zhotovení součásti je 189 kN. Pro výrobu byl zvolen mechanický lis PE30H od firmy Vaptech.

Klíčová slova

ocel DX51D+Z140, spona, postupový sdružený nástroj, plošné tváření, prostřihování, ohýbání

ABSTRACT

The master's thesis deals with the design of the production technology for mounting clip for wooden panels. The material is hot-dip galvanized steel DX51D+Z140 with a thickness of 0,5 mm. The annual series of 600 000 pieces will be made from a coil. The proposed production process consists of five steps, which involves punching, bending and embossing. A progressive die was designed for the production of the given part. The forming force required for stamping is 190 kN. A PE30H mechanical press from Vaptech company was chosen for the fabrication.

Key words

steel DX51D+Z140, mounting clip, progressive die, sheet metal forming, lancing, bending

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRČMA, Erik. *Výroba montážní spony sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140102>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba montážní spony sdruženým nástrojem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně dne 19.5.2022

.....
místo, datum

.....
Erik Krčma

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Dále děkuji rodině za veškerou podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Možnosti výroby.....	11
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	14
2.1 Stříhání	14
2.1.1 Střížná vůle	16
2.1.2 Střížná síla a práce	17
2.1.3 Uspořádání výstřížků na páse a nástřihový plán	18
2.2 Ohýbání	19
2.2.1 Odpružení, limitní poloměry a vůle.....	20
2.2.2 Síla a práce.....	22
2.2.3 Velikost polotovaru a rovnání	23
2.3 Technologičnost dílců	24
2.4 Lisování	26
2.5 Nástroje	27
2.5.1 Stříhadla a ohýbadla	28
2.5.2 Těžiště sil.....	32
2.6 Stroje	32
3 NÁVRH VÝROBY	34
3.1 Volba polotovaru.....	37
3.2 Výrobní postup	41
3.2.1 Odpružení	44
3.2.2 Síly a práce	44
3.2.3 Těžiště sil.....	50
3.3 Konstrukce nástroje	52
3.4 Funkční části nástroje a kontrolní výpočty.....	56
3.5 Volba stroje	59
ZÁVĚR.....	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Technologie tváření představuje hospodárný způsob výroby rozměrově malých i velkých součástí. Rozvoj této oblasti umožnil efektivně vyrábět obrovské množství dílců, aniž by se na samotném procesu tváření musel manuálně podílet člověk. V současnosti je výroba velkého množství součástí touto technologií stále bezkonkurenční. Nepřeberné množství součástí vzniká pomocí objemového nebo plošného tváření, přičemž vzniká minimum odpadu kupříkladu při porovnání s technologiemi obrábění. Tváření zasáhlo i do oblasti svařování a nahradilo také svařence. Mezi pozitivní vlastnosti patří také zlepšení mechanických vlastností nebo zvýšení tuhosti dílce pomocí jednoduchých prvků. Tvářené součástky lze nalézt prakticky ve většině průmyslových odvětví. Technologie tváření může být výhodná jak z ekonomického hlediska, tak i ekologického či časového. [1; 2; 3]

Pod oblast plošného tváření spadají plechové dílce tvářené především za studena. Vhodnou kombinací tvářecích operací, jako je např. stříhání, ohýbání, tažení či lisování, lze získat dílce, jejichž polotovarem byl rovný plech, viz obr. 1. Produkce takových dílců probíhá primárně v nástrojích, od jejichž složitosti a velikosti se odvíjí výrobní náklady. Proto se hojně uplatňují zejména při hromadné výrobě. [2; 3]



Obr. 1 Součásti vyráběné plošným tvářením [4].

1 ROZBOR SOUČÁSTI

Řešenou součástí je montážní spona z plechu. Výrobci a prodejci ji nabízí pod několika různými názvy jako například sponka na palubky, palubková přichytka, montážní klip atp. Spona slouží pro montáž dřevěných obkladových palubek (obr. 2) v interiéru či exteriéru. Spony lze využít i pro plastové palubky (obr. 3), resp. u jakýchkoliv obkladových panelů, které jsou spojovány systémem pero-drážka. Montáž pomocí spon vytváří neviditelný spoj (obr. 3), což je hlavní výhoda společně se snadnou montáží a případnou demontáží. U tohoto způsobu upevnění na podkladový rošt není nutné v palubkách předvrtávat otvory. Alternativní možnost upevnění je pomocí nastřelovacích spon, kolářských hřebíků nebo vruty, a to přímo na pohledovou stranu nebo pod úhlem do pera. Drážka spony dovoluje pohyb palubky, což umožňuje určitou dilataci, která je důležitá zejména při montáži plastových palubek v exteriéru na sluncem exponovaných místech. S tímto požadavkem souvisí dostatečná tuhost spon, aby nedocházelo k jejich deformaci při přirozené změně rozměrů palubek vlivem teploty či vlhkosti. [5; 6; 7; 8]



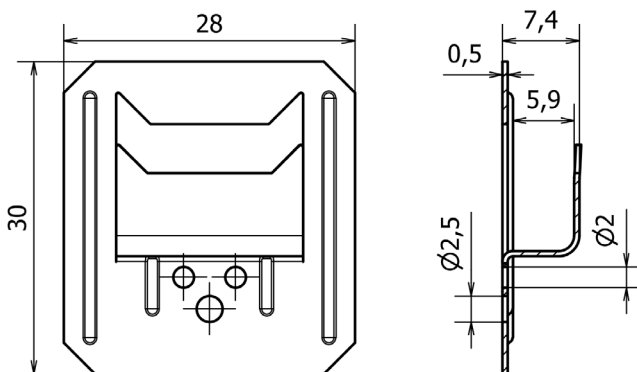
Obr. 2 Aplikace spon na dřevěné palubky [9].



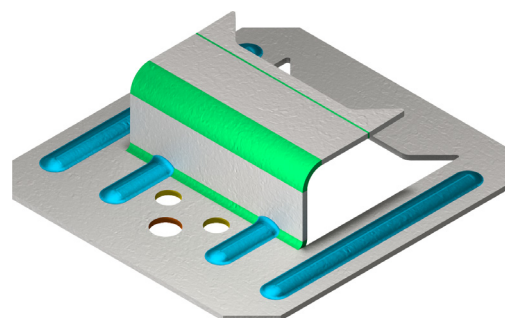
Obr. 3 Montáž plastových palubek [10].

Na trhu se vyskytuje nepřeberné množství různých zpracování tohoto dílce. Liší se zejména možnostmi uchycení na podkladový rošt či počtem uchycených palubek. Hlavní rozměry zadaného dílce jsou 30x28 mm, viz obr. 4. Důležitým parametrem je velikost spony, kterou udává šířka drážky (obr. 4), jež činí 5,9 mm. Ta je vhodná pro určitý rozměr palubek, které mají tloušťku dásně 6 mm, tj. tloušťku stěny drážky. V tomto případě je zadaná spona doporučena pro použití s palubkami tloušťky 19 mm. [11]

Řešená spona se na podkladový rošt připevňuje pomocí tzv. nastřelovací spony nebo hřebíku. K tomu slouží dvojice otvorů o průměru 2 mm nebo otvor o průměru 2,5 mm (červeně na obr. 5). Prolisy (modře na obr. 5) slouží pro podepření palubky a zvýšení tuhosti plechu. Stejně tak dva menší prolisy u ohybu (modře) zajišťují dostatečnou pevnost. Tloušťka plechu 0,5 mm je při zasunutí pera do drážky zanedbatelná. Kompletní rozměry spony viz výkres č. 2022-DP-200477-0. [10; 5]



Obr. 4 Rozměry spony.



Obr. 5 Vizualizace prvků součásti.

Součást bude vyráběna z pozinkovaného plechu DX51D+Z140 NACO, který vyhovuje požadavku na dostatečnou tuhost. Materiál DX51D je nízkouhlíková ocel pro tváření za studena. Mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tab. 1. Dle ČSN EN 10346 se značí 1.0917+Z. Odolnost proti případné korozi zajišťuje povrchová úprava pozinkováním (+Z140). Číslo 140 udává hmotnost vrstvy zinkového povlaku na obou stranách v g.m⁻². Tloušťka vrstvy povlaku činí typicky 10 μm na každé straně plechu. Povlak má obvyklý zinkový květ (N) s obvyklou jakostí povrchu (A), který je chemicky pasivován a olejován (CO). [12]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu pro tloušťku 0,5 mm [12].

Materiál	ocel DX51D+Z140 (1.0917+Z)					
Mechanické vlastnosti	Mez kluzu R _e [MPa]		Mez pevnosti R _m [MPa]		Tažnost min. A [%]	
	—		270-500		20	
Chemické složení	C max. [%]	Si max. [%]	Mn max. [%]	P max. [%]	S max. [%]	Ti max. [%]
	0,18	0,5	1,20	0,12	0,045	0,3

Povrchová úprava materiálu se provádí ještě před dodáním materiálu. Tenké plechy, nejčastěji ve formě svitku, jsou kontinuálně ponořovány do lázně s roztaveným zinkem a dalšími legurami. V případě žárového zinkování lázeň obsahuje až 5 % hliníku. Žárové zinkování nemá na tvařitelnost materiálu významný vliv. Při velkém přetvoření však může docházet k popraskání povlaku. [13]

Orientační spotřeba spon na 1 m² je přibližně 20 ks, konkrétní počet záleží na typu palubek, způsobu montáže apod. Je zde tedy požadavek na produkci ve velkých sériích. Velikost jedné série činí 600 000 ks ročně. [14]

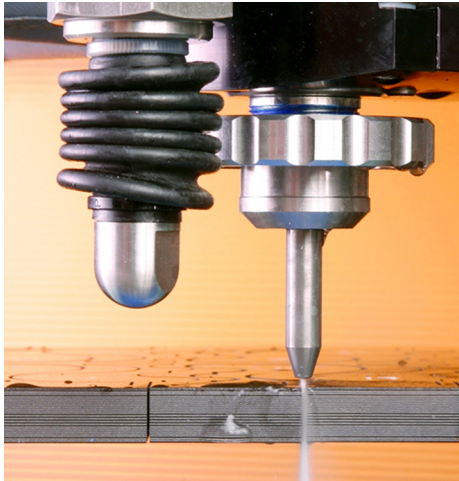
1.1 Možnosti výroby

Vzhledem k velikosti výrobní série je nutné zvolit vhodnou výrobní metodu součásti. Kromě toho se musí zohlednit také hospodárnost a ekonomičnost výroby. Je nasnadě výroba minimálně ve dvou fázích. Jako první se vyrobí přístřih s otvory. V další operaci či operacích bude zhotoven ohyb a prolisy. Přístřih může být vyroben pomocí následujících metod.

Řezání vodním paprskem – využívá vodu o vysokém tlaku v rozmezí 500-4000 bar (obr. 6). Působením vody o takto velkém tlaku na materiál vzniká abrazivní účinek a tím dochází k dělení materiálu. Vysokotlaká čerpadla dodávají vodu do řezací hlavy zakončené tryskou. Vzniklý vodní paprsek může být čistý nebo s přidaným abrazivem pro tvrdší materiály. Stroje mají nejčastěji typickou portálovou konstrukci. Veškeré pohyby jsou řízeny počítačem – CNC. Šířka řezné spáry se běžně pohybuje v rozmezí 0,7 až 1,5 mm. Přesnost výřezu je standartně 0,2 mm/m. U této metody nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu, jelikož se jedná o studený řez. Vzhledem k charakteru řezu nevznikají otřepy. Vyrábět přístřih touto metodou by bylo značně neproduktivní, vzhledem ke způsobu vyndávání menších dílců. Mimo to dochází ke kontaktu s vodou. [15; 16]

Dělení laserem – je založené na soustředění vysoké energie fokusovaného laserového paprsku do jednoho místa. Po dopadu paprsku na materiál dochází k jeho odstranění, a to ve třech základních režimech. Podle typu řezacího režimu se používají různé plyny, které vychází z laserové hlavy. Pro tavné řezání je používán inertní plyn, jako je dusík. U oxidačního řezání se využívá kyslíku, který pomáhá částečnému shoření kovu v proudu plynu. Při sublimačním režimu se materiál odpařuje a jeho páry jsou odfukovány inertním plynem např. dusíkem nebo argonem. Pohyb řezné hlavy je řízen počítačem a lze tak aplikovat letmé řezání pro omezení deformace tenkého materiálu místo řezání např. obrysu najednou. Tolerance výpalků se

pohybuje okolo 0,1 mm. Způsob umístění tabule plechu v pracovním prostoru stroje (obr. 7) naznačuje dodatečné odstraňování výpalků z plechu. Dělení laserem lze s výhodou kombinovat s vysekáváním na kombinovaných CNC strojích včetně automatického odebrání hotových dílců. [17; 18; 19]



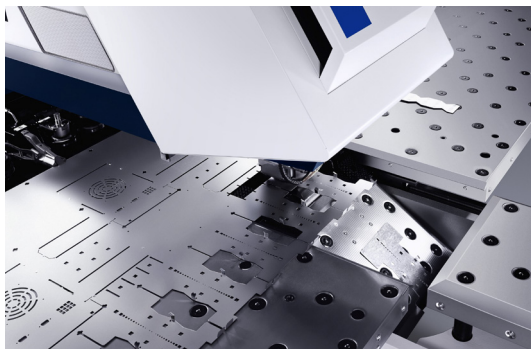
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [16].



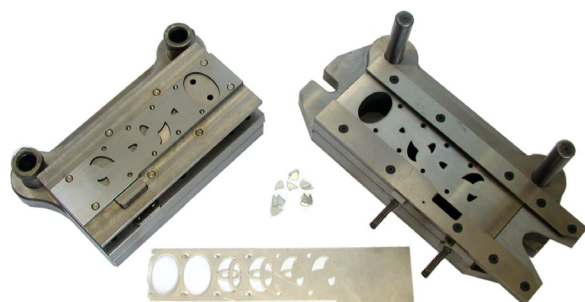
Obr. 7 Dělení laserem [20].

Vysekávání – probíhá na CNC strojích, kdy je plech upnut programovatelnými klapkami na pohyblivém stole, přičemž upínací hlava se nepohybuje vůči rámu stroje a polotovar je tak podáván do nástroje. Tvářecí operace probíhají v nástroji složeném do tzv. kazety, ve které se nachází razník a matrice. Nástroje se mohou otáčet okolo vlastní osy a podle jejich určení lze provádět různé operace, jako je např. děrování, ohýbání, vystřihování nebo ražení. Současné stroje nabízí možnost automatizace procesu včetně vyhazování hotových dílců (obr. 8). Vysekávání zvyšuje flexibilitu výroby, ale je vhodné zejména pro kusovou a malosériovou výrobu, jelikož například vystřihování z tabule probíhá na několik zdvihů nástroje. [21; 22; 23]

Střížný nástroj – bývá upnutý na stole mechanického či hydraulického lisu. Skládá se, podobně jako u vysekávání, ze střížníku a střížnice. Oddělení materiálu zajišťují střížné hrany nástroje při silovém působení na materiál a protiběžném pohybu střížníku vůči střížnici. Vedení materiálu zajišťují vodící lišty. Zpravidla bývá zhotoven pro jednu konkrétní geometrii oproti výše zmíněným možnostem. Podle konstrukce nástroje je možno např. v prvním kroku vyhotovit otvory, v dalším kroku polotovar vystřihnout z pásu plechu v rámci jednoho zdvihu stroje. Jednalo by se o tzv. postupový nástroj (obr. 9). Výhodou je především možnost automatického podávání materiálu a vyhazování výstřížků. Pro velké série se jeví jako nejproduktivnější způsob výroby přístříhu. [24]



Obr. 8 Vysekávací stroj [23].



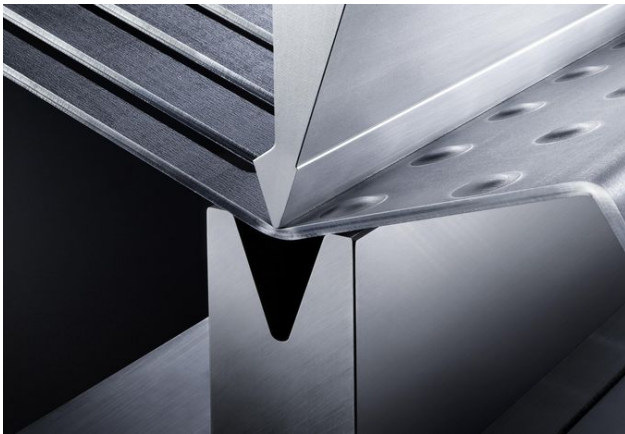
Obr. 9 Postupový střížný nástroj [25].

Ke zhotovení ohýbaných prvků lze uvažovat tyto metody:

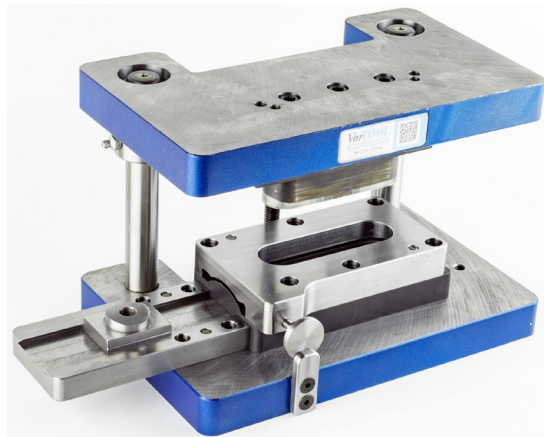
Ohýbací lis – bývá v provedení s ručním nebo strojním vyvozením síly. Při ručním ohybu síla vzniká pákovým mechanismem a zároveň se tak ovládá pohyb lisu. Ohyb se realizuje podobně jako stříhání, ovšem hrany ohybníku a ohybnice mají příslušné zaoblení. Polohu při zakládání zajišťuje odpovídající doraz. Vzhledem k tvaru součásti by bylo vhodné zkonstruovat odpovídající přípravek pro dílenský lis. Další variantou je sestavení speciální ruční ohýbačky, jelikož tloušťka plechu je poměrně malá. K vytvoření prolisů by však zřejmě bylo potřeba ještě dalšího přípravku. Velkou nevýhodou je ruční zakládání přístřihu z čehož plyne značná nehospodárnost vzhledem k velikosti výrobní série. [24; 26]

Ohraňování – je proces, kdy k ohybu plechu dochází pomocí pohybujícího se razníku, který postupně zajíždí do matrice (obr. 10). Ohyb se realizuje buďto jako volný nebo s dotlačením, tzn. že mezi razníkem a matricí není žádná vůle, tedy rozměry daného ohybu jsou kalibrovány. Ohraňovací nástroje lze poměrně snadno měnit a kombinovat, resp. provádět více operací na jednom ohraňovacím centru. Stroje disponují nastavitelnými zadními dorazy, které zajišťují přesnou polohu dílce. Ohraňování nachází využití především u větších dílců v kusové a malosériové výrobě. Do jisté míry lze obsluhu stroje automatizovat. Značnou nevýhodou je časová náročnost procesu, kdy se součásti musí manuálně zakládat. [27; 28; 24]

Ohyb v nástroji – je principiálně podobný výše zmíněnému ohraňování. Působením pohyblivého ohybníku na materiál dochází k ohybu podle tvaru ohybníku a ohybnice. Ohyb může být realizován různými způsoby. Na rozdíl od ohraňování lze tento typ nástroje umístit do mechanického nebo hydraulického lisu. Mimo to má obvykle vlastní vedení (obr. 11), tzn. že není veden strojem. Nástroj může provádět více operací na jeden zdvih, například při použití tzv. sdruženého nástroje, který by v jedné části vytvářel ohyb a ve druhé prolisy. Tento způsob tvorby ohybu se uplatňuje především pro menší součásti vyráběné ve větších sériích. Nevýhodou je opět manuální zakládání přístřihu. [24]



Obr. 10 Ohraňování [27].

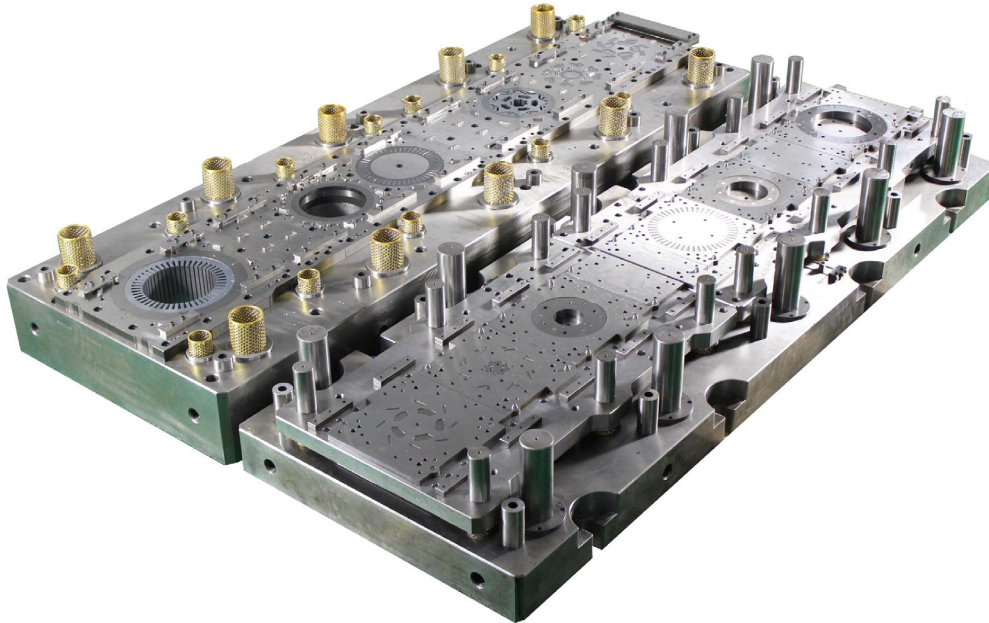


Obr. 11 Ohýbací nástroj [29].

Žádná z výše zmíněných metod nepředstavuje efektivní způsob výroby zadané součásti. Hlavní nedostatek spočívá v manuálním zakládání součásti mezi jednotlivými operacemi, což je vzhledem k velikosti výrobní série nepřijatelné. Jelikož bude dílec vyráběn opakovaně ve velkých sériích, je nasnadě zkonstruovat takový nástroj, který zhotoví dílec při každém zdvihu stroje. Takovýto nástroj bývá běžně nazýván postupový sdružený nástroj.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Z provedeného vyhodnocení více či méně vhodných výrobních možností byl pro zhotovení dílce zvolen postupový sdružený nástroj (obr. 12). Tento typ nástroje umožňuje kombinovat všechny požadované operace jako stříhání, ohýbání a prolisování. Ty probíhají postupně ve vhodně zvoleném sledu. Nástroj umožňuje automatizaci celého procesu včetně podávání plechu, vyhazování hotových dílců a odvod odpadu. Limitujícím faktorem je pouze velikost pracovního prostoru lisu, zdvih beranu a maximální dosažitelná síla stroje. [24; 2]



Obr. 12 Postupový sdružený nástroj [30].

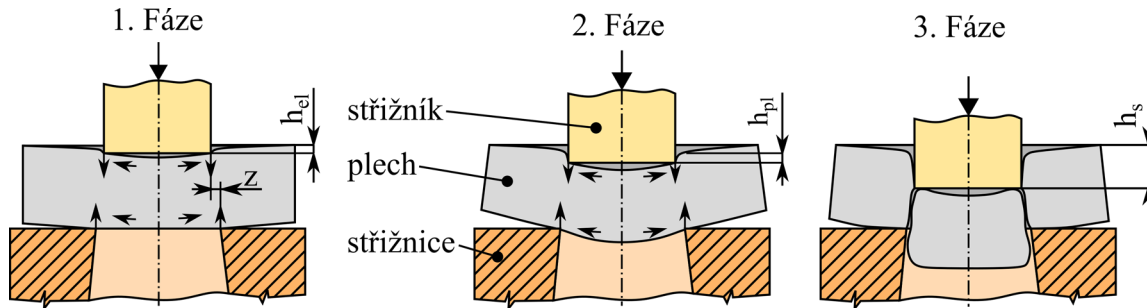
Všechny prováděné operace se řadí do plošného tváření, kde plastická deformace probíhá pouze v určitých místech materiálu. U každé operace, v tomto případě stříhání, ohýbání a prolisování, se při návrhu nástroje musí brát v potaz několik faktorů ovlivňující rozměry a geometrii nástroje, velikost střížné síly, materiál nástrojů atp. V následujících kapitolách budou popsány základní principy jednotlivých technologií a problematika s nimi související. [24; 2]

2.1 Stříhání

Oddělení materiálu se realizuje pomocí technologie stříhání. V oblasti plošného tváření se vlastně jedná o jedinou technologii, kdy je požadováno porušení materiálu. Ke stříhu dochází na střížných hranách nástroje sestávajícího se ze střížníku a střížnice. Tyto dvě základní komponenty při pohybu vůči sobě působí na materiál a vytváří v něm stříhová napětí, resp. smyková napětí. Proces stříhání probíhá ve třech fázích (obr. 13), které jsou popsány níže. [3; 31]

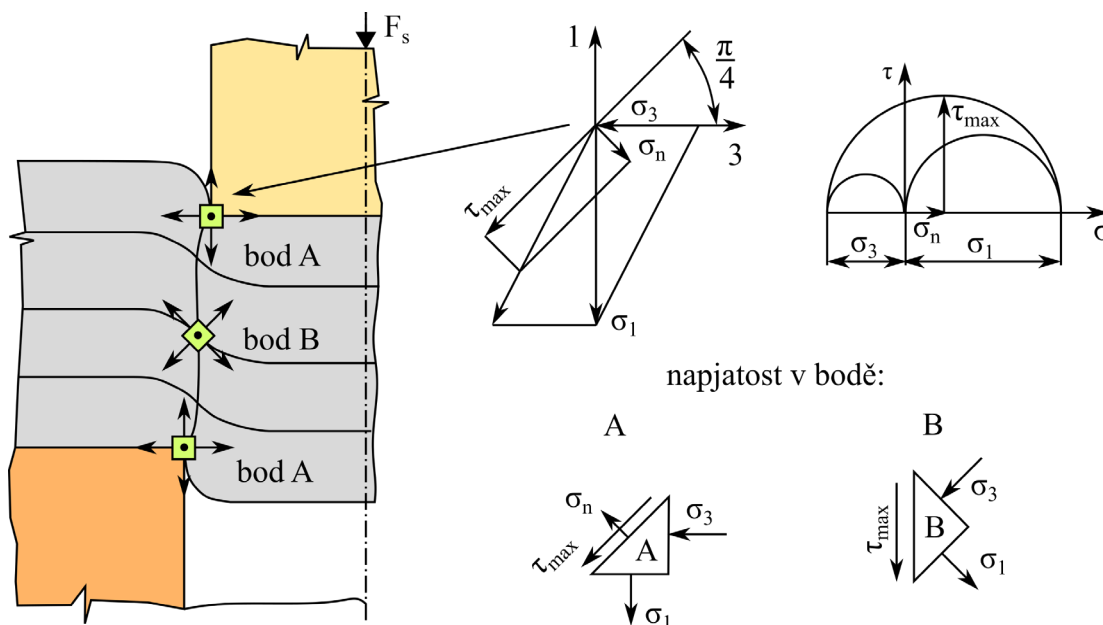
- První fáze – po dosednutí střížníku na plech začíná první fáze, jež je charakteristická ohybem. Dosahuje se pouze elastické deformace. Hloubka elastické deformace h_{e1} dosahuje 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu a závisí na jeho mechanických vlastnostech. [3]
- Druhá fáze – do druhé fáze se proces dostává při překročení meze kluzu. Zde již vzniká plastická deformace. V závislosti na typu materiálu se hloubka plastické deformace h_{p1} pohybuje v rozmezí 10 až 25 % tloušťky plechu. [3]
- Třetí fáze – po překročení maximálního smykového napětí nebo také meze pevnosti ve stříhu začíná třetí fáze. V této fázi dochází k utržení materiálu, jež je iniciováno vznikem

trhlin, které se od hran nástroje postupně šíří tloušťkou materiálu až dojde k úplnému oddělení materiálu. Normálové napětí působící ve směru vláken má tahový charakter a podporuje tak vznik a šíření trhlin. U tvrdých a křehkých materiálů se trhliny rozvíjejí rychle a střížník se tak nedostane příliš hluboko. Zatímco u měkkých a houževnatých materiálů je tomu naopak a hloubka vniknutí h_s je až šestinásobně větší. [3]



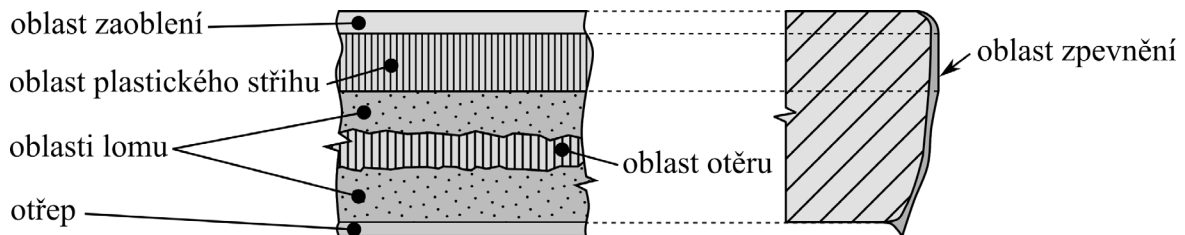
Obr. 13 Fáze střížného procesu [3].

Z podrobnějšího pohledu na napjatost podporuje šíření trhlin také působení tahového normálového napětí σ_n , které je kolmé na rovinu maximálního smykového napětí τ_{max} , jak vyplývá z Mohrových kružnic (obr. 14). V bodě A působí hlavní tahové napětí σ_1 ve směru pohybu střížníku. Změna křivosti vláken způsobená postupným natahováním materiálu za působení nástroje natáčí rovinu τ_{max} do kolmého směru (bod B). S ním se současně natáčí také hlavní tahové napětí σ_1 do směru vláken (bod B). Tímto mechanismem vzniká typická „S“ křivka. [3; 2]



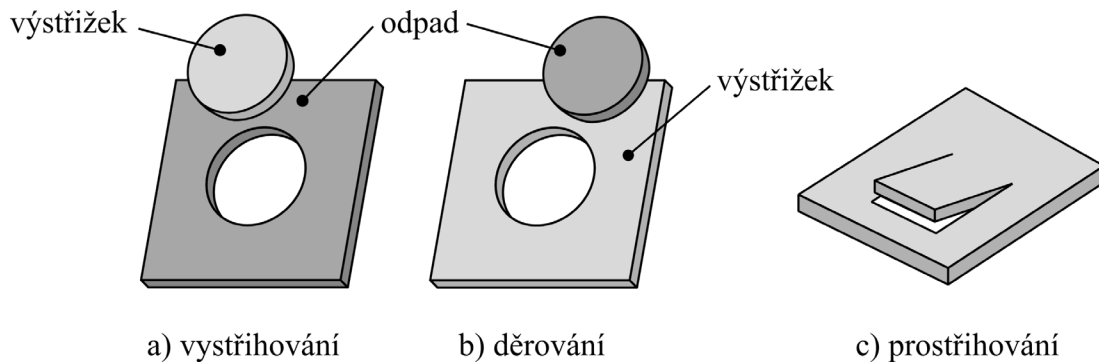
Obr. 14 Napjatost při stříhání [3].

Jednotlivé fáze lze poměrně dobře pozorovat na střížné ploše (obr. 15). První fázi stříhání odpovídá pásmo zaoblení (plastická deformace). Oblast plastického stříhu značí druhou fázi, která je charakteristická lesklou plochou. Pásmo lomu vzniká ve třetí fázi. Může také docházet ke tvorbě oblasti otěru. Ten je zapříčiněn vzájemným třením již oddělených ploch dílce a odpadu. Důvodem je jednak esovitý tvar střížné plochy a také malá střížná mezera. Vlivem zpevňování materiálu se přes celou tloušťku plechu vytváří malá oblast zpevnění, jejíž hloubka odpovídá až 30 % tloušťky materiálu (obr. 15). Kromě oblastí lomu a otěru vzniká ve třetí fázi také ořep. [3; 32]



Obr. 15 Vzhled střížné plochy pro optimální střížnou vůli [3].

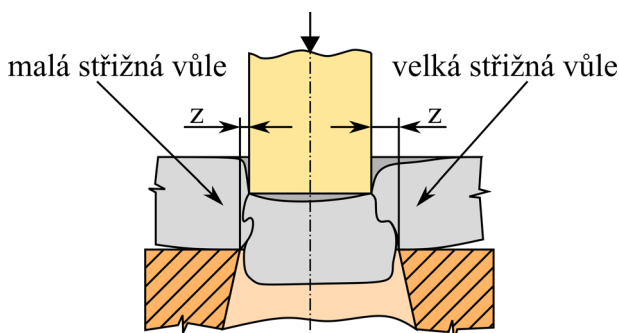
Střížné operace se dále rozdělují, avšak princip je u všech stejný. Vystříhování je metoda, při níž se provádí uzavřený stříh, tzn. že střížník má uzavřenou křivku. Oddělený materiál se považuje za výstřížek a zbytek je odpad (obr. 16a). Opakem vystříhování je děrování, při kterém se vystřížený materiál považuje za odpad (obr. 16b). S neuzavřeným stříhem – křivkou pracuje např. prostříhování, u něhož nevzniká odpad (obr. 16c). [32; 2]



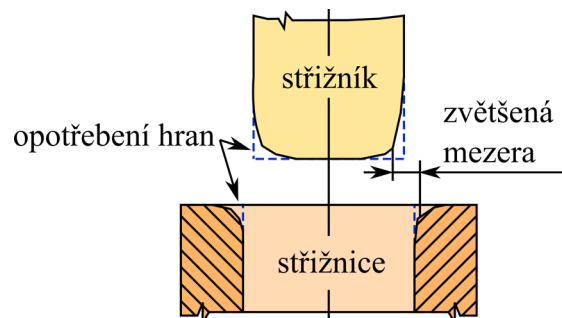
Obr. 16 Vybrané střížné operace [2; 32].

2.1.1 Střížná vůle

Vzhled plochy ovlivňuje mimo jiné velikost střížné mezery – střížné vůle, přičemž platí, že střížná vůle v je rovna dvojnásobku střížné mezery z . Vůle musí mít optimální hodnotu takovou, aby došlo ke spojení trhlín napřímo. Při velké nebo naopak malé vůli (obr. 17) se trhliny nesetkají přímo a dochází tak v podstatě ke dvojímu stříhu. To se negativně projeví na vzhledu a kvalitě střížné plochy. Může také dojít ke vzniku mikrotrhlín při malé mezeře nebo při velké mezeře mohou vznikat trhliny v oblasti zaoblení, tj. na horní straně plechu. [3; 33; 2]



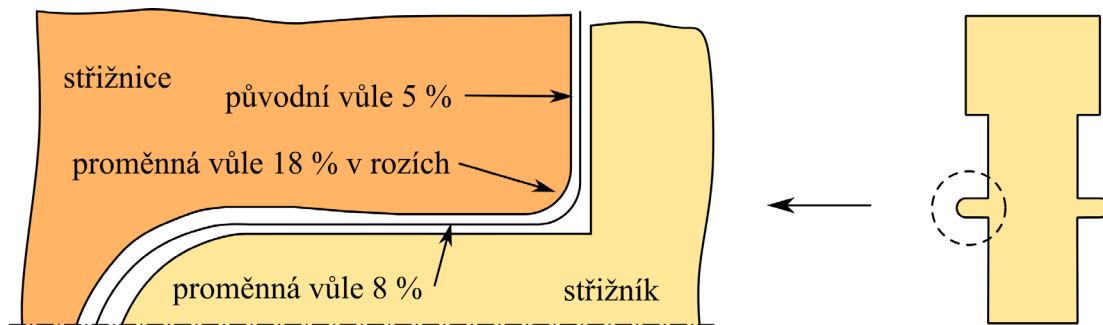
Obr. 17 Vliv velikosti střížné vůle [3].



Obr. 18 Opotřebení nástroje [2].

Vyšší hodnota střížné vůle obecně snižuje rychlost opotřebení nástroje (obr. 18) a velikost potřebné síly. Naopak kvalita střížné plochy se zhoršuje ve smyslu nárůstu pásma lomu, případně zvětšení otřepu, který je jakýmsi ukazatelem kvality. Naproti tomu menší střížná vůle zvyšuje oblast plastického stříhu, a tedy i přesnost za cenu nižší životnosti nástroje při běžném stříhání. [1; 34]

Některé stříhané tvary mohou způsobovat nadměrné opotřebení části nástroje. Děje se tak především u hranatých a zaoblených tvarů. Příčinou je vysoké napětí právě v oblasti rohu. Jeho snížením lze dosáhnout citelně vyšší životnosti nástroje. Ke změně je možno aplikovat proměnné střížné vůle. Úprava vůle probíhá pouze v rozích, kde se zvětší o doporučenou hodnotu, přičemž na rovných hranách zůstane původní vůle (obr. 19). V rohu tak dojde k navýšení tolerance např. až o 10 %. Výhodou je jednak zvýšení životnosti nástroje, ale také zachování limitní hodnoty otřepu, tj. zachování kvality součásti. [35]



Obr. 19 Příklad užití proměnné vůle u nepřímých tvarů střížného nástroje [35].

Velikost střížné vůle se volí buď jako procento tloušťky plechu anebo jako empirická hodnota pro určitý druh materiálu. Tyto doporučené hodnoty lze nalézt v různých tabulkách, které uvádí například [2]. Další možnost stanovení velikosti střížné mezery nabízí výpočet pomocí vzorce pro plechy do tloušťky 3 mm podle normy [36]:

$$z = \frac{v}{2} = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.1)$$

kde: v - střížná vůle [mm],

c - koeficient závislý na stupni stříhu udávající kvalitu střížné plochy (viz příloha 1),

t - tloušťka stříhaného materiálu [mm],

τ_s - střížný odpor, obecně se počítá jako:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m, \quad (2.2)$$

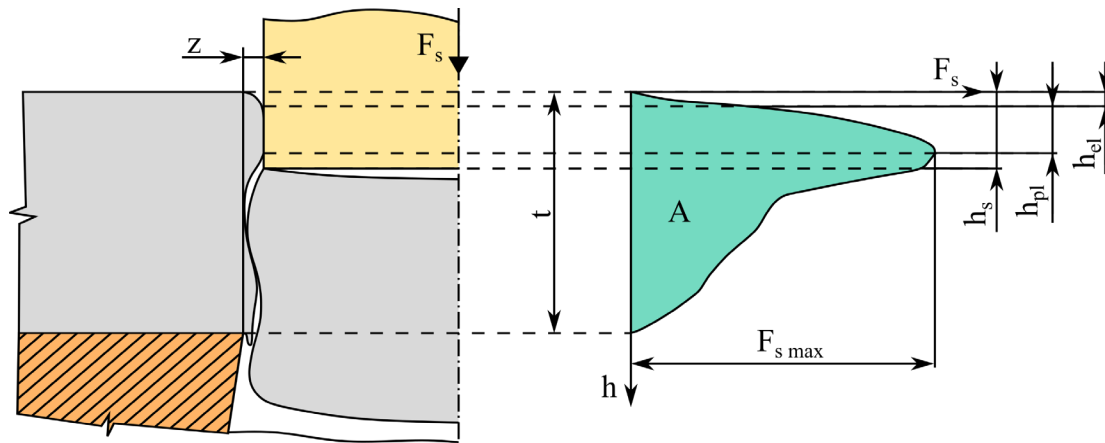
kde: R_m - mez pevnosti materiálu v tahu [MPa].

2.1.2 Střížná síla a práce

Při stříhání je nutné znát velikost střížné síly. Určení její správné hodnoty je důležité, jelikož se podle ní navrhuje nástroje a volí strojní zařízení schopné vyvinout danou sílu. Typický průběh střížné síly znázorňuje obr. 20. Stejně jako vzhled střížné plochy souvisí i průběh střížné síly s jednotlivými fázemi stříhu. Při elastické a později plastické deformaci dochází k razantnímu nárůstu síly, který pokračuje až do meze pevnosti materiálu. Následuje mírný pokles síly po konečnou hloubku vniknutí střížníku do materiálu. Poté dochází ke značnému poklesu až do momentu, kdy dochází k otěru střížných ploch, a to vlivem esovitého tvaru pásma lomu, jak je patrné na obr. 20. [3; 24; 2]

Střížná síla však není jediná, která se zahrnuje do výpočtů. Při průchodu střížníku se materiál lehce stahuje a působí tak na střížník. Proto je nutné použít stírací sílu, která zajistí, že nedojde k ulpění materiálu na střížníku při jeho zpětném pohybu nahoru. Velikost stírací síly se opět liší podle tloušťky, druhu materiálu či střížné mezery a bývá 2 až 20 % střížné síly. [2; 31]

Získaná hodnota střížné síly se obecně navyšuje až o 30 %. Smyslem je zahrnutí dalších vlivů na velikost síly, které nejsou explicitně počítány. Příkladem může být tření mezi nástrojem a materiálem v kombinaci s opotřebením nástroje. [31; 36]



Obr. 20 Průběh střížné síly [3].

Střížná síla F_s se vypočte [36]:

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s, \quad (2.3)$$

kde: L - délka křivky stříhu [mm],
 n - koeficient zahrnující vliv nerovnoměrnosti tloušťky plechu, nerovnoměrnosti napjatosti a otupení střížných hran, (volí se 1 – 1,3).

V případě stříhu pomocí sešikmeného čela střížníku se síla určí [32]:

$$F_s = \frac{n \cdot t^2 \cdot \tau_s \cdot 0,5}{tg \alpha_s}, \quad (2.4)$$

kde: α_s - úhel zkosení čela střížníku [°].

Střížná práce A_s je dána velikostí plochy pod křivkou střížné síly (obr. 20). Vyjadřuje potřebnou energii pro stříh, kterou musí stroj disponovat [3]. Její velikost lze vypočítat jako [36]:

$$A_s = \frac{k_s \cdot F_s \cdot t}{1000}, \quad (2.5)$$

kde: k_s - koeficient, jež se určuje podle druhu materiálu a tloušťky materiálu, pro středně tvrdou ocel do tl. 1 mm je $k_s = 0,6$ [-].

2.1.3 Uspořádání výstřížků na páse a nástřihový plán

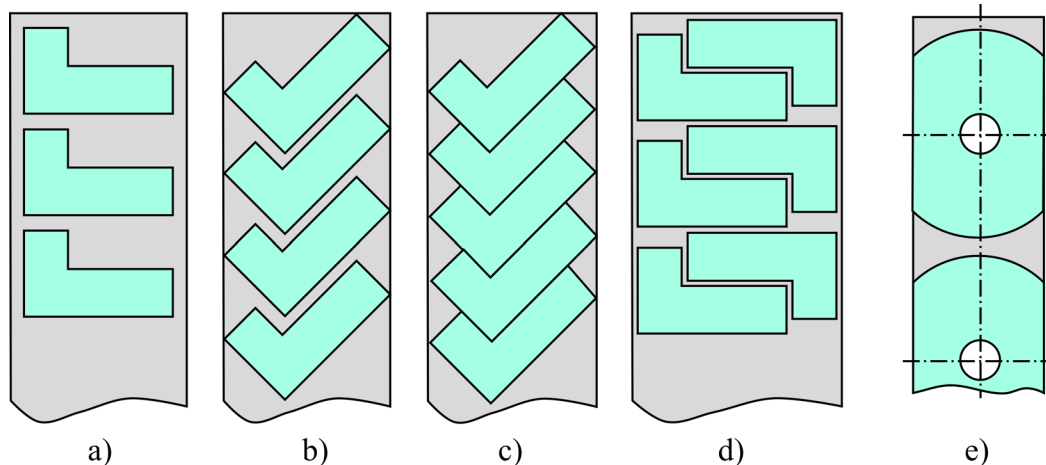
Významným činitelem z hlediska ekonomie výroby je uspořádání výstřížků na páse. Cílem je dosažení co největší využitelnosti materiálu, resp. minimalizace nevyužitého materiálu – odpadu, a dále například snížení pracnosti při manipulaci. Možnosti rozložení udává především tvar výlisků a jejich požadovaná přesnost. V případě postupového nástroje se nejčastěji volí tzv. stříhání do řetízku, kdy k odstřížení součásti z plechu dojde až v posledním kroku. Orientaci výstřížků na pásu lze obecně rozdělit do dvou kategorií podle toho, zda je některá osa výlisku rovnoběžná se směrem podávání plechu do nástroje anebo jsou osy pod určitým úhlem vůči směru posuvu plechu. Orientace os má význam zejména u dalších tvářecích operací. [24; 32; 31]

Využití materiálu by mělo být vyšší než 60 %. Hodnocení procentuálního využití se provádí pomocí vztahu [32]:

$$\eta_p = \frac{S_v \cdot N_{vys}}{S_p} \cdot 100, \quad (2.6)$$

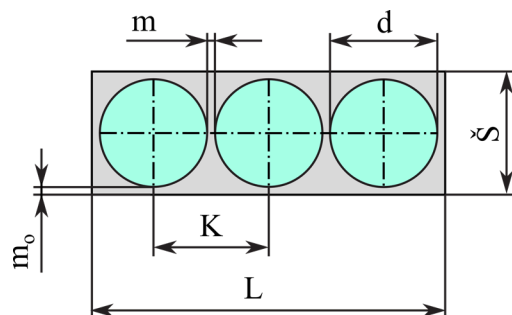
kde: N_{vys} - počet výstřížků z jednoho svitku [-],
 S_v - plocha jednoho výstřížku [m²],
 S_p - plocha polotovaru [m²].

Příklady různého rozložení výstřížku jsou znázorněny na obr. 21. Nejmenší využití, přibližně 63 %, dosahuje první varianta (obr. 21a). Druhé rozložení (obr. 21b) využívá můstku mezi jednotlivými kusy. Šířka můstku je dána především typem materiálu. Méně odpadu vznikne u třetí varianty (obr. 21c), která nedisponuje můstky a využití dosahuje přibližně 82 %. Poslední rozložení (obr. 21d) dosahuje největšího využití materiálu, avšak konstrukce nástroje by byla nejnáročnější. Další možnost zvýšení využitelnosti, pokud je to vhodné, představuje stříhání bez bočního odpadu (obr. 21e). Způsob rozmístění do jisté míry ovlivňuje technologičnost součásti. [31; 32]



Obr. 21 Příklady rozložení součásti v nástřihovém plánu [31].

Nástřihový plán zachycuje důležité parametry, které se musí dodržet, aby kvalita zpracování výstřížků odpovídala požadavkům. Jedná se především o šířku můstku m (obr. 22) mezi jednotlivými stříhanými tvary a jejich dostatečnou vzdálenost od okraje polotovaru m_0 . Hodnoty těchto parametrů závisí na druhu materiálu a tloušťce plechu. Velikost kroku K a šířka pásu S se pak odvíjí od velikosti výstřížků a přepážek odpadu neboli můstků a šířky okraje pásu plechu. [1]



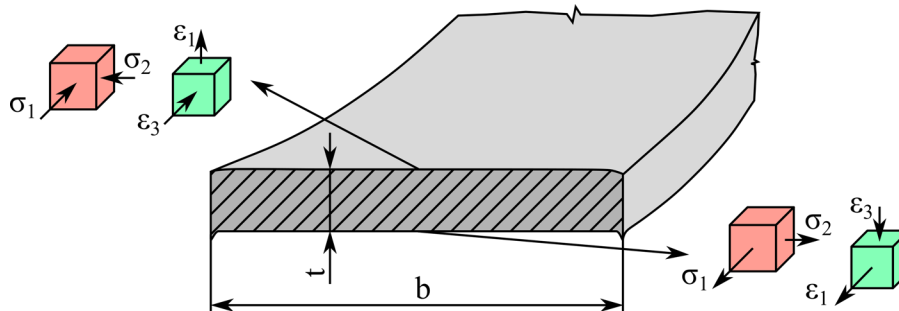
Obr. 22 Nástřihový plán [1].

2.2 Ohýbání

Ohýbáním se dosahuje trvalé deformace materiálu, a to pomocí ohybového momentu nebo síly. Do technologie ohýbání se řadí také opačný proces, tedy rovnání. Proces lze rozdělit, stejně jako u stříhání, na jednotlivé fáze. V počáteční fázi dochází pouze k pružné deformaci, tedy napětí nepřekročí mez kluzu. Do konečné fáze se ohyb dostává, když napětí dosáhne mez kluzu. Následuje další nárůst napětí a tato fáze pokračuje až do ukončení ohybu. [3; 32; 1]

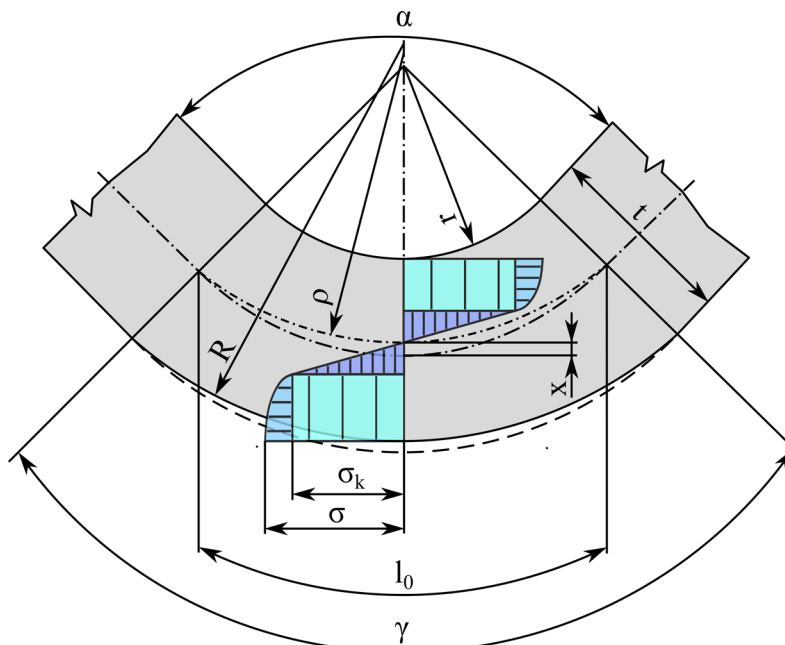
Změna napjatosti a přetvoření po ohybu v první řadě závisí na šířce plechu b vůči jeho tloušťce t . Plechy, u kterých platí $b > 3 \cdot t$, jsou považovány za široké. U širokých plechů prakticky nedochází k deformaci ve směru šířky, a tedy $\varepsilon_2 = 0$. V krajních vláknech tak vzniká rovinná

napjatost i rovinné přetvoření (obr. 23). Z toho vyplývá, že deformace na vnější tahové straně se projeví odpovídajícím stlačením tloušťky, jak dokazuje rovnost $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$. Na vnitřní tlakové straně podle $-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$ dojde naopak k nárůstu tloušťky. [37; 3]

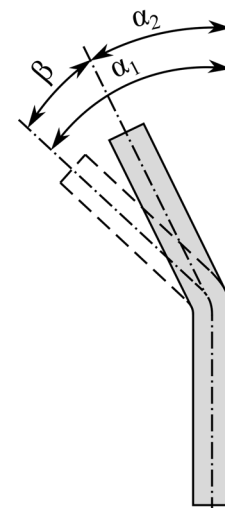


Obr. 23 Ohyb širokých plechů [3].

Přítomnost tahového napětí na jedné straně a tlakového napětí na druhé naznačuje existenci místa, ve kterém se smysl těchto napětí mění (obr. 24). Takové místo se nazývá neutrální plocha či vrstva. Velikost napětí je v neutrální vrstvě dané poloměrem ρ nulové. Průběhy napětí se po průřezu mění, viz obr. 24. Největší hodnota tahového napětí je na vnějším poloměru ohybu R . Stejně tak tlakové napětí dosahuje svého maxima na vnitřním poloměru r . Tyto hodnoty jsou zvětšeny přítomností zpevnění, jelikož ohyb probíhá především za studena. Neutrální plocha neurčuje pouze polohu změny stlačování na prodlužování, ale slouží také k výpočtu výchozí délky polotovaru. Délka neutrální vrstvy je po ohybu konstantní a odpovídá délce před ohybem. Elastická deformace okolo neutrální vrstvy může způsobovat nechtěné změny rozměrů součástí po ukončení procesu ohýbání. Děje se tak v případě dodatečných operací, jako je například stříhání nebo další tváření. [37; 3; 2]



Obr. 24 Schéma ohybu [37].



Obr. 25 Odpružení [3].

2.2.1 Odpružení, limitní poloměry a vůle

Významným jevem, který provází ohyb, je změna úhlu ohybu po odtížení – odpružení. Přítomnost pružné deformace vyvolává v materiálu snahu vrátit se do původního tvaru. Velikost

odpružení β se určí jako rozdíl úhlu při zatížení α_1 a po odtížení α_2 (obr. 25). Jak moc materiál odpruží, závisí na několika vlivech, jako jsou mechanické vlastnosti materiálu, tloušťka materiálu a poloměr ohybu r . S rostoucím poměrem r/t a menším úhlem ohybu α velikost odpružení roste. Lépe tvařitelné materiály mají menší tendenci k odpružení. [3; 32; 2]

Přibližnou velikost odpružení pro U ohyb (obr. 27) lze určit pomocí vztahu [37]:

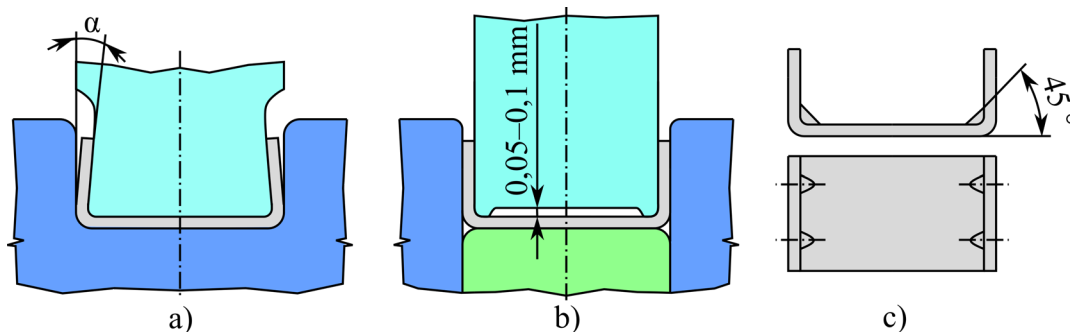
$$tg\beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_x \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.7)$$

kde: β - úhel odpružení [°],
 l_u - rameno ohybu (obr. 27) [mm],
 $l_u = r_m + r_o + 1,2 \cdot t,$ (2.8)

kde: r_m - poloměr zaoblení ohybnice [mm],
 r_o - poloměr zaoblení ohybníku [mm],
 k_x - součinitel určující polohu neutrální plochy [-],
 $k_x = 1 - x,$ (2.9)

kde: x - posunutí neutrální vrstvy (obr. 24),
 R_e - mez kluzu materiálu [MPa],
 E - modul pružnosti v tahu, pro ocel $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Eliminace odpružení se při ohybu tvaru U provádí zejména konstrukčními úpravami nástroje. Uplatňují se různé metody snížení velikosti odpružení, viz obr. 26. Jednou z metod je ohyb o větší úhel, než je požadováno (obr. 26a). Využívá se podbroušení střížníků o určitý úhel. Další možností je úprava hran ohybníku, kde nefunkční část čela se odsadí (obr. 26b) a provede se tzv. kalibrace ohybu, přičemž dojde ke zpevnění ohybu. Předcházet odpružení lze také vylišováním výztužných žeber, prolisů, v místě ohybu (obr. 26c). [2; 3]



Obr. 26 Možnosti eliminace odpružení [3].

Velikost poloměru ohybu je limitována mechanickými vlastnostmi materiálu. Jak již bylo popsáno, na vnějším poloměru se nachází maximální hodnota tahového napětí. Pokud dojde k překročení meze pevnosti, vzniká nevratné porušení materiálu. Ohyb tedy lze provádět do určitého poloměru – minimálního poloměru. Vliv na jeho velikost má stav materiálu a anizotropie [3]. Vypočte se [3]:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c_o \cdot t, \quad (2.10)$$

kde: ε_{tmax} - maximální poměrné přetvoření v krajních vláknech [-],
 c_o - součinitel volený podle materiálu, zpevnění a anizotropie [-].

Naopak maximální poloměr ohybu udává, zda vůbec dojde k plastické deformaci na tahové straně. Jestliže by nebyla překročena mez kluzu, materiál by se vrátil zpět do původního tvaru a k ohybu by nedošlo [3]. Stanoví se [3]:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (2.11)$$

Dalším podstatným parametrem ovlivňující kvalitu výlisku je vůle v mezi ohybníkem a ohybnicí (obr. 27). Mimo to, například u malých hodnot vůle, ovlivňuje i velikost síly potřebné k ohybu nebo může mít vliv na odpružení [3; 2]. Pro U ohyb se velikost vůle stanoví jako [40]:

$$v_o = t \text{ až } t_{max} + c_1 \cdot t, \quad (2.12)$$

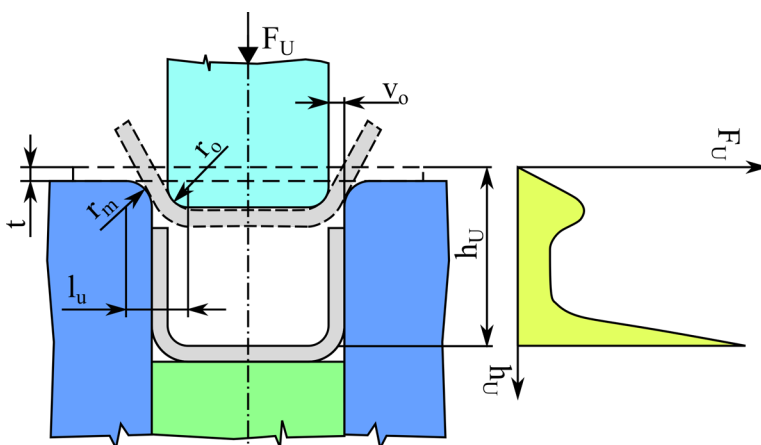
kde: c_1 - součinitel zohledňující vliv tření ohýbané součásti a délku ramene (příloha 2) [-],

t_{max} - největší tloušťka materiálu (zahrnuje horní úchylku tloušťky plechu) [mm].

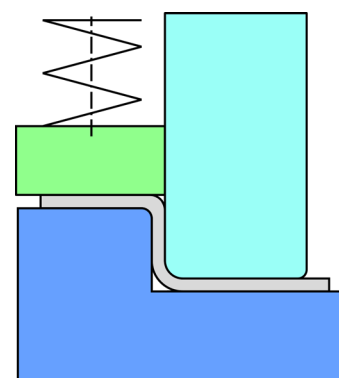
Při vytváření U ohybu, pokud je užito přidržovače, vzniká tzv. Z ohyb anebo také částečný U ohyb (obr. 28). Během této operace může docházet k nepatrnému ztenčení stěny rovnoběžné se směrem pohybu ohybníku. To nastává především pokud je první ohyb tvořen malým poloměrem. Velikost je však zanedbatelná oproti ztenčení stěny v ohybu. Největší vliv na odpružení u toho typu má tloušťka plechu, úhel ohybu a zaoblení nástroje. [38; 39]

2.2.2 Síla a práce

Analogicky jako u technologie stříhání musí být při návrhu nástroje známa velikost ohýbací síly. Dimenzují se podle ní nástroje a volí se patřičný stroj. Ohýbací síla do tvaru U má určitý průběh (obr. 27). Jako první dochází k nárůstu síly vlivem elastické deformace a následně plastické. Za vrcholem dochází k poklesu vlivem vtahování polotovaru do ohybnice. Extrémní nárůst síly na poměrně malé dráze je typický pro kalibraci. [32; 31; 2]



Obr. 27 Průběh U ohybu a průběh tvářecí síly [32].



Obr. 28 Z ohyb [2].

Velikost síly nutné pro ohyb do tvaru U se vypočte následovně [40]:

$$F_{oU} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot t^2 \cdot b}{l_u}, \quad (2.13)$$

kde: b - šířka ohýbaného úseku [mm].

V případě použití přidržovače se ohýbací síla zvětšuje o 25 až 30 % [40]:

$$F_{op} = (0,25 \text{ až } 0,3) \cdot F_{oU} \quad (2.14)$$

Ohyb s kalibrací zvyšuje hodnotu celkové síly, a to až trojnásobně [40]:

$$F_U = 3 \cdot (F_{oU} + F_{op}) \quad (2.15)$$

Oblast pod křivkou průběhu síly je práce potřebná pro ohyb. Stejně jako u stříhání slouží k výběru odpovídajícího stroje [3]. Práce se určí jako [40]:

$$A_{oU} = \frac{1}{6} \cdot \frac{F_U \cdot h_u}{1000}, \quad (2.16)$$

kde: h_u - pracovní zdvih, viz obr. 27 [mm].

Stanovení síly při ohybu do tvaru V se postupuje stejně jako u ohybu do tvaru U. Síla pro vytvoření V ohybu se stanoví vztahem [3]:

$$F_{oV} = \frac{R_e \cdot t^2 \cdot b}{2 \cdot r_o} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.17)$$

kde: α - vrcholový úhel ohybníku [°].

Zvýšení přesnosti ohybu i významné eliminace odpružení se dosahuje pomocí kalibrační síly [40]. Síla potřebná pro ohyb se navýší o 20 až 25 % [32]:

$$F_{oV_k} = (2 \text{ až } 2,5) \cdot F_{oV} \quad (2.18)$$

Při aplikaci kalibrovací síly je celková síla pro vytvoření V ohybu [32]:

$$F_V = F_{oV} + F_{oV_k} \quad (2.19)$$

Práce nutná pro V ohyb se vypočte [40]:

$$A_{oV} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_V \cdot h_v}{1000}, \quad (2.20)$$

kde: h_v - pracovní zdvih ohybníku [mm].

2.2.3 Velikost polotovaru a rovnání

Rozměry polotovaru nelze jednoduše stanovit z výkresové dokumentace. U ohýbání je nutné zohlednit změny, které probíhají v místě ohybu. Jedná především o neutrální vrstvu. Poloha neutrální vrstvy závisí zejména na poloměru ohybu a tloušťce materiálu. Určujícím parametrem pro získání délky neutrální vrstvy je poměr vnitřního poloměru r a tloušťky t . V případě, že platí $r \geq 12 \cdot t$, uvažuje se ohyb s velkým poloměrem a neutrální vrstva se bere v polovině tloušťky materiálu. Ohyb s malým poloměrem se uvažuje při $r < 6 \cdot t$ a poloha neutrální vrstvy se mění. Ohyby s malými poloměry se zpravidla realizují v nástroji, ohýbadle. [37; 40]

Výpočet poloměru neutrální vrstvy pro malé poloměry je dán vztahem [40]:

$$\rho = r + t \cdot x, \quad (2.21)$$

kde: r - vnitřní poloměr ohybu [mm],

x - součinitel posunutí neutrální vrstvy [-], určí se dle tab. 2.

Tab. 2 Určení součinitele posunutí neutrální vrstvy pro materiál s pevností do 400 MPa [40].

r/t	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6	7
x	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	

Pro získaný poloměr ohybu neutrální vrstvy se její délka stanoví podle vztahu [40]:

$$a = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot \rho}{180} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (r_o + t \cdot x), \quad (2.22)$$

$$\text{kde: } \gamma \quad - \quad \text{úhel ohnutého úseku } [^\circ],$$

$$\gamma = 180 - \alpha, \quad (2.23)$$

$$\text{kde: } \alpha \quad - \quad \text{úhel ohybu } [^\circ].$$

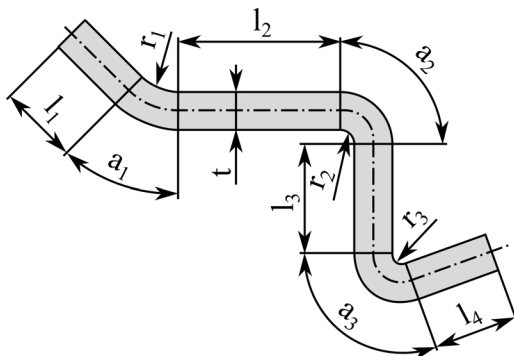
Výchozí délka polotovaru L_p se stanoví z rozvinutého tvaru. Přímé úseky (ramena) při ohybu nemění svou délku. U ohýbaných částí je počítáno se získanou délkou oblouku a_i v neutrální vrstvě [40]. Výpočet se tedy provede jako součet dílčích úseků (obr. 29) [40]:

$$L_p = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^n a_i, \quad (2.24)$$

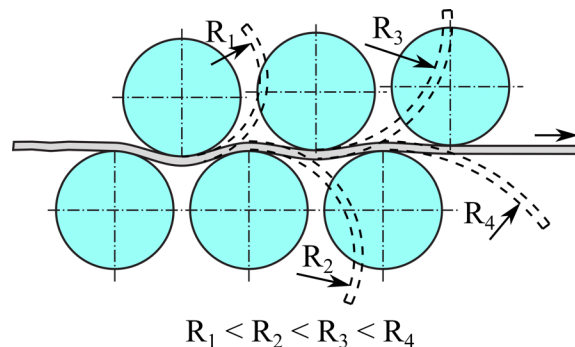
$$\text{kde: } l_i \quad - \quad \text{délka i-tého ramene [mm],}$$

$$a_i \quad - \quad \text{délka i-tého oblouku [mm].}$$

Dodávané polotovary pro plošné tváření, jako jsou navíjené pásy – svitky, disponují určitou deformací, která vzniká předchozí výrobou. Při jejich následném zpracování tato deformace může působit komplikace, zejména u podávání plechu do nástroje. Efektivní způsob odstranění deformace představuje rovnání, které probíhá mezi válci (obr. 30). Válce jsou uspořádány ve dvou řadách, jež jsou vzájemně odsazené o určitou vzdálenost. Jak pás prochází válci, dochází ke střídavému postupnému ohybu na stále větší poloměr. S větším počtem válců se dosahuje menšího zbytkového napětí po rovnání. [1; 41; 2]



Obr. 29 Znárodnění délek polotovaru [32].



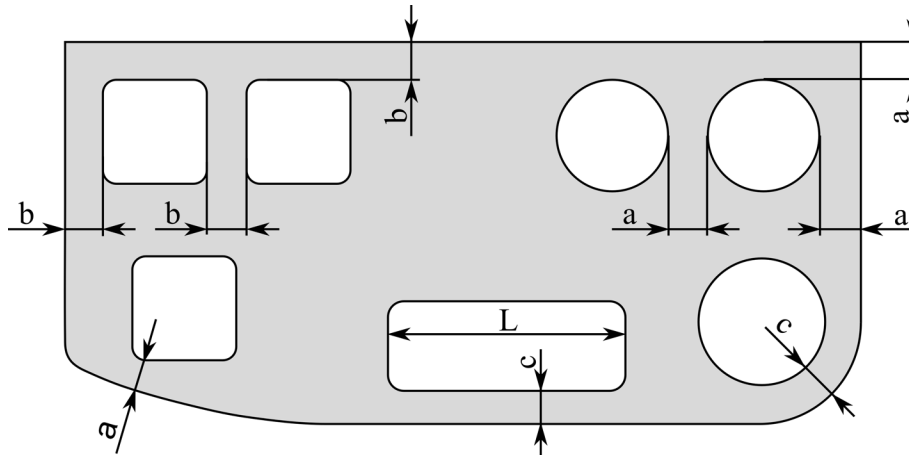
Obr. 30 Rovnání plechu válci [1].

2.3 Technologičnost dílců

Pod pojmem technologičnost si lze představit řadu doporučení, která je vhodná aplikovat už při samotné konstrukci součásti. Nejedná se však jen o konstrukční zásady. Mimo to se bere v úvahu ekonomické hledisko výroby, tj. především využití materiálu nebo složitost konstrukce nástroje, tedy výrobní náklady a později údržba. Dále např. čas výroby jednoho kusu nebo ekologie procesu. Při návrhu nástroje slouží k posouzení vyrobiteľnosti daného dílce [42; 2]. Posuzuje se [42; 2; 24; 32; 41]:

- Minimální průměr otvoru – závisí na druhu a tloušťce materiálu. Obecně se také bere pravidlo, že by měl být minimálně roven tloušťce materiálu.
- Pevnost materiálu – běžně lze stříhat materiály až do pevnosti 1300 MPa.
- Přesnost – stupeň požadované tolerance na součásti. Přesnost stříhaných dílců se odvíjí zejména od přesnosti střížných nástrojů. Výrobní tolerance výstřížků se tak pohybuje od IT9 až IT16.

- Menší součásti s malou tloušťkou plechu lze vyrábět v tolerancích IT9 až IT11.
- Drsnost střížné plochy – dosahuje se Ra 3,2 až 6,3 μm .
- Otvory – jejich vzdálenost mezi sebou a od okraje plechu (obr. 31). Uvedené orientační hodnoty se pro měkké oceli zvětšují o 20 %, $a \geq 0,8 \cdot s$, $b \geq s$, $c \geq 1,5 \cdot s$.

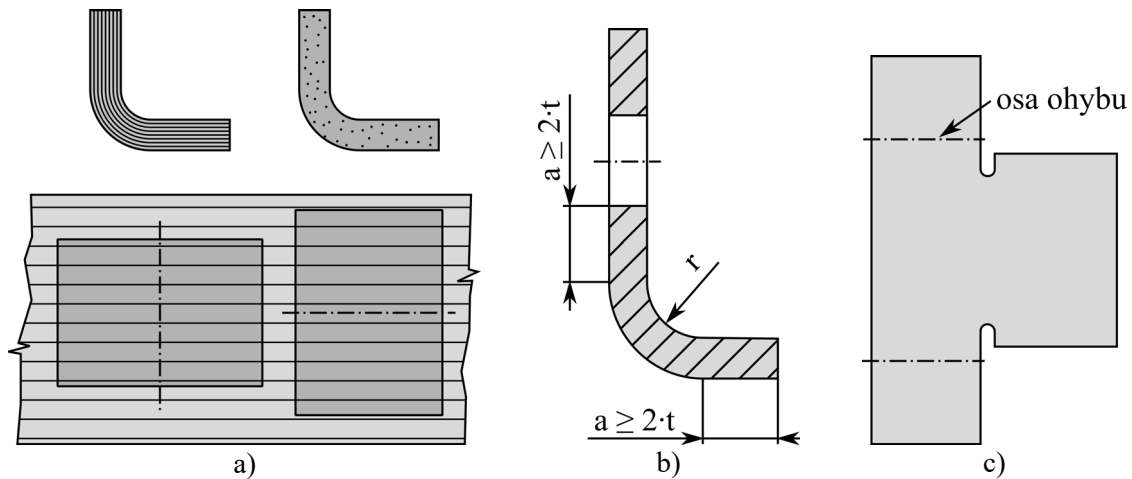


Obr. 31 Technologičnost otvorů [41].

- Zaoblení rohů nebo jejich sražení je preferováno.
- Upřednostňují se kruhové otvory před hranatými.
- Tvary obrysů výstřižků by neměly být kruhové (z hlediska využití materiálu).
- Rozvětvenost a členitost tvarů není optimální z hlediska využití materiálu.
- Plynulost přechodů přímých úseků do zaoblení navyšují nákladnost výroby nástroje.
- Obrysy výstřižků ideálně volit tak, aby do sebe zapadaly.
- Štíhlé části dílců nebo jejich vyčnívající prvky by měly být alespoň 1,5krát širší, než je tloušťka materiálu.

Ohýbané dílce mají také určité zásady, které je nutné zhodnotit při návrhu výrobního postupu. Doporučuje se dodržovat následující [37; 32; 41; 2]:

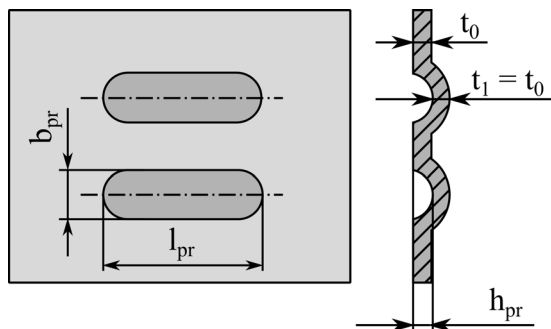
- Respektovat směr vláken polotovaru a umisťovat osu ohybu ideálně kolmo na směr vláken (obr. 32a), v opačném případě je nutno zvětšit poloměr ohybu.
- Pro omezení odpružení používat kalibraci.
- Zamezit posouvání plechu pomocí technologických otvorů a zlepšit tím přesnost.
- Minimální délka ohýbaného ramene musí být větší nebo rovna dvojnásobku tloušťky plechu (obr. 32b).
- Otvor musí být vzdálen od poloměru ohybu alespoň ve dvojnásobku tloušťky (obr. 32b), jinak by mohlo dojít k deformaci otvoru.
- Volit menší poloměry ohybu, jelikož mají menší odpružení.
- Tolerance rozměrů by měly být takové, aby byly vyrobitelné běžnými metodami ohýbání,
- Připouští se ztenčení až 20 % tloušťky stěny v místě ohybu.
- Plochu lomu vzniklou stříháním umístit na vnitřní poloměr ohybu, aby nedošlo k šíření trhlin.
- Oddělovat ohýbané části dílce od neohýbaných (obr. 32c). V opačném případě by ohyb nebyl rovnoměrný a mohlo by také dojít k natržení.



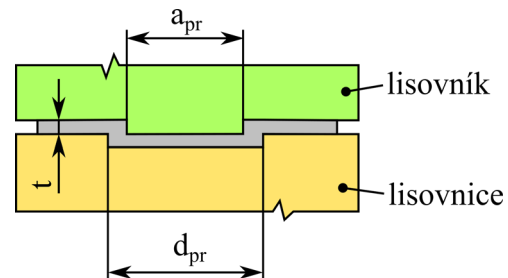
Obr. 32 Technologičnost ohýbaných součástí [41; 2].

2.4 Lisování

Při požadavku na vyšší tuhost dílce lze použít několik způsobů pro její zvýšení. Jedním z nich je vytvoření prolisů (obr. 33). Pro lisování je charakteristické zachování výchozí tloušťky plechu. Může docházet ke zmenšení šířky součásti, jelikož se materiál vtahuje do mělkého prolisu. Po odtížení se rozměry mohou lehce změnit vlivem pružné deformace. Její výslednou velikost ovlivňuje provedení nástroje, jež se skládá z lisovníku a lisovnice (obr. 34). [2; 43; 1]



Obr. 33 Rozměry mělkých prolisů [43].



Obr. 34 Lisovací nástroj [1].

Pro dílce, u který je přípustné určité odpružení, se využívá provedení, kde lisovník zapadá do lisovnice s určitou vůlí. Rozměr vybrání v lisovnici d_{pr} musí být větší než rozměr lisovníku a_{pr} včetně tloušťky materiálu. Naopak u dílců s náročnějšími požadavky na přesnost zhotovení prolisů je šířka lisovnice d_{pr} menší nebo rovna šířce lisovníku a_{pr} včetně materiálu. V některých případech může docházet ke ztenčení materiálu u hran nástroje.

Se způsobem provedení nástroje souvisí odlišný deformační odpor. Lisovadlo bez vůle vyžaduje daleko vyšší hodnoty deformačního odporu pro výpočet lisovací síly [43]. Velikost síly potřebné pro vytvoření prolisů se získá ze vztahu [43]:

$$F_{pr} = S_{pr} \cdot \sigma_d, \quad (2.25)$$

kde: S_{pr} - plocha prolisu [mm^2], viz obr. 33,

$$S_{pr} = l_{pr} \cdot b_{pr}, \quad (2.26)$$

kde: l_{pr} - délka prolisu [mm],

b_{pr} - šířka prolisu [mm],

σ_d - deformační odpor, volí se podle přílohy 3.

Práce ke zhotovení prolisu se vypočte jako [43]:

$$A_{pr} = \frac{F_{pr} \cdot h_{pr}}{2}, \quad (2.27)$$

kde: h_{pr} - hloubka prolisu [mm], viz obr. 33.

2.5 Nástroje

Postupové nástroje jsou složeny z několika různých prvků, které dohromady tvoří funkční celek. Používané materiály jsou uvedeny v tab. 3. Základní prvky představují činné části, jako jsou například střižníky a střižnice, ohybníky a ohybnice apod. Ty však nemohou fungovat samostatně a musí být patřičně uloženy. Mimo to musí nástroj zajišťovat vedení materiálu či přesnost výroby pomocí následujících prvků: [2; 24]

Základová deska – upevňuje celý nástroj na stůl lisu. Je to nejširší část z důvodu ponechání místa pro upínky. Propad a odvod výlisků či odpadu zajišťují zvětšené otvory anebo skluzy. Tvoří základ pro vedení ostatních částí. Po stranách se umísťují manipulační prvky. [24; 2]

Upínací deska – spojuje beran lisu se zbytkem nástroje pomocí upínky nebo stopky. Mimo to podepírá nástroje, ale většinou vložku, jež je z pevnějšího materiálu. Obsahuje druhou část vedení. [24]

Kotevní deska – slouží k upevnění střižníků, ohybníků a lisovníků. Kolmost jednotlivých otvorů musí být dodržena, jinak by mohlo docházet k nežádoucímu namáhání nástroje. [24]

Vodící deska – je totožná s kotevní deskou, s tím rozdílem že má pouze patřičné otvory pro vedení nástrojů. Může také sloužit jako stírací a zároveň přidržovací. Stírače se používají v provedení pohyblivém s pružinami zejména u více prostorových dílců. V této variantě je spojena s kotevní deskou. [44; 2]

Vodící lišty – vedou pás plechu celým nástrojem a konstruují se v provedení pevném či odpruženém. Při návrhu se zohledňuje tolerance pásu a nerovnost jeho okrajů. [44; 2]

Dorazy – jsou zodpovědné za posouvání pásu o určitý krok a produktivitu nástroje. Postupové nástroje bývají vybaveny v zásadě dvěma dorazy. K zavádění pásu slouží načínací doraz, tj. pro první krok, příp. až ke hlavnímu dorazu. Výškové dorazy jsou dalším typem, avšak neslouží k posuvu materiálu. Plní funkci ochrany nástroje při seřizování, transportu a manipulaci, kdy by mohlo dojít např. k poškození střižníků zasunutím do nedovolené hloubky. [44]

Hledáčky – zajišťují přesnost ustavení plechu v nástroji, jelikož během prostupu pásu nástrojem může docházet k nepřesnostem vedení, jež se negativně projeví na celkové přesnosti dílce. Využíváno je buďto přímého středění, kdy se použije otvorů z předešlých operací, anebo nepřímé středění, pro které se zhotovují otvory v odpadové části. Přímé středění není vhodné u malých otvorů, tenkých či měkkých plechů. [44]

Vodící sloupky – slouží k provázání horní pohyblivé a dolní nepohyblivé části nástroje. Správné provedení zvyšuje přesnost výlisků a životnost nástroje. Musí být dostatečně tuhé, aby zachytilo případné boční síly od tvářecích operací. Snížení tření mezi sloupkem a deskami obstarávají kluzná či valivá ložiska. Vodící sloupky se nachází v rozích nástroje v počtu 2 nebo 4. [44; 45]

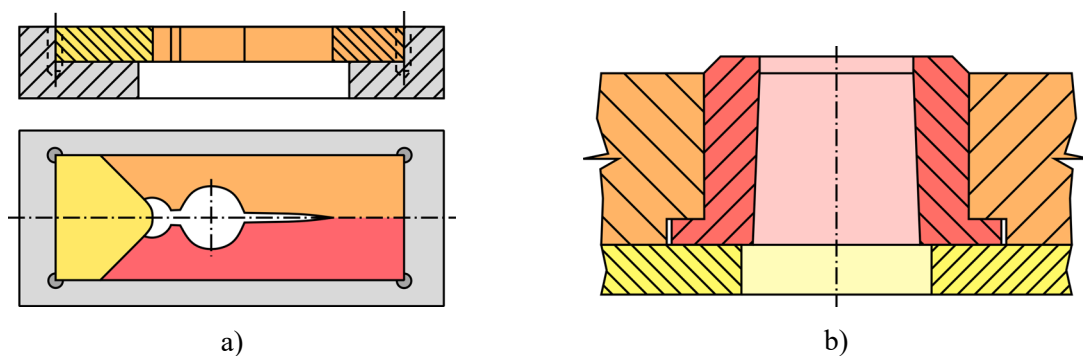
Tab. 3 Přehled používaných materiálů na části tvářecích nástrojů [44; 45].

část	materiál (typický zástupce)	tepelné zpracování
Základová deska	konstrukční ocel (11 375)	–
Upínací, kotevní a vodící deska	konstrukční ocel (11 500, 12 050)	–
Vodící lišty	ušlechtilá konstrukční ocel (14 220)	HRC = 60
Dorazy	nástrojová ocel (19191, 19 312)	HRC = 56
Hledáčky	nástrojová ocel (19 191, 19 421)	HRC = 56 až 60
Vodící sloupky	konstrukční ocel (12 051)	HRC = 62
Stříhadla, ohýbadla a dorazy	nástrojová ocel (19 191, 19 436)	HRC = 60 až 63

2.5.1 Stříhadla a ohýbadla

Střížnice udává tvar budoucímu výstřížku. Upevňuje se na základovou desku. Podle složitosti tvaru, a tedy výrobních nákladů se dělí na [24; 44; 2]:

- Celistvé – slouží především pro tvarově jednoduché součásti menších rozměrů.
- Skládané – jsou složené z několika různých segmentů (obr. 35a), které je levnější a méně náročné vyrobít s požadovanou přesností či tepelným zpracováním. Jejich údržba je snazší a cenově výhodnější. Uplatnění nachází ve velkosériové výrobě.
- Vložkované – rozšiřují výhody skládaných střížnic. Nástrojová ocel je použita v co nejmenší míře, tj. nevyrábí se z ní celý segment. Vyvýšení vložky nad úroveň střížnice je z důvodu přebroušení. Při zpětném pohybu střížníku hrozí vysunutí vložky, a proto musí být patřičně zajištěna. Navíc, pokud je otvor nekruhový, je nutné zabránit jejímu pootočení drážkou, kolíkem apod. (obr. 35b).

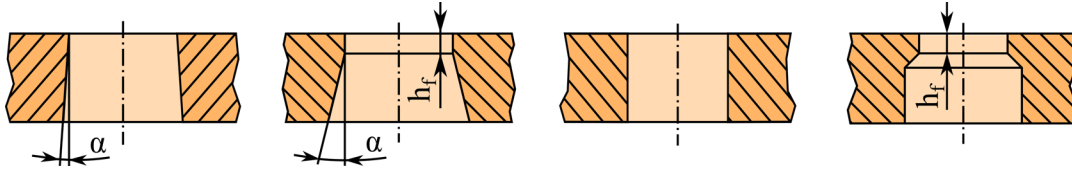


Obr. 35 Příklad skládané a vložkované střížnice [44].

Otvor lze provést několika způsoby, přičemž každý má své využití. Ve špatně navrženém otvoru může docházet ke hromadění odpadu, což může vést k neprůchodnosti střížnice až zničení střížníku. Konstrukční varianty otvorů ve střížnici jsou uvedeny níže. [2; 44]

- S úkosem (obr. 36a), který má nevýhodu v tom, že při každém přebroušení se mění rozměr výstřížku. Používá se pro menší kusy vyráběné ve středně velkých sériích. Optimální velikost zkosení má pozitivní vliv na životnost střížnice a kvalitu výstřížků. Úhel zkosení je doporučeno volit 15° až 20° pro tloušťku plechu 0,5 mm. [44; 47]
- S fazetkou (obr. 36b) se používá pro velké série, jelikož lze přebroušovat beze změny rozměru výstřížku. Výška válcové části se volí podle tloušťky plechu. Pro 0,5 mm plech je doporučeno 3-5 mm. Velikost zkosení se volí 3° až 5°. [44]

- Válcová (obr. 36c) nachází uplatnění, pokud je nutné vracet součást zpět nad střížnici či pro rozměrnější součásti. [44]
- Válcová s vybráním (obr. 36d) pro větší průměry ($d > 5 \text{ mm}$) při děrování. Výška válcové části viz střížnice s fazetkou. [44]



Obr. 36 Možnosti provedení otvoru střížnice [44].

Rozměr výstřížku závisí na střížnici, tzn. že její opotřebení se promítne do rozměru vystřihovaného dílce. Nárůst opotřebení je nejintenzivnější na počátku, poté roste úměrně s počtem zdvihů. Životnost je možné poměrně výrazně zvýšit povlakováním. S výhodou se používá tolerance součásti (TS) při návrhu střížnice. Otvor střížnice má počáteční velikost odpovídající dolní toleranci (obr. 37a). Postupným opotřebováním funkčních hran se otvor zvětší až na horní toleranci [41; 46; 36; 47; 2]. Rozměr otvoru ve střížnici se stanoví vztahem [36]:

$$A_e = (A_j - \Delta)^{+\delta_e}, \quad (2.28)$$

kde: A_j - jmenovitý rozměr výstřížku [mm],
 Δ - přípustná míra opotřebení, pro symetrické odchylky TS je hodnota poloviční, stanoví se dle přílohy 5 [mm],
 δ_e - výrobní tolerance střížnice [mm].

Rozměr střížníku se určí dle vztahu [36]:

$$A_k = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k}, \quad (2.29)$$

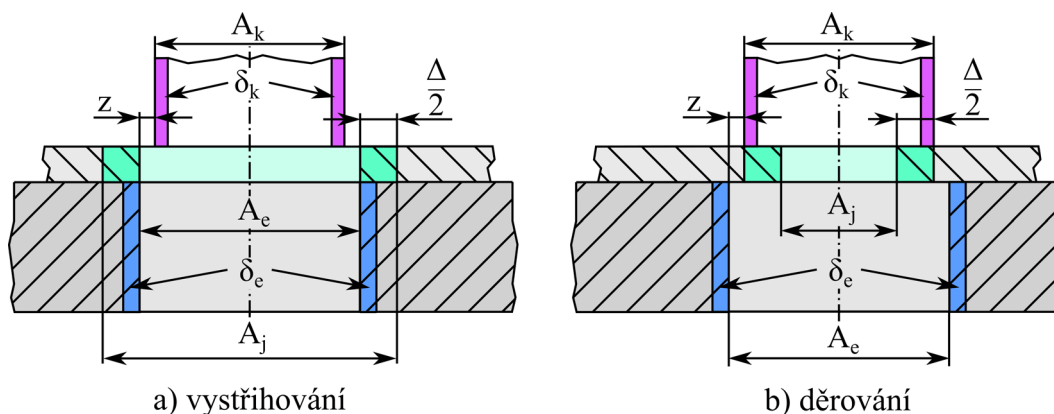
kde: δ_k - výrobní tolerance střížníku [mm].

Odpad vzniklý při děrování (obr. 37b) má rozměr od střížníku. Stejně jako u vystřihování se uplatňuje co největší využití tolerance součásti. V tomto případě se rozměr střížníku vyrábí na horní toleranci a tím, jak se střížník bude opotřebovávat, se rozměr otvoru dostane na dolní toleranci [41; 36]. Počáteční rozměry střížníku se stanoví [36]:

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} \quad (2.30)$$

Velikost otvoru ve střížnici pro děrování se určí [36]:

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} \quad (2.31)$$

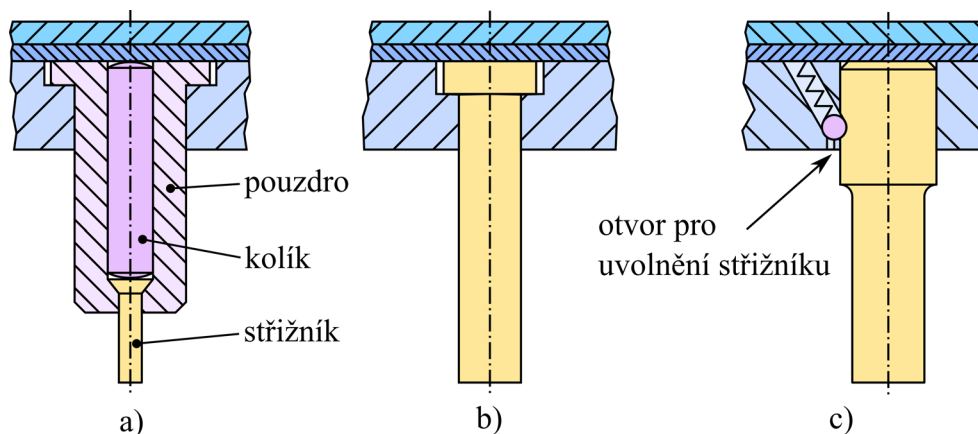


Obr. 37 Znázornění tolerancí stříhadla [36].

Výška střížnice H se orientačně stanoví podle vztahu [44]:

$$H = \sqrt[3]{F_s} \quad (2.32)$$

Druhou část nástroje, protikus střížnice, tvoří střížník. Dělí se podle několika aspektů. Prvním z nich je velikost střížníku. Do průměru 50 mm se zpravidla zhotovují jako celistvé. Malé střížníky s průměrem 1,5 až 3 mm se vložují, tzn. mají zkrácenou délku upnutí a zbytek tvoří průměrově větší kolík. Příklad je uveden na obr. 38a. Tyto dvě části jsou uloženy v pouzdře. Dále se střížníky dělí podle příčného průřezu na kruhové, obdélníkové či tvarové. Posledním hlediskem je způsob upnutí v kotevní desce, jehož provedení závisí např. právě na složitosti tvaru střížníku. Možnosti je například vytvoření osazení (obr. 38b), použití pouzdra s kolíkem či kuličkou (obr. 38c). Jaké provedení střížníku se zvolí, závisí mimo jiné na velikosti střížné síly, která ovlivňuje požadovanou pevnost. [24; 44]



Obr. 38 Ukotvení střížníků [44].

Za určitých okolností může dojít k nevratnému poškození některé části nástroje. Jedná se především o činné části stříhadel a ohýbadel. Nejkritičtější je délka a dosedací plocha střížníku, ohybáku nebo lisovníku. Proto se provádí dvě následující kontroly. [24; 44]

- Kontrola na vzpěr řeší kritickou délku střížníku, tzn. délka střížníku musí být menší než kritická. Jinak by došlo ke zničení střížníku [44; 48; 49]. Pro vedený se uvažuje uložení vetknutí – kloub a kritická délka L_{krit} (obr. 41) se vypočte vztahem [43]:

$$L_{krit} = \sqrt{\frac{n_k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{k_k \cdot F_s}}, \quad (2.33)$$

kde: n_k - koeficient výpočtu redukované délky [-], pro vetknutí – kloub je $n = 2$, pro vetknutí – volný konec je $n = \frac{1}{4}$,

J_{min} - minimální kvadratický moment průřezu [mm^4], pro kruhový průřez

$$J_{min} = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64}, \quad (2.34)$$

kde: d_s - průměr střížníku [mm],
pro obdélníkový průřez

$$J_{min} = \frac{h_s \cdot b_s^3}{12}, \quad (2.35)$$

kde: h_s - délka střížníku [mm],

b_s - šířka střížníku [mm],

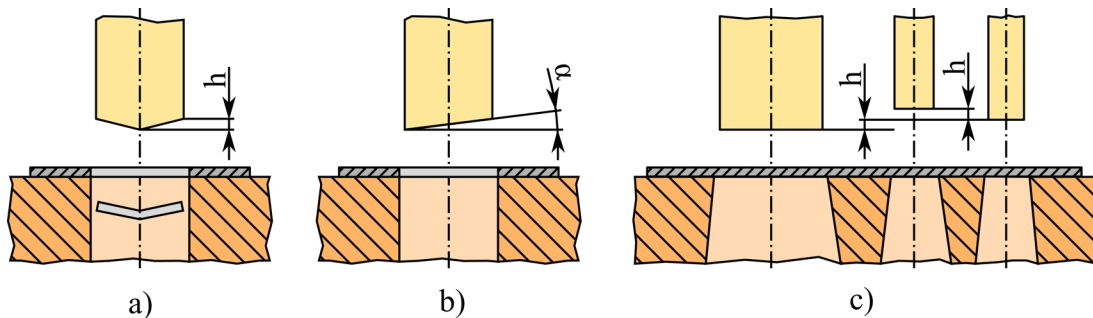
k_k - koeficient bezpečnosti, volí se $k_k = 1,5$ až 2 .

- Kontrola na otláčení zjišťuje, zda hrozí zatlačení např. střížníku z tvrdší oceli do upínací desky z měkčí oceli. V případě překročení dovoleného napětí na otláčení se musí použít kalené opěrné desky, která se umísťuje mezi upínací a kotevní desku [44; 49]. Velikost působícího napětí na dosedací ploše nástroje se vypočte [44]:

$$\sigma_{otl} = \frac{F_s}{S_s} \leq \sigma_{dov}, \quad (2.36)$$

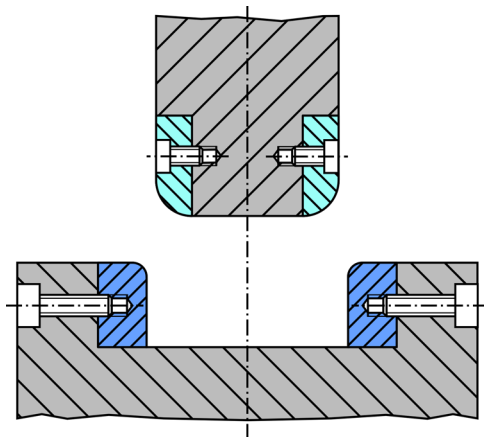
kde: S_s - dosedací plocha střížníku [mm^2],
 σ_{dov} - dovolené napětí v tlaku na stykových plochách, pro konstrukční ocel
 je $\sigma_{dov} \leq 180 \text{ MPa}$.

Jestliže by kontrola na otláčení anebo vzpěr nevyhovovala, lze velikost střížné síly snížit dvěma způsoby. Při děrování se použije zkoseného střížníku či střížnice (obr. 39a, b), kdy s rostoucím úhlem zkosení klesá velikost střížné síly. Principem je postupné působení nástroje na materiál a střížná síla je tedy více rozložena na jeho dráhu. U takové úpravy ovšem dochází k navýšení zdvihu a deformaci jedné z vystřihovaných částí. Další úpravou je odstupňování střížníků (obr. 39c). Napřed se provádí stříh většími střížníky a následují tenčí. Tato posloupnost má své opodstatnění, jelikož v opačném uspořádání by masivnější střížníky způsobovaly vychylování tenkých střížníků z os a hrozilo by jejich poškození, neboť jsou v daný moment ve střížnici. Vzdálenost mezi jednotlivými střížníky ovšem nesmí být příliš malá, jelikož by se plech mohl zvlnit vlivem boční síly. Její velikost odpovídá přibližně 2 % střížné síly. [2; 50; 24; 1]

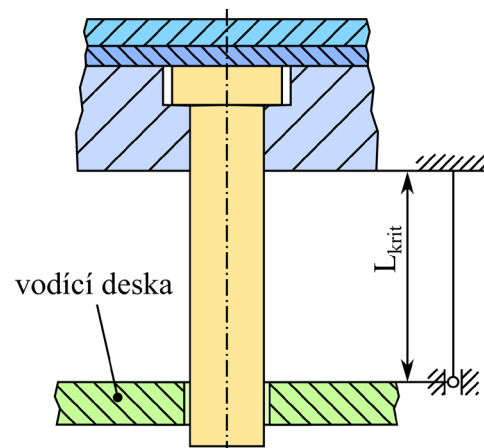


Obr. 39 Úprava střížníků [2].

Nástroj pro ohýbání, ohýbadlo, se skládá z ohybníku a ohybnice. Rozměry ohybníku udává tvar výlisku, především jeho poloměr zaoblení r_o , jež určuje poloměr na výlisku. V případě Z ohybu je stanoven i poloměr zaoblení ohybnice r_m . Pro úsporu materiálu nástrojů se, podobně jako stříhadel, používá vložkovaných funkčních hran ohybníku či ohybnice (obr. 40). Výhodou je také snazší vyměnitelnost při opotřebení. Šířka obou částí musí být minimálně stejně velká jako šířka ohybu. U některých typů ohybu je nezbytné použití přídržovače. [2; 44]



Obr. 40 Vložkování ohýbadla [44].

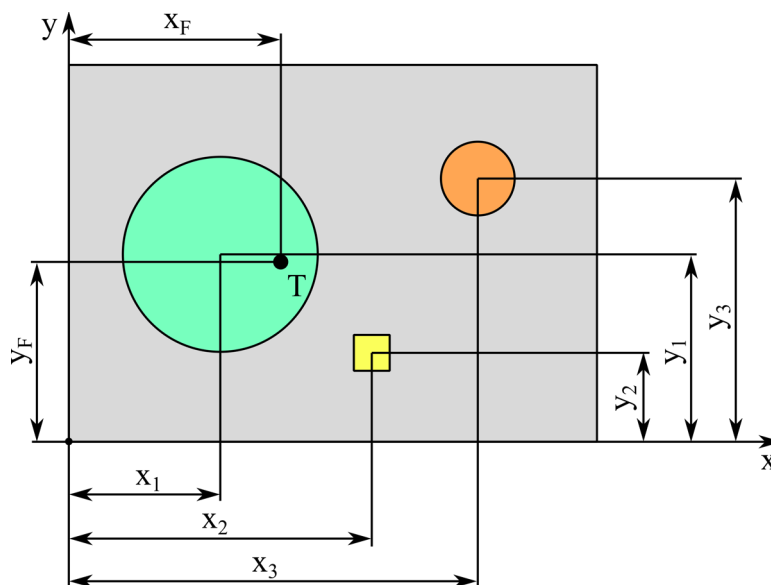


Obr. 41 Redukovaná délka střížníku [31].

2.5.2 Těžiště sil

Postupové nástroje, jak již bylo uvedeno, provádí několik operací současně. Nevhodné umístění nástroje v pracovním prostoru lisu může vést k nadměrnému opotřebení částí nástroje, jako jsou např. ložiska vedení. Problém si lze představit vychýlením horní části nástroje ze směru pohybu beranu. Následně může docházet ke zhoršení kvality a přesnosti lisovaných dílců, jelikož např. střížná mezera nebude po celém obvodu konstantní. [2; 1; 44]

Při určování těžiště T se jako první stanoví těžiště jednotlivých tvářených prvků vůči zvolenému referenčnímu bodu (obr. 42). Výpočet zahrnuje veškeré operace stříhání, ohýbání a lisování. Poté se buďto analyticky nebo graficky určí výsledná poloha upnutí v lisu. Výsledkem je těžiště celkové síly, které musí ležet v ose působící síly od beranu stroje. Určují ho vzdálenosti x_F a y_F od referenčního bodu. Do toho místa se umístí stopka nástroje. V případě, že nástroj stopku nemá, musí se patřičně upnout na upínací desce beranu. [2; 1; 44]



Obr. 42 Výpočet těžiště celkové tvářecí síly [44].

Analytický výpočet je odvozen z momentové rovnováhy. Výpočet souřadnice x_F těžiště působících sil se provádí podle vztahu [44]:

$$x_F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i}, \quad (2.37)$$

kde: F_i - i-tá síla pro daný prvek [N],
 x_i - souřadnice těžiště i-tého prvku [mm].

Analogicky se dle vzorce (2.37) získá i souřadnice y_F .

2.6 Stroje

Stroj slouží jako prostředek pro dodání potřebné síly a práce pro vytvoření součásti. V oblastech plošného tváření se používá několik typů strojů – lisů. Dílce vyráběné nástroji se vesměs produkují na univerzálních lisech. Výchozí pozicí beranu je horní úvrat' (HÚ) a přímočarým vratným pohybem se dostane do dolní úvrat' (DÚ) (obr. 43). Podle způsobu vyvození síly a jejího průběhu se dělí do dvou hlavních kategorií, a to silové a zdvihové. [1; 51]

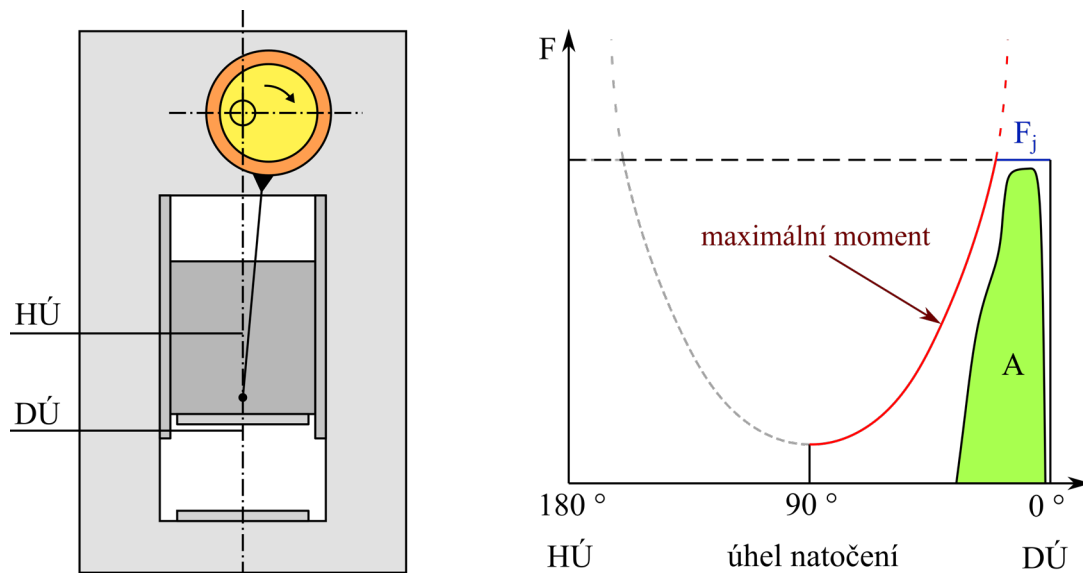
Hydraulické lisy jsou tzv. silové stroje. Charakteristickým rysem je nízká tvářecí rychlost. Tvářecí síla má konstantní velikost po celé výšce zdvihu beranu. Přenos síly zajišťuje kapalina, v níž se tlak šíří všemi směry stejně a je vyvozen hydraulickou jednotkou. Vhodný stroj je volen

podle jmenovité síly, která může dosahovat až 20 MN. Hydraulické lisy mají delší časy cyklu a jsou tedy méně produktivní. [51; 1; 53]

Mezi zdvihové stroje patří mechanické lisy. Na rozdíl od hydraulických lisů je průběh tvářecí síly závislý na dráze, přičemž jmenovité síly F_j se dosahuje před dolní úvratí (obr. 43). Volba stroje probíhá na základě velikosti jmenovité síly a délce dráhy, na které tato síla působí. Provedení těchto strojů je celá řada. Pro tváření v postupových nástrojích nachází hojně uplatnění výstředníkové lisy. Mechanická energie v těchto strojích vzniká v elektromotoru, který pohání setrvačnick. Ten je propojen s mechanismem převádějící rotační pohyb na přímočarý. V tomto případě se jedná o výstředníkový mechanismus, jež lze nastavovat a tím měnit výšku zdvihu. Velikost setrvačnicku ovlivňuje množství dostupné práce, která je navracena mimo pracovní zdvih. Spotřeba energie vyšší, než je elektromotor schopen navrátit do setrvačnicku během cyklu, vede k postupnému zastavení stroje. Při nízkém počtu zdvihů za čas nedosahuje uložená energie jmenovité hodnoty. Přetížení stroje může nastat, pokud dojde k překročení jmenovité síly, na kterou je stroj dimenzován. Další typ přetížení způsobuje nadměrná velikost momentu. Uplatnění nachází při výrobě méně tvarově složitých součástí, které nevyžadují velkou práci. [1; 51; 52; 44; 53]

Alternativou může být servo lis. Oproti výstředníkovým mají programovatelnou rychlost beranu a obecně jsou flexibilnější. Elektromotor přímo pohání mechanismus. Jelikož nedisponují setrvačnickem, dochází ke zmenšení dráhy, na které lze dosáhnout jmenovité síly, při rostoucím počtu otáček. Mezi výhody patří např. větší tonáž při malých rychlostech, proměnná rychlost tvářecího procesu, menší čas cyklu a lepší synchronizace s podávacím systémem. Jejich pořízení je však nákladnější. [1; 52]

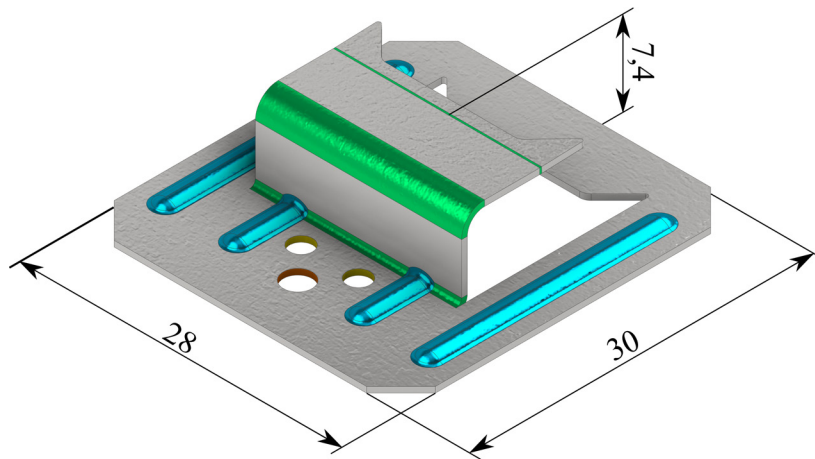
Snížení nákladů a zvýšení automatizace procesu lze dosáhnout dalším strojním vybavením. Jedná se o zařízení pro podávání plechu. Jako první je svitek umístěn do odvíječky. Odtud pokračuje přes rovnačku do podavače. Ten musí být vhodně seřízen s cyklem stroje pro správné podávání, kdy je nástroj v otevřeném stavu. V případě že odpad není dělen, lze použít i navijení odpadu. [1, 41]



Obr. 43 Výstředníkový lis a jeho využitelnost [53].

3 NÁVRH VÝROBY

Montážní spona na obr. 44 je zhotovena z tenkého pozinkovaného plechu DX51D+Z140 o tloušťce 0,5 mm. Velikost výrobní série činí 600 000 ks ročně. Pro výrobu byl zvolen sdružený postupový nástroj, který zahrnuje technologii stříhání, ohýbání a lisování. Výkres součásti má číslo 2022_DP_200477_1.



Obr. 44 3D model součásti.

Vzhledem ke svému účelu dílec nepodléhá požadavkům na zvýšenou přesnost. Přesto jsou tolerance délkových a úhlových netolerovaných rozměrů určeny dle ISO 2768. Střední třídy přesnosti lze nástrojem s vedením dosáhnout.

Nezbytným krokem před dalším postupem návrhu nástroje je vyhodnocení technologičnosti součásti, kterým se zjistí, zda je dílec vyrobitelný nebo se musí provést úpravy jeho konstrukce.

Z pohledu technologie stříhání musí být vzdálenost mezi jednotlivými otvory a_{rs} alespoň $0,8 \cdot t$, avšak pro měkké oceli se hodnota navyšuje přibližně o 20 %. Po zaokrouhlení bude platit:

$$a_{rs} = t = 0,5 = 0,5 \text{ mm.}$$

Vzdálenost mezi jednotlivými otvory, které slouží pro přichycení na podklad, splňuje podmínku, viz obr. 45. Stejně tak nejmenší vzdálenost prostříhu k okraji je dostatečná, a to 3,3 mm.

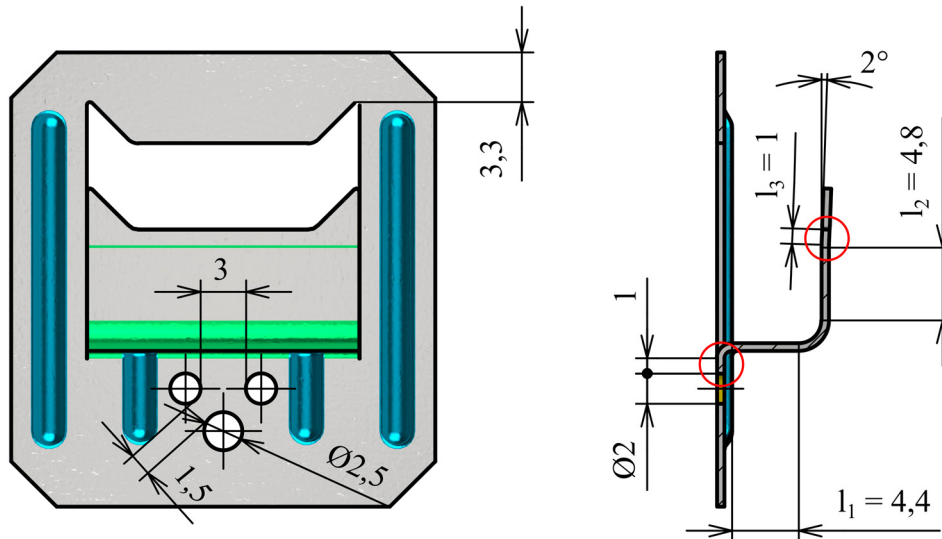
Otvory musí být od ramene ohybu vzdáleny minimálně ve dvojnásobku tloušťky:

$$a_{ro} = 2 \cdot t = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ mm.}$$

Dvojice otvorů o průměru 2 mm, které slouží pro upevnění pomocí nastřelovací spony, nespĺňuje doporučení (obr. 45) a hrozila by deformace otvorů. Proto byla původní vzdálenost 0,5 mm, zvětšena na 1 mm, viz obr. 45, což nemá vliv na praktický účel při montáži. Tímto však dojde ke zmenšení vzdálenosti mezi otvory průměru 2 a 2,5 mm, na 1,5 mm, což je přijatelné.

Pro technologii ohýbání platí, že délka ramene ohybu a_o musí být minimálně ve dvojnásobku tloušťky.

$$a_o = 2 \cdot t = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ mm.}$$



Obr. 45 Technologičnost dílce.

Ramena ohybu l_1 a l_2 , která tvoří drážku pro uchycení palubky, mají dostatečnou délku, jak lze vidět na obr. 45. Nepatrný ohyb u volného konce drážky s ramenem l_3 (obr. 45), jež usnadňuje nasazování na daseň palubky, nesplňoval požadavek na minimální délku ramene ohybu. Jeho délka byla zvětšena na 1 mm posunutím ohybu více od okraje z původních 0,5 mm. Úprava nemá vliv funkčnost součásti.

Ohyby je nutné zkontrolovat, zda nepřekračují jednu z limitních hodnot. Jedná se o minimální a maximální poloměr ohybu. Minimální poloměr ohybu se stanoví podle vztahu (2.10):

$$R_{min} = c_o \cdot t = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ mm},$$

kde: c_o - zvolen z rozsahu 0,5 až 0,6, $c_o = 0,6$.

Nejmenší poloměr ohybu na součásti je 0,5 mm a není třeba ho upravovat za předpokladu, že bude osa ohybu kolmo na směr vláken. Maximální poloměr ohybu se vypočte dle (2.11):

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{0,5}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{300} - 1 \right) = 174,75 \text{ mm},$$

kde: R_e - mez kluzu materiálu byla zvolena $R_e = 300 \text{ MPa}$.

Ani jeden z ohybů nepřekračuje dovolené meze, tj. leží v intervalu mezních poloměrů a není nutné měnit jejich rozměry.

Spona má obdélníkovou základnu bez ohybu, a proto není nutné stanovovat rozměry přístřihu, které odpovídají rozměrům ve výkresové dokumentaci. Musí se však stanovit výchozí rozměry prostřihu, aby výsledné rozměry drážky odpovídaly výkresu součásti. Šířka drážky se po ohybu nemění a vypočte se tedy pouze délka rozvinu.

Nejprve je nutné stanovit délky ohnutých úseků a_i , které jsou znázorněny na obr. 46. Výpočet se provede dle rovnice (2.22):

$$a_1 = \frac{\pi \cdot \gamma_1 \cdot \rho_1}{180} = \frac{\pi \cdot \gamma_1}{180} \cdot (r_1 + t \cdot x_1) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (0,5 + 0,5 \cdot 0,41) = 1,11 \text{ mm},$$

kde: γ_1 - úhel ohnutého úseku a_1 se stanoví dle (2.23):

$$\gamma_1 = 180 - \alpha_1 = 180 - 90 = 90^\circ,$$

kde: α_1 - úhel ohybu 1, $\alpha_1 = 90^\circ$,

x_1 - dle tab. 2 je $x_1 = 0,41$ pro $\frac{r_1}{t} = \frac{0,5}{0,5} = 1$,

r_1 - poloměr ohybu 1, $r_1 = 0,5 \text{ mm}$.

$$a_2 = \frac{\pi \cdot \gamma_2 \cdot \rho_2}{180} = \frac{\pi \cdot \gamma_2}{180} \cdot (r_2 + t \cdot x_2) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (1,5 + 0,5 \cdot 0,46) = 2,72 \text{ mm},$$

kde: γ_2 - úhel ohnutého úseku a_2 se stanoví dle (2.23):

$$\gamma_2 = 180 - \alpha_2 = 180 - 90 = 90^\circ,$$

kde: α_2 - úhel ohybu 2, $\alpha_2 = 90^\circ$,

x_2 - dle tab. 2 je $x_2 = 0,46$ pro $\frac{r_2}{t} = \frac{1,5}{0,5} = 3$,

r_2 - poloměr ohybu 2, $r_2 = 1,5 \text{ mm}$.

$$a_3 = \frac{\pi \cdot \gamma_3 \cdot \rho_3}{180} = \frac{\pi \cdot \gamma_3}{180} \cdot (r_3 + t \cdot x_3) = \frac{\pi \cdot 2}{180} \cdot (5 + 0,5 \cdot 0,5) = 0,18 \text{ mm},$$

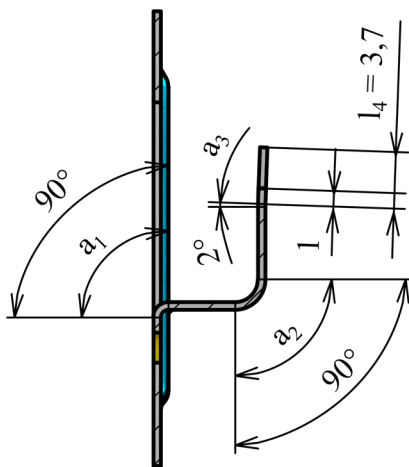
kde: γ_3 - úhel ohnutého úseku a_3 se stanoví dle (2.23):

$$\gamma_3 = 180 - \alpha_3 = 180 - 178 = 2^\circ,$$

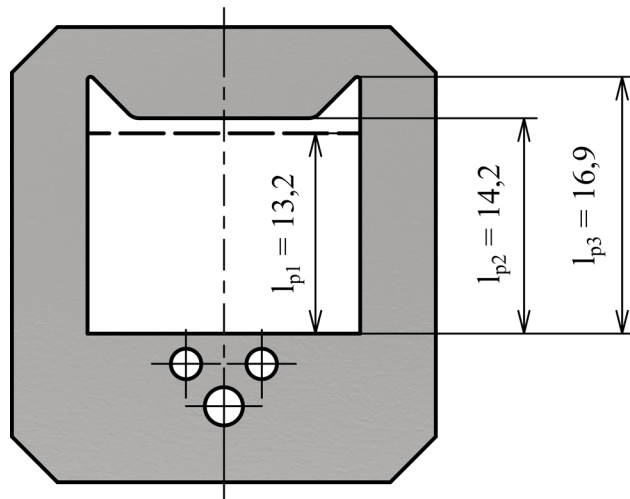
kde: α_3 - úhel ohybu 3, $\alpha_3 = 178^\circ$,

x_3 - dle tab. 2 je $x_3 = 0,5$ pro $\frac{r_3}{t} = \frac{5}{0,5} = 10$,

r_3 - poloměr ohybu 3, $r_3 = 5 \text{ mm}$.



Obr. 46 Délky ohnutých úseků.



Obr. 47 Rozměry prostříhu.

Následně se sečtou délky ohnutých a rovných úseků dle (2.24):

$$l_{p1} = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^n a_i = l_1 + l_2 + a_1 + a_2 + a_3$$

$$l_{p1} = 4,4 + 4,8 + 1,11 + 2,72 + 0,18 = 13,21 \text{ mm},$$

kde: l_1 - délka prvního ramene (obr. 45), $l_1 = 4,4 \text{ mm}$,

l_2 - délka druhého ramene (obr. 45), $l_2 = 4,8 \text{ mm}$.

Pro další výpočty byla délka zaokrouhlena na 13,2 mm.

Jak je patrné z obr. 47, nejedná se o úplnou délku, jelikož nelze takto stanovit. Konečné rozměry prostříhu se určí přičtením délky l_{p1} ke zbývajícím ramenům l_{p2} a l_{p3} (obr. 47) o délce 1 a 3,7 mm:

$$l_{p2} = l_{p1} + l_3 = 13,2 + 1 = 14,2 \text{ mm}, \quad (3.1)$$

kde: l_3 - délka třetího ramene (obr. 45), $l_3 = 1 \text{ mm}$,

$$l_{p3} = l_{p1} + l_4 = 13,2 + 3,7 = 16,9 \text{ mm}, \quad (3.2)$$

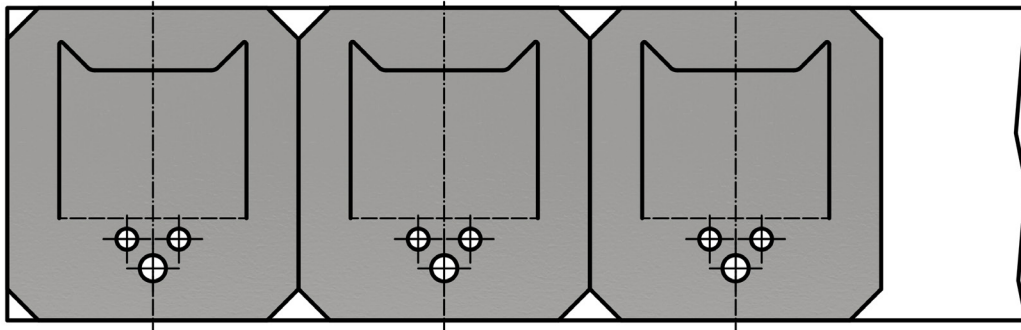
kde: l_4 - délka čtvrtého ramene (obr. 46), $l_4 = 3,7 \text{ mm}$.

3.1 Volba polotovaru

Jako polotovaru lze využít buď tabule plechu, která se nadělí na pásy o požadované šířce, nebo svitku plechu, jež má požadovanou šířku od dodavatele. Je zřejmé, že výroba ze svitku nabízí daleko nižší čas na obsluhu lisu, zejména z pohledu zavádění nového polotovaru.

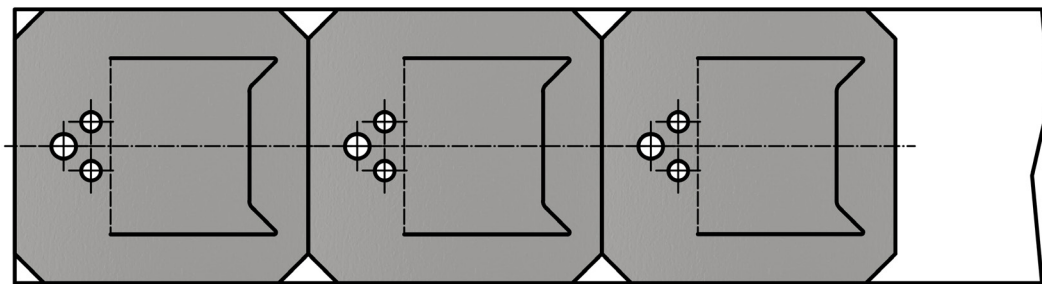
Optimální rozložení dílce na pásu určuje hospodárnost a produktivitu výrobního postupu. V případě zadané součástky odpadá problematika komplikované optimalizace umístění výstřížků na pásu. Vzhledem k obdélníkovému tvaru se nabízí jen několik možností. Všechny varianty uvažují stříh bez okrajů, jelikož tolerance šířky polotovaru spadá do tolerance rozměru spony. Vhodná rozmístění na pásu jsou následující:

- 1. možnost – jednořadé příčné umístění (obr. 48). Užití můstku mezi jednotlivými dílci by v tomto případě pouze snižovalo využití materiálu. Značnou nevýhodou je rovnoběžnost osy ohybu se směrem vláken, tzn. muselo by dojít ke dvojnásobnému zvětšení poloměru ohybu, aby byla součást vyrobitelná bez problémů.



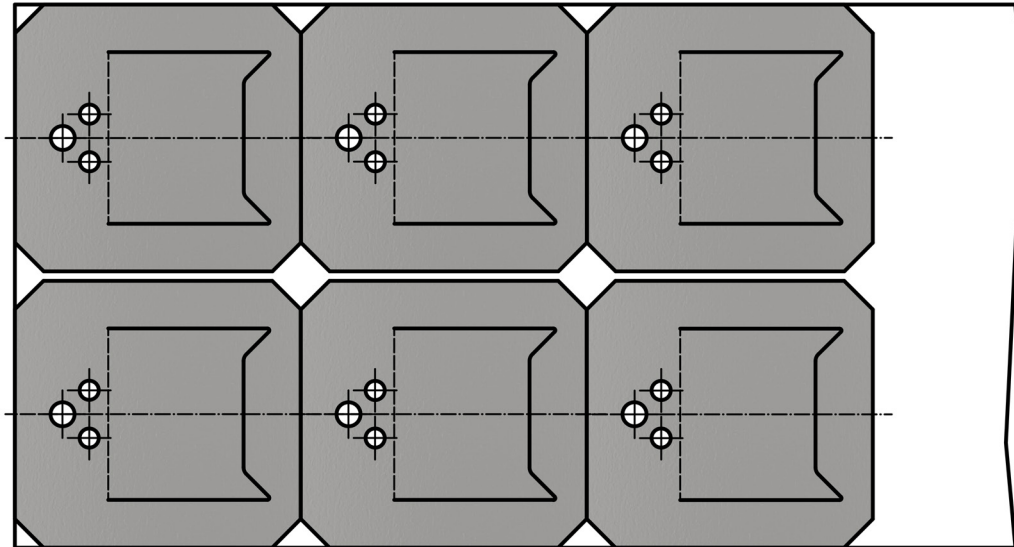
Obr. 48 Jednořadé příčné rozmístění.

- 2. možnost – jednořadé podélné umístění (obr. 49). Na rozdíl od první možnosti má dílec osy všech ohybů kolmé na směr vláken. Není tedy nutné upravovat poloměry ohybu na dvojnásobnou velikost. Nastává zde však možná komplikace při vedení vlivem přítomnosti podélných prolisů blízko hran pásu.



Obr. 49 Jednořadé podélné umístění.

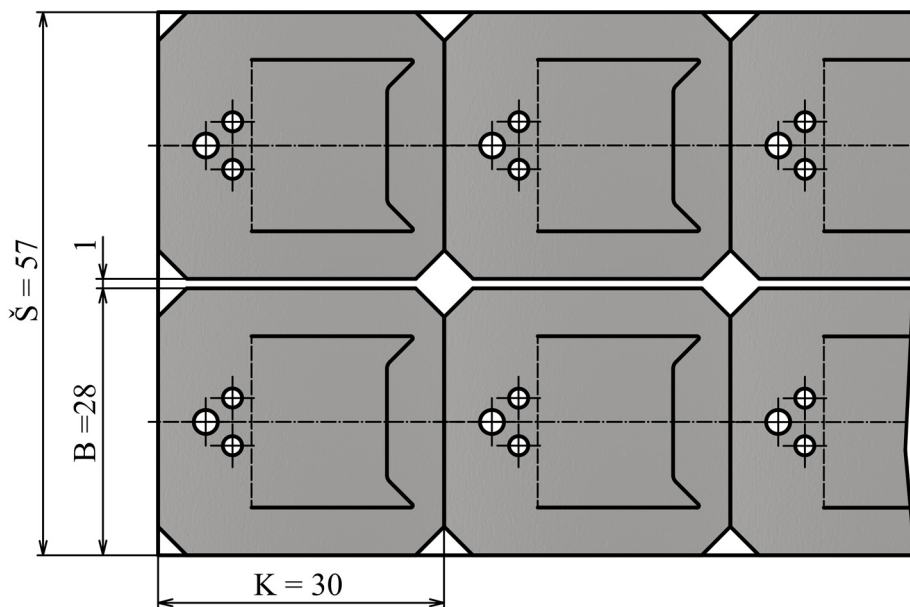
- 3. možnost – dvouřadé podélné umístění. Využívá výhody orientace druhé varianty. Největší výhodou je dvojnásobná produktivita, která přichází v úvahu kvůli vysokým výrobním sériím. Možností je vyrábět dva rozměry spony současně. Nevýhodou je nutnost použití můstku (obr. 50), což snižuje využití polotovaru. Odstřihnutí bez můstku by značně komplikovalo nástroj.



Obr. 50 Dvouřadé podélné umístění.

Pro menší počet kusů či jednorázovou sérii by jednoznačně bylo nejvýhodnější jednořadé podélné umístění. S ohledem na velikost jedné roční série byla zvolena 3. možnost s dvouřadým podélným uspořádáním. Menší nevýhodou může být vyšší cena nástroje. Konstrukce nástroje se v tomto případě nezdá být výrazně složitější.

Před určením velikosti polotovaru je nutné stanovit základní parametry nástřihového plánu. Přesné rozložení střížníků v nástroji je přímo závislé na výrobním postupu součásti ve sdruženém nástroji. Vzhledem k tomu, že tato problematika bude řešena v následujících kapitolách, jsou zde parametry nástřihového plánu zakresleny do obr. 51, který ukazuje zvolené uspořádání výstřižků na páse.



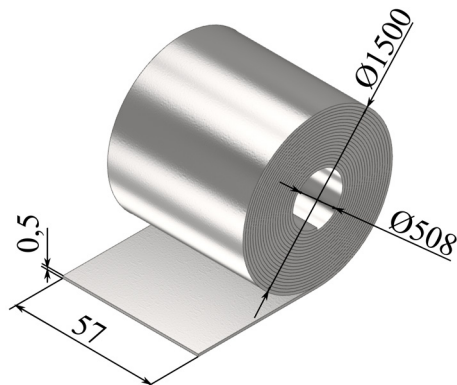
Obr. 51 Zvolený nástřihový plán s rozměry.

Základními parametry jsou velikost kroku, šířka pásu a velikost můstku. Šířka polotovaru \check{S} se určí podle šířky dílce, ke které je nutné přičíst šířku můstku m , jehož rozměr $m = 1 \text{ mm}$ byl stanoven dle přílohy 4.

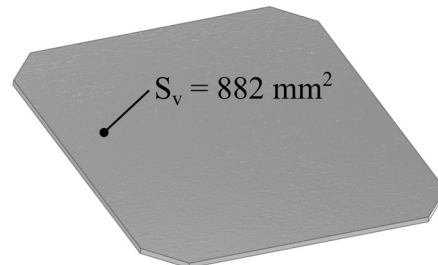
$$\check{S} = 2 \cdot B + m = 2 \cdot 28 + 1 = 57 \text{ mm}, \quad (3.3)$$

kde: B - šířka dílce, viz obr. 51.

Délka kroku K odpovídá délce součásti, jelikož zde není můstek, viz obr. 51, $K = 30 \text{ mm}$.



Obr. 52 Svitek plechu.



Obr. 53 Plocha výstřižku.

Jako polotovar byl zvolen svitek plechu, jež bude dodán v požadované šířce 57 mm [54]. Dále je nutné zvolit další dva rozměry, a to jeho vnitřní a vnější průměr. Vnitřní průměr d_{sv} je 508 mm, přičemž tuto hodnotu udává dodavatel svitku [54]. Za účelem porovnání nejvýhodnější varianty byl vnější průměr svitku D_{sv} zvolen 900 až 1500 mm s 100 mm odstupem. Níže je uveden vzorový výpočet pro zvolenou hodnotu vnějšího průměru svitku $D_{sv} = 1500 \text{ mm}$, obr. 52. Výsledné srovnání je pak uvedeno v tab. 4.

Po určení rozměrů svitku lze určit jeho hmotnost:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S} \cdot \rho_o \quad (3.4)$$

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (1500^2 - 508^2)}{4} \cdot 57 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 700 \text{ kg},$$

kde: ρ_o - hustota oceli, $\rho_o = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3}$.

Z hmotnosti svitku se určí délka jeho návínu:

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{\check{S} \cdot t \cdot \rho_o} \quad (3.5)$$

$$L_{sv} = \frac{700}{57 \cdot 0,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 3128925,8 \text{ mm}$$

Délka návínu byla zaokrouhlena na 3128920 mm, jelikož tak přesný rozměr nelze dodat.

Z délky návínu lze určit počet dílců z jednoho svitku, přičemž je nezbytné odečíst jeden zaváděcí kus, jež vznikne při zavádění polotovaru do nástroje. Dále se odečte konec svitku, který vznikne vlivem nemožnosti nebo obtížné proveditelnosti posunutí plechu. Obsahuje čtyři poslední kroky, tj. 4 kusy. Celkem se odečte 10 kusů:

$$N_{vys} = \frac{L_{sv}}{K} \cdot 2 \quad (3.6)$$

$$N_{vys} = \frac{L_{sv}}{K} \cdot 2 = \frac{3128920}{30} \cdot 2 - 10 = 208584,67 \text{ ks}$$

Počet dílců z návínu je nutnou zaokrouhlit na celé kusy, tedy $N_{vys} = 208584 \text{ ks}$.

Počet svitků potřebných pro výrobu jedné série 600 000 ks:

$$n_{sv} = \frac{Q}{N_{vys}} \quad (3.7)$$

$$n_{sv} = \frac{600000}{208584} = 2,88 \text{ svitku}$$

kde: Q - počet kusů ve výrobní sérii, $Q = 600\,000$ ks.

Lze dodat pouze celé svitky, proto byla hodnota zaokrouhlena na $n_{sv} = 3$ svitky.

Po dohodě se zákazníkem bude zřejmě možné přesáhnout dohodnutý počet kusů a využít tak všechny plech ve specifické šířce. Případně lze použít na jinou velikost spony, která se liší pouze šířkou drážky.

Využití jednoho svitku se vypočte dle (2.6):

$$\eta_p = \frac{S_v \cdot N_{vys}}{S_p} \cdot 100 = \frac{822 \cdot 208584}{178348440} \cdot 100 = 96,1 \%,$$

kde: S_v - plocha výstřižku určena softwarem Autodesk Inventor Professional 2022, $S_v = 822 \text{ mm}^2$, viz obr. 53,

S_p - plocha jednoho svitku plechu se určí:

$$S_p = L_{sv} \cdot \check{S} \quad (3.8)$$

$$S_p = 3128920 \cdot 57 = 178348440 \text{ mm}^2.$$

Procentuální využití polotovaru celé série je následující:

$$\eta_s = \frac{S_v \cdot Q}{S_p \cdot n_{sv}} \cdot 100 \quad (3.9)$$

$$\eta_s = \frac{822 \cdot 600000}{178348440 \cdot 3} \cdot 100 = 92,2 \%$$

Využití polotovaru z pohledu jedné série závisí na volbě velikosti vnějšího průměru svitku, jak ukazuje tab. 4. Nejvyšší využití dosahuje svitek o průměru 1200 mm. Zvolený vnější průměr svitku tedy bude 1200 mm, přičemž využití celé série je 93,2 % s potřebou pěti svitků.

Tab. 4 Vliv vnějšího průměru na procentuální využití polotovaru v sérii.

D_{sv} [mm]	n_{sv} [ks]	η_p [%]	η_s [%]
900	11	96,1	90,7
1000	8	96,1	92,8
1100	7	96,1	82,7
1200	5	96,1	93,2
1300	5	96,1	76,9
1400	4	96,1	80,9
1500	3	96,1	92,2

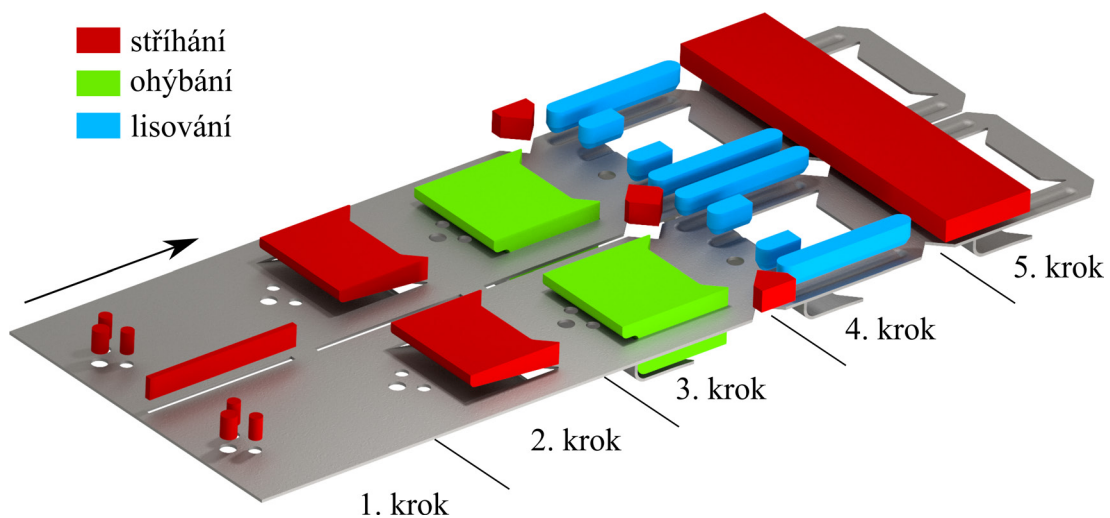
3.2 Výrobní postup

Další nezbytnou částí návrhu postupového nástroje je sestavení optimálního výrobního postupu. Snahou je vyrobit dílec v co nejmenším počtu kroků, což s sebou nese určité problémy, na které se musí brát ohled. Jedná se o vhodný sled tvářecích operací, jež se nesmí ovlivňovat navzájem. Dále například bezproblémové upnutí jednotlivých nástrojů či posun plechu v nástroji. Důraz je kladen na jednoduché tvary jednotlivých střížníků, ohybníků a lisovníků. Pro zvolený dvouřadý nástřihový plán č. 3 byly navrženy tři výrobní postupy:

Varianta A – zhotovuje dílec v pěti krocích (obr. 54):

- V prvním kroku se děrují otvory o průměru 2 a 2,5 mm. Současně dochází k částečnému odstranění můstku mezi dílci úzkým obdélníkovým střížníkem.
- Ve druhém kroku dojde nejprve k zahledání za otvory o průměru 2,5 mm, které byly vyděrovány v předchozím kroku. Následně je střížníkem se šikmým čelem vytvořeno prostřížení.
- Třetí krok se skládá z ohybu prostříhu vytvořeného ve druhém kroku, čímž jsou zhotoveny všechny ohyby na součásti pomocí jednoho ohybníku a vznikne „drážka“. Mezi třetím a čtvrtým krokem jsou tvarovými střížníky sraženy rohy dílce na vnějším okraji plechu. Současně je pomocí čtvercového střížníku vytvořeno sražení rohů i uprostřed polotovaru a přitom se odstraní zbytek můstku mezi dílci.
- Ve čtvrtém kroku jsou vytvořeny všechny prolisy.
- Pátý krok obsahuje pouze odstřížení hotových součástí z pásu širokým obdélníkovým střížníkem.

Varianta A má velké množství nevýhod. Jedná se především o komplikované ukotvení střížníků a lisovníků v prvním a čtvrtém kroku. Vzdálenost mezi stříhanými otvory v prvním kroku je příliš malá, čímž by střížníky byly nadměrně namáhány bočním zatížením. Provádění samotného prostříhu v jedné operaci ve druhém kroku se zdá být neefektivní. Značnou nevýhodou je vytváření prolisů až v posledním kroku. Mohlo by dojít, vlivem vtahování materiálu do podélných prolisů, které jsou blízko prostříhu, ke vzniku trhlin. Výhodou je tvorba všech ohybů na jeden zdvih.

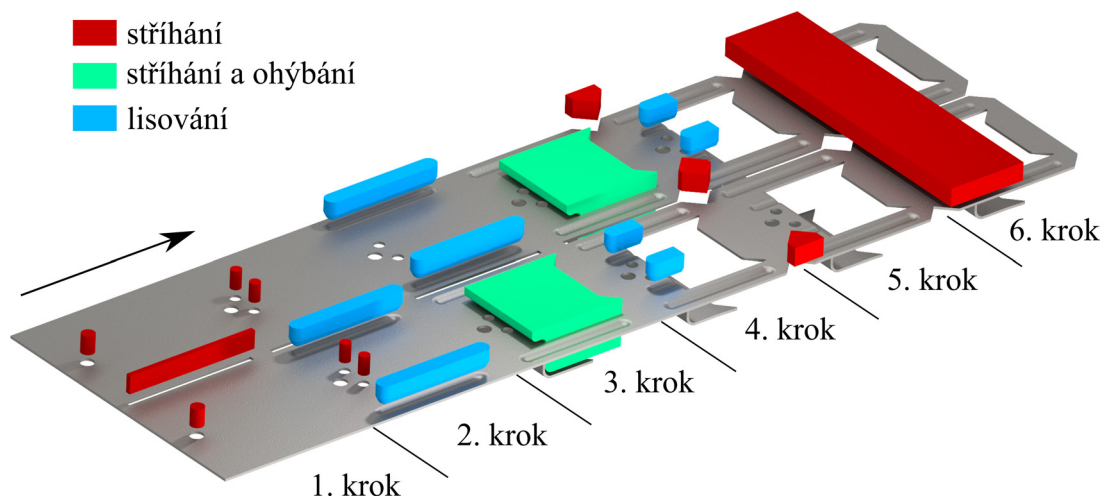


Obr. 54 Výrobní postup – Varianta A.

Varianta B – počítá s výrobou v šesti krocích (obr. 55). Byly odstraněny některé nedostatky týkající se komplikovaného upnutí nástrojů, a to vzájemným posunutím postupu o jeden krok. Podélné prolisy jsou nyní vytvářeny před prostřihnutím.

- První krok zahrnuje děrování otvorů průměru 2,5 mm a částečné odstranění můstku mezi dílci pomocí úzkého obdélníkového střížníku.
- Ve druhém kroku je jako první provedeno zahledání za otvory vytvořené v předchozím kroku, po kterém následuje děrování otvorů s průměrem 2 mm. Zároveň jsou vylisovány podélné prolisy. U „druhé“ součásti je lisování posunuto do třetího kroku.
- Třetí krok kombinuje prostřihnutí a ohyb pomocí jednoho nástroje s částečně rovným čelem, jež je u volného konce drážky zkoseno pod úhlem 2° . Všechny ohyby jsou pomocí něho zhotoveny v tomto kroku. Opět, jako v předešlém kroku, je u „druhé“ součásti na pásu prostřihnutí a ohyb posunut do dalšího kroku.
- Ve čtvrtém kroku jsou vytvořeny dva menší prolisy u ohybu. Lisovník přesahuje až za ohyb. Mezi čtvrtým a pátým krokem jsou tvarovými střížníky sraženy rohy dílce na vnější straně polotovaru i uprostřed. Zároveň dojde k úplnému oddělení obou součástí od sebe, jelikož se odstraní zbytek můstku.
- V pátém kroku je dokončen i „druhý“ dílec, přičemž první dílec má tento krok prázdný.
- Odstránění hotových součástí probíhá širokým obdélníkovým střížníkem v šestém kroku.

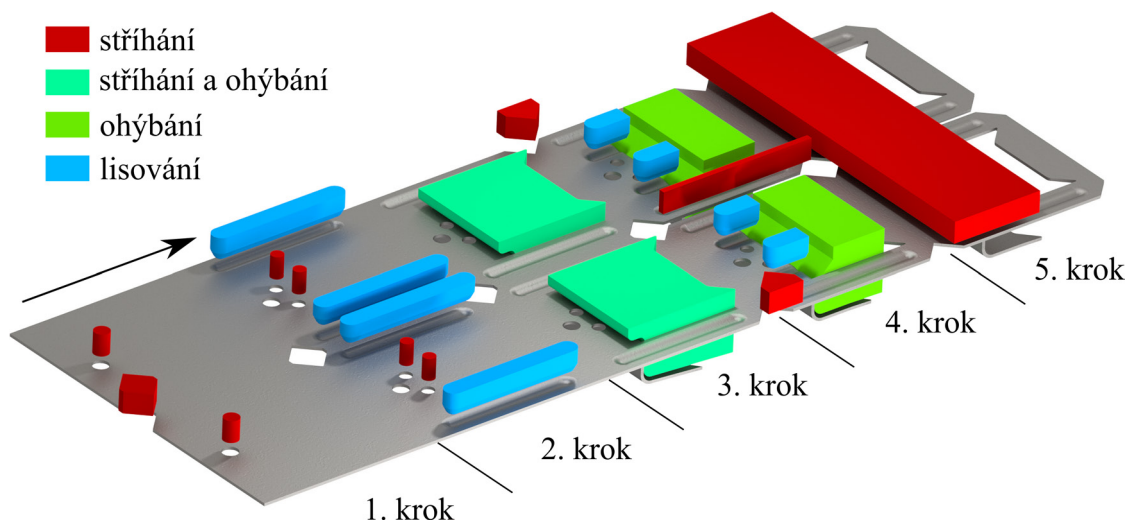
Je vhodné se zamyslet nad odstraňováním můstku hned v prvním kroku, jelikož hrozí průhyb plechu, který bude veden pouze na vnějších okrajích. Prostor pro upnutí jednotlivých nástrojů je dostatečný. Vytvoření prostřihu a následného ohybu rovným čelem nástroje ve třetím kroku není zcela optimální. V počáteční fázi hrozí tažení materiálu.



Obr. 55 Varianta B.

Varianta C – má stejný počet kroků jako varianta A, a to pět (obr. 56). Oproti variantě B bylo odstraněno vzájemné posunutí o jeden krok.

- První krok obsahuje vytvoření částečného odstříhnutí můstku čtvercovým střížníkem a zároveň zhotovení části sražení rohů dílce. Současně dochází k děrování otvorů o průměru 2,5 mm, které budou sloužit i pro hledáčky v následujících krocích.
- Ve druhém kroku je nejprve provedeno zahledání za otvory o průměru 2,5 mm vyděrované v předchozím kroku. Poté dojde k děrování otvorů o průměru 2 mm a zhotovení všech čtyř podélných prolisů.
- Třetí krok se skládá pouze z prostřížení a následného ohybu jedním nástrojem se šikmým čelem, čímž je stříh prováděn pod úhlem 4° . Mezi tímto a následujícím krokem je děrování, které vytváří sražení rohů dílce tvarovými střížníky.
- Ve čtvrtém kroku se jako první zkalibrují rozměry ohybů pomocí jednoho ohybníku. Jde o ohyb na 90° z původních 94° , jež vznikl při prostřihávání, a ohyb na 92° tvořící volný konec drážky. Následně se vytvoří menší prolisy u ohybu. Současně je odstříženo zbývající můstek mezi dílci pomocí úzkého obdélníkového střížníku.
- Pátý krok se sestává pouze z odstřížení hotových dílců z pásu pomocí širokého obdélníkového střížníku.



Obr. 56 Výrobní postup – varianta C.

Upnutí jednotlivých střížníků, ohybníků a lisovníků je bezproblémové, kromě lisovníku pro tvorbu podélných prolisů ve středu pásu ve druhém kroku. Lisovník bude realizován jako celistvý, tzn. obě dílčí části budou na jedné stopce. Částečné odstranění můstku je do prvního kroku zařazeno z důvodu bezproblémového upnutí čtvercového lisovníku. Použití ohybníku ve čtvrtém kroku eliminuje potenciální deformaci ohybu při tvorbě prolisů.

Navržené varianty jsou uzpůsobeny výrobě na jednočinném lise. Proto je drážka tvořena směrem dolů, tj. ve směru pohybu beranu. Výhodou toho provedení je jednodušší konstrukce nástroje. Nevýhodou představuje nutnost nadzvedávat plech nad střížnici ve třetím i čtvrtém kroku, což bude řešeno odpruženým vedením pásu. Varianta C se jeví jako optimální varianta pro návrh nástroje. Její předností je výroba v pěti krocích, které zohledňují vhodný sled operací.

3.2.1 Odpružení

Proces ohýbání je vždy doprovázen odpružením plechu po odtížení. Musí se stanovit velikost odpružení pro všechny ohyby a hodnoty porovnat s tolerancí ve výkresové dokumentaci. Výpočty odpružení ohybů jsou uvažovány jako na sobě nezávislé.

První ohyb na 90° (obr. 57) s poloměrem ohybu 0,5 mm bude uvažován jako U ohyb. Odpružení se podle (2.7) určí následovně:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = 0,75 \cdot \frac{l_{u1}}{k_{x1} \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}$$

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \left(0,75 \cdot \frac{l_{u1}}{k_{x1} \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right)$$

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \left(0,75 \cdot \frac{2,6}{0,59 \cdot 0,5} \cdot \frac{300}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,54^\circ,$$

kde: l_{u1} - rameno ohybu (obr. 60), stanoví se dle (2.8):

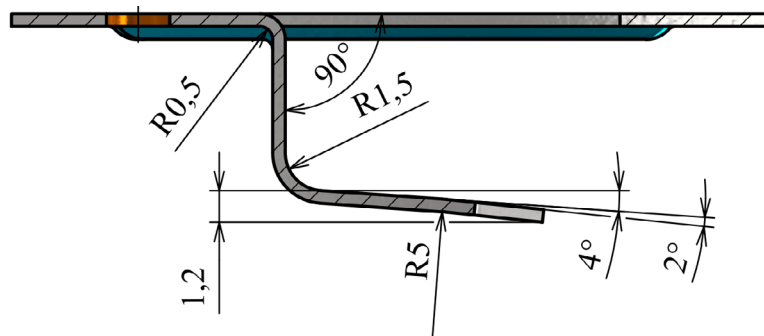
$$l_{u1} = r_{m1} + r_{o1} + 1,2 \cdot t = 0,5 + 1,5 + 1,2 \cdot 0,5 = 2,6 \text{ mm},$$

kde: r_{m1} - poloměr zaoblení ohybnice, $r_{m1} = 0,5 \text{ mm}$,

r_{o1} - poloměr zaoblení ohybníku, $r_{o1} = 1,5 \text{ mm}$,

k_{x1} - součinitel určující polohu neutrální plochy, dle (2.9) se stanoví:

$$k_{x1} = 1 - x_1 = 1 - 0,41 = 0,59.$$



Obr. 57 Znázornění zdrojů možného odpružení.

Odpružení u ohybu z 94° , který vznikl prostřiháváním, na 90° bude řešeno kalibrací, která z velké části eliminuje případné odpružení, a to 2 až 2,5násobkem potřebné ohýbací síly. Stejně tak se potlačí odpružení u 2° ohybu volného konce drážky (obr. 57). V případě nedodržení tolerancí úhlu by se musel nástroj patřičně upravit, a to vytvořením například osazení na ohybníku v případě poloměru 1,5 mm a pro ohyb volného konce drážky by byl ohyb prováděn o větší úhel.

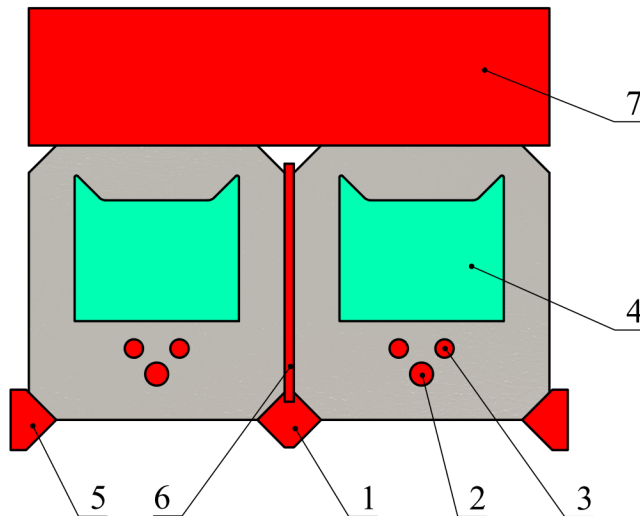
3.2.2 Síly a práce

Dalším krokem při návrhu postupového nástroje je výpočet sil a prací potřebných pro vytvoření součásti. Střížné, ohýbací a lisovací operace probíhají nezávisle na sobě. Výpočet bude proveden pro jednotlivé tvářecí prvky.

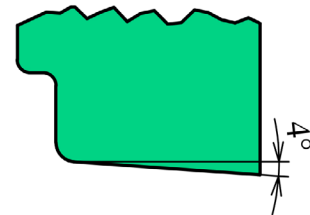
- Stříhání

Jako první se vypočtou velikosti jednotlivých střížných sil. Obvody střížníků, tzn. délky křivek stříhu L_i , byly určeny pomocí softwaru Autodesk Inventor 2022. Ne vždy lze ale jednoduše uvažovat celou délku břitu. Tvarový střížník č. 4 (obr. 59) pro prostřihání využívá

šikmého stříhu pod úhlem 4° . U střížníků č. 5, 6 a 7 se počítá pouze se skutečnými délkami stříhu, které jsou patrné na obr. 58.



Obr. 58 Přehled střížníků.



Obr. 59 Střížník č. 4.

Čtvercový střížník č. 1 pro sražení rohů dílce má překrytý stříh s úzkým obdélníkovým střížníkem č. 6 pro stříh můstku z důvodu zamezení vzniku nežádoucího nedostřížení. Obdobně je řešen střížník č. 5 pro sražení rohů dílce, který má břit uzpůsobený pro maximální možnou šířku polotovaru. Jednotlivé střížné síly se podle rovnice (2.3) stanoví:

střížník č. 1 – sražení rohů dílce uprostřed polotovaru:

$$F_{S1} = n \cdot L_1 \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 18,97 \cdot 0,5 \cdot 320 = 3946 \text{ N},$$

kde: n - součinitel otupení byl zvolen $n = 1,3$,

τ_s - střížný odpor se dle (2.2) vypočte:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ MPa},$$

kde: R_m - mez pevnosti materiálu v tahu byla zvolena

$$R_m = 400 \text{ MPa},$$

střížník č. 2 – děrování otvoru s průměrem 2,5 mm:

$$F_{S2} = n \cdot L_2 \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 7,85 \cdot 0,5 \cdot 320 = 1633 \text{ N},$$

střížník č. 3 – děrování otvoru s průměrem 2 mm:

$$F_{S3} = n \cdot L_3 \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 6,28 \cdot 0,5 \cdot 320 = 1306 \text{ N},$$

střížník č. 5 – sražení rohů dílce na vnější straně polotovaru:

$$F_{S5} = n \cdot L_5 \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 8,48 \cdot 0,5 \cdot 320 = 1764 \text{ N},$$

střížník č. 6 – stříh zbytku můstku mezi dílci:

$$F_{S6} = n \cdot L_6 \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 48 \cdot 0,5 \cdot 320 = 9984 \text{ N},$$

střížník č. 7 – odstřížení hotových dílců:

$$F_{S7} = n \cdot L_7 \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 44 \cdot 0,5 \cdot 320 = 9152 \text{ N},$$

střížník č. 4 – tvarové prostřížení se vypočte dle (2.4):

$$F_{S4} = n \cdot \frac{0,5 \cdot t^2}{\text{tg}\alpha_s} \cdot \tau_s = 1,3 \cdot \frac{0,5 \cdot 0,5^2}{\text{tg}4} \cdot 320 = 743 \text{ N},$$

kde: α_s - úhel zkosení břitu, $\alpha_s = 4^\circ$, viz obr. 59.

Dílčí střížné síly je nutné vynásobit počtem střížníků pro daný tvar. Souhrn jednotlivých sil a celkových sil pro dané tvary jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Přehled velikostí dílčích střížných sil.

střížník č.	F_{si} [kN]	počet [ks]	celková střížná síla F_{sCi} [kN]
1	3,94	1	3,94
2	1,63	2	3,27
3	1,31	4	5,22
4	0,74	2	1,48
5	1,76	2	3,53
6	9,98	1	9,98
7	9,15	1	9,15

Celková střížná síla je dána součtem všech dílčích sil znásobených počtem střížníků:

$$F_{sC} = \sum_{i=1}^7 F_{sCi} \quad (3.10)$$

$$F_{sC} = 3,94 + 3,27 + 5,22 + 1,48 + 3,53 + 9,98 + 9,15$$

$$F_{sC} = 36,57 \text{ kN}$$

Síla nutná pro setření plechu ze střížníků byla zvolena jako 5 % celkové střížné síly F_{sC} :

$$F_{sCs} = 0,05 \cdot F_{sC} = 0,05 \cdot 36,57 = 1,83 \text{ kN}$$

Střížná práce se vypočte podle vztahu (2.5):

$$A_{sC} = \frac{k_s \cdot F_{sC} \cdot t}{1000} = \frac{0,6 \cdot 36570 \cdot 0,5}{1000} = 10,97 \text{ J}$$

Pro další výpočty byla hodnota střížné práce zaokrouhlena na 11 J.

- Ohýbání

Na součásti se vyskytuje několik ohybů a je nutné pro ně stanovit síly i ohýbací práci.

Ohyb prostřížené části o 90° (Z ohyb) s poloměrem ohybu 0,5 mm (obr. 60) je uvažován jako U ohyb s přidržovačem. Velikost síly se vypočte dle (2.13):

$$F_{oU1} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot t^2 \cdot b_o}{l_{u1}} = \frac{0,4 \cdot 400 \cdot 0,5^2 \cdot 18}{2,6} = 277 \text{ N},$$

kde: b_o - šířka ohýbaného úseku, $b_o = 18 \text{ mm}$.

Dále se stanoví velikost přidržovací síly dle (2.14):

$$F_{op1} = (0,25 \text{ až } 0,3) \cdot F_{oU} = 0,3 \cdot 277 = 83 \text{ N}$$

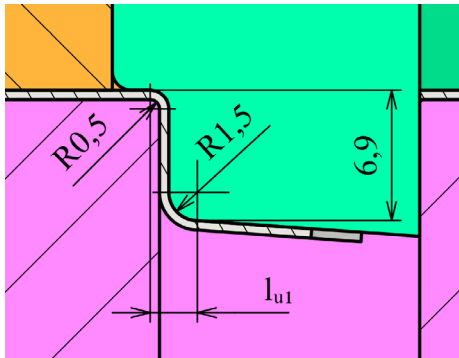
Kalibrační síla, která je zároveň i celkovou silou pro oba ohyby, se vypočte vztahem (2.15):

$$F_U = 2 \cdot 3 \cdot (F_{oU1} + F_{op1}) = 2 \cdot 3 \cdot (277 + 83) = 2160 \text{ N}$$

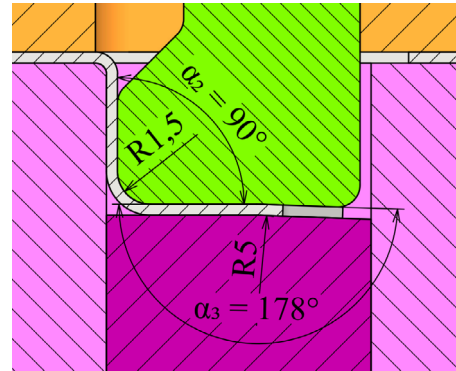
Velikost práce nutné pro oba ohyby se vypočte vztahem (2.16):

$$A_{oU} = \frac{1}{6} \cdot \frac{F_U \cdot h_u}{1000} = \frac{1}{6} \cdot \frac{2160 \cdot 6,9}{1000} = 2,5J,$$

kde: h_u - dráha nástroje, podle obr. 60 je $h_u = 6,9 \text{ mm}$.



Obr. 60 Rameno 1. ohybu l_{u1} .



Obr. 61 Znárodnění úhlů ohybníku.

Ohyb drážky z 94° na 90° s poloměrem ohybu 1,5 mm je uvažován jako V ohyb, viz obr. 61. Potřebná síla se stanoví vzorcem (2.17):

$$F_{oV1} = \frac{R_e \cdot t^2 \cdot b}{2 \cdot r_{o2}} \cdot \tan\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) = \frac{300 \cdot 0,5^2 \cdot 18}{2 \cdot 1,5} \cdot \tan\left(\frac{90}{2}\right) = 450 \text{ N},$$

kde: r_{o2} - poloměr ohybníku, je dán poloměrem na součásti, $r_{o2} = 1,5 \text{ mm}$ (obr. 61),

α_2 - vrcholový úhel ohybníku odpovídá úhlu ohybu, $\alpha_2 = 90^\circ$, viz obr. 61.

Ohyb konce drážky na 2° (vůči rovině rovnoběžné se základnou spony) s poloměrem ohybu 5 mm je uvažován jako V ohyb, viz obr. 61. Potřebná síla se vypočte dle (2.17):

$$F_{oV2} = \frac{R_e \cdot t^2 \cdot b}{2 \cdot r_{o3}} \cdot \tan\left(\frac{\alpha_3}{2}\right) = \frac{300 \cdot 0,5^2 \cdot 18}{2 \cdot 5} \cdot \tan\left(\frac{178}{2}\right) = 7734 \text{ N},$$

kde: r_{o3} - poloměr ohybníku, je dán poloměrem na součásti, $r_{o3} = 5 \text{ mm}$ (obr. 61),

α_3 - vrcholový úhel ohybníku odpovídá úhlu ohybu, $\alpha_3 = 178^\circ$, viz obr. 61.

Celková síla pro druhý a třetí ohyb je:

$$F_{oVC} = \sum_{i=1}^2 2 \cdot F_{oVi} \tag{3.11}$$

$$F_{oVC} = 2 \cdot F_{oV1} + 2 \cdot F_{oV2} = 2 \cdot 450 + 2 \cdot 7734 = 16\,368 \text{ N}$$

Kalibrační síla se stanoví navýšením celkové síly 2 až 2,5krát, čímž dojde ke kalibraci obou ohybů a eliminaci odpružení. Byl zvolen 2,5násobek celkové ohýbací síly a její velikost se určí dle (2.18):

$$F_{oV_k} = 2,5 \cdot F_{oV} = 2,5 \cdot 16368 = 40\,921 \text{ N}$$

Celková síla pro druhý a třetí ohyb včetně kalibrace je dána (2.19):

$$F_V = F_{oVC} + F_{oVc} = 16\,368 + 40\,921 = 57\,289\,N$$

Potřebná ohýbací práce se pro druhý a třetí ohyb se vypočte vztahem (2.20):

$$A_{oV} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_V \cdot h_v}{1000} = \frac{1}{3} \cdot \frac{57289 \cdot 1,2}{1000} = 22,9\,J,$$

kde: h_v - zdvih ohybníku je 1,2 mm, viz obr. 57.

Celková síla pro všechny 3 ohyby je dána:

$$F_{oC} = F_U + F_V \tag{3.12}$$

$$F_{oC} = F_U + F_V = 2160 + 57\,289 = 59,45\,kN$$

Celková práce pro všechny 3 ohyb se stanoví součtem dílčích prací:

$$A_{oC} = A_{oU} + A_{oV} \tag{3.13}$$

$$A_{oC} = A_{oU} + A_{oV} = 2,5 + 22,9 = 25,4\,J.$$

- Lisování

K vytvoření podélných zpevňujících prolisů u okrajů dílce je potřebná síla vypočtena dle rovnice (2.25):

$$F_{pr1} = S_{pr1} \cdot \sigma_d = 44 \cdot 400 = 17600\,N,$$

kde: S_{pr1} - plocha prolisu 1, při zanedbání zaoblení se vypočte dle (2.26):

$$S_{pr1} = l_{pr1} \cdot b_{pr1} = 22 \cdot 2 = 44\,mm^2,$$

kde: l_{pr1} - délka prolisu 1 je 22 mm, viz obr. 62,

b_{pr1} - šířka prolisu 1 je 2 mm, viz obr. 62,

σ_d - deformační odpor stanoven podle přílohy 3. Pro ocel a uvažovaný lisovník s vůlí bylo zvoleno $\sigma_d = 400\,MPa$.

Analogicky se stanoví síla pro prolisování u ohybu podle vztahu (2.25):

$$F_{pr2} = S_{pr2} \cdot \sigma_d = 12 \cdot 400 = 4800\,N,$$

kde: S_{pr2} - plocha prolisu 2, při zanedbání zaoblení se vypočte dle (2.26):

$$S_{pr2} = l_{pr2} \cdot b_{pr2} = 6 \cdot 2 = 12\,mm^2,$$

kde: l_{pr2} - délka prolisu 2 je 6 mm, viz obr. 62,

b_{pr2} - šířka prolisu 2 je 2 mm, viz obr. 62.

Dílčí síly je možné sečíst, avšak každý ze dvou prolisů je vytvořen čtyřikrát. Celková síla na prolisování se vypočte:

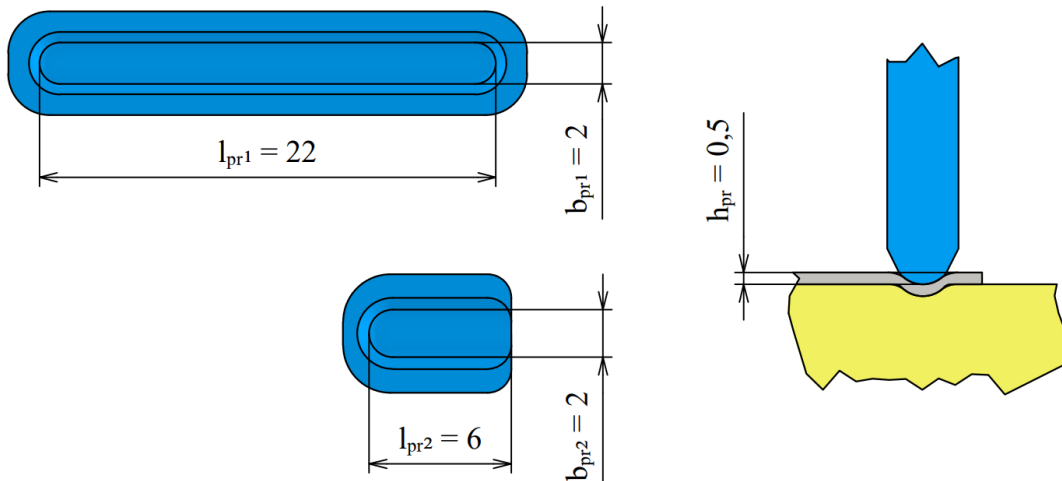
$$F_{Cpr} = \sum_{i=1}^2 4 \cdot F_{pri} \tag{3.14}$$

$$F_{Cpr} = 4 \cdot F_{pr1} + 4 \cdot F_{pr2} = 4 \cdot 17600 + 4 \cdot 4800 = 89,6\,kN$$

Dále se určí velikost práce potřebné pro vytvoření všech prolisů dle (2.27):

$$A_{pr} = \frac{F_{cpr} \cdot h_{pr}}{2} = \frac{89600 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{2} = 22,4 J,$$

kde: h_{pr} - hloubka prolisů je pro všechny stejná, podle obr. 62 je $h_{pr} = 0,5 \text{ mm}$.

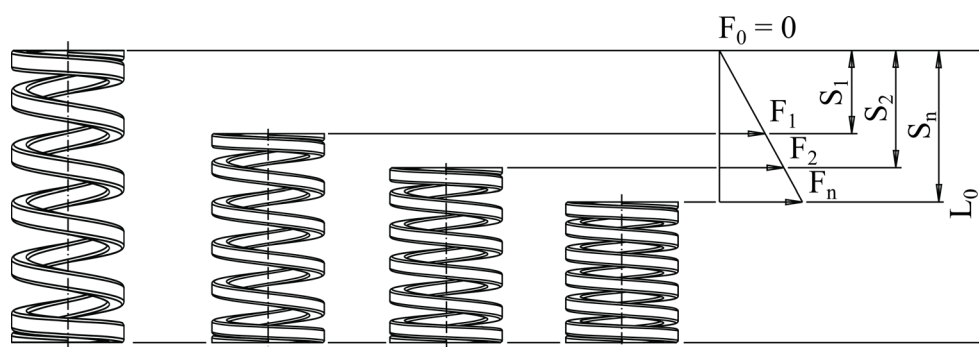


Obr. 62 Rozměry a hloubka prolisů.

- Pružné elementy

Konstrukce nástroje zahrnuje i pružné elementy, jež zajistí dostatečnou přidržovací a stírací sílu. Velikost sil pro stlačení pružin je nutné zahrnout do celkové potřebné síly při volbě stroje. Tlačné pružiny byly vybrány z nabídky firmy Meusburger [45].

Všechny pružiny jsou voleny tak, aby se maximální dosahované stlačení při činnosti nástroje pohybovalo okolo hodnoty stlačení S_1 , viz obr. 63. Podle katalogu výrobce je takto možné dosáhnout vysoké životnosti pružin.



Obr. 63 Znárodnění stlačení pružin [45].

Volba pružin vycházela z velikosti vypočtené stírací síly, která je daleko větší než přidržovací síla. Pružiny musí jako první vyvodit dostatečnou sílu pro stlačení odpruženého vedení, avšak tato síla bude zanedbána. Pro volbu byla síla pružin stanovena na 2 kN, které musí pružiny dosáhnout při dolní úvratí, kde velmi těsně za ní střížníky zajíždí do vodící desky a dochází ke setření plechu ze střížníků.

Nejprve je nutné stanovit jednotlivé kroky stlačení pružin:

- předpětí při stlačení 1 mm, které zajistí návrat vodící desky do výchozí polohy,
- stlačení pružného vedení polotovaru a vyvození přidržovací síly při stlačení o 2 mm,
- maximální stlačení v dolní úvrati, které určuje zdvih 8 mm, je tedy $s_1 = 11 \text{ mm}$.

Z katalogu výrobce byla předběžně zvolena pružina, která má tuhost $c_p = 68,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ a její stlačení S_1 je 12,8 mm, čímž se zajistí vysoká životnost, jelikož maximální stlačení bude 11 mm. Při celkovém stlačení o 11 mm v počtu čtyř pružin bude vyvozená síla [2]:

$$F_{pp} = c_p \cdot s_1 \quad (3.15)$$

$$F_{pp} = 4 \cdot c_p \cdot s_1 = 4 \cdot 68,6 \cdot 11 = 3 \text{ kN},$$

kde: c_p - tuhost pružiny, podle katalogu výrobce $c_p = 68,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,
 s_1 - maximální dosažené stlačení, určeno na základě výrobního postupu,
 $s_1 = 11 \text{ mm}$.

3.2.3 Těžiště sil

Po výpočtu sil potřebných pro jednotlivé tvářecí operace je nutné určit těžiště těchto sil pro optimální zatížení stroje a nástroje. Do určeného místa těžiště se umístí stopka nástroje. Polohu těžiště lze řešit grafickou nebo analytickou metodou. Zvolena byla analytická metoda, která vychází z momentové rovnováhy. Při vhodném umístění referenčního bodu lze eliminovat výpočet v jedné ose. Z obr. 64 je patrné, že existuje jedna osa symetrie, která prochází středem šířky pásu. Nulový bod se umístí právě na tuto osu, čímž je nutné stanovit pouze jednu souřadnici těžiště, a to ve směru osy x. Jednotlivé vzdálenosti těžišť dílčích sil jsou odečteny z obr. 64. Poloha v ose x se vypočte dle vztahu (2.37):

$$X_T = \frac{F_{sC} \cdot x_s + F_o \cdot x_o + F_{pr} \cdot x_{pr} + F_p \cdot x_p}{F_{sC} + F_o + F_{pr} + F_p}$$

$$X_T = \frac{36,57 \cdot 92,22 + 59,45 \cdot 120,61 + 89,6 \cdot 70,36 + 3 \cdot 78}{36,57 + 59,45 + 89,6 + 3} = 90,59 \text{ mm},$$

kde: x_s - těžiště celkové sřížné síly se určí podle vztahu (2.37):

$$x_s = \sum_{i=1}^7 \frac{F_{si} \cdot x_{si}}{F_{sC}}$$

$$x_s = \frac{F_{s1} \cdot x_{s1} + F_{s2} \cdot x_{s2} + F_{s3} \cdot x_{s3} + F_{s4} \cdot x_{s4} + F_{s5} \cdot x_{s5} + F_{s6} \cdot x_{s6} + F_{s7} \cdot x_{s7}}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7}}$$

$$x_s = \frac{3,94 \cdot 14 + 3,27 \cdot 19 + 5,22 \cdot 51,8 + 1,48 \cdot 91,4 + 3,53 \cdot 104 + 9,98 \cdot 119 + 9,15 \cdot 141,5}{3,94 + 3,27 + 5,22 + 1,48 + 3,53 + 9,98 + 9,15} = 92,22 \text{ mm},$$

x_o - těžiště celkové ohybové síly se určí podle vztahu (2.37):

$$x_o = \frac{F_{U1} \cdot x_{U1} + F_{oV} \cdot x_{oV}}{F_{U1} + F_{oV}}$$

$$x_o = \frac{2,16 \cdot 91,4 + 57,29 \cdot 121,8}{2,16 + 57,29} = 120,7 \text{ mm},$$

x_{pr} - těžiště celkové lisovací síly se určí podle vztahu (2.37):

$$x_{pr} = \frac{F_{pr1} \cdot x_{pr1} + F_{pr2} \cdot x_{pr2}}{F_{pr1} + F_{pr2}}$$

$$x_{pr} = \frac{70,4 \cdot 59 + 19,2 \cdot 112}{70,4 + 19,2} = 70,36 \text{ mm},$$

x_p - těžiště sil od tlačných pružin při maximálním dosahovaném stlačení v dolní úvrati se určí podle vztahu (2.37):

$$x_p = \frac{F_{p1} \cdot x_{p1} + F_{p2} \cdot x_{p2}}{F_{p1} + F_{p2}} = \frac{1,5 \cdot 40 + 1,5 \cdot 116}{1,5 + 1,5} = 78 \text{ mm},$$

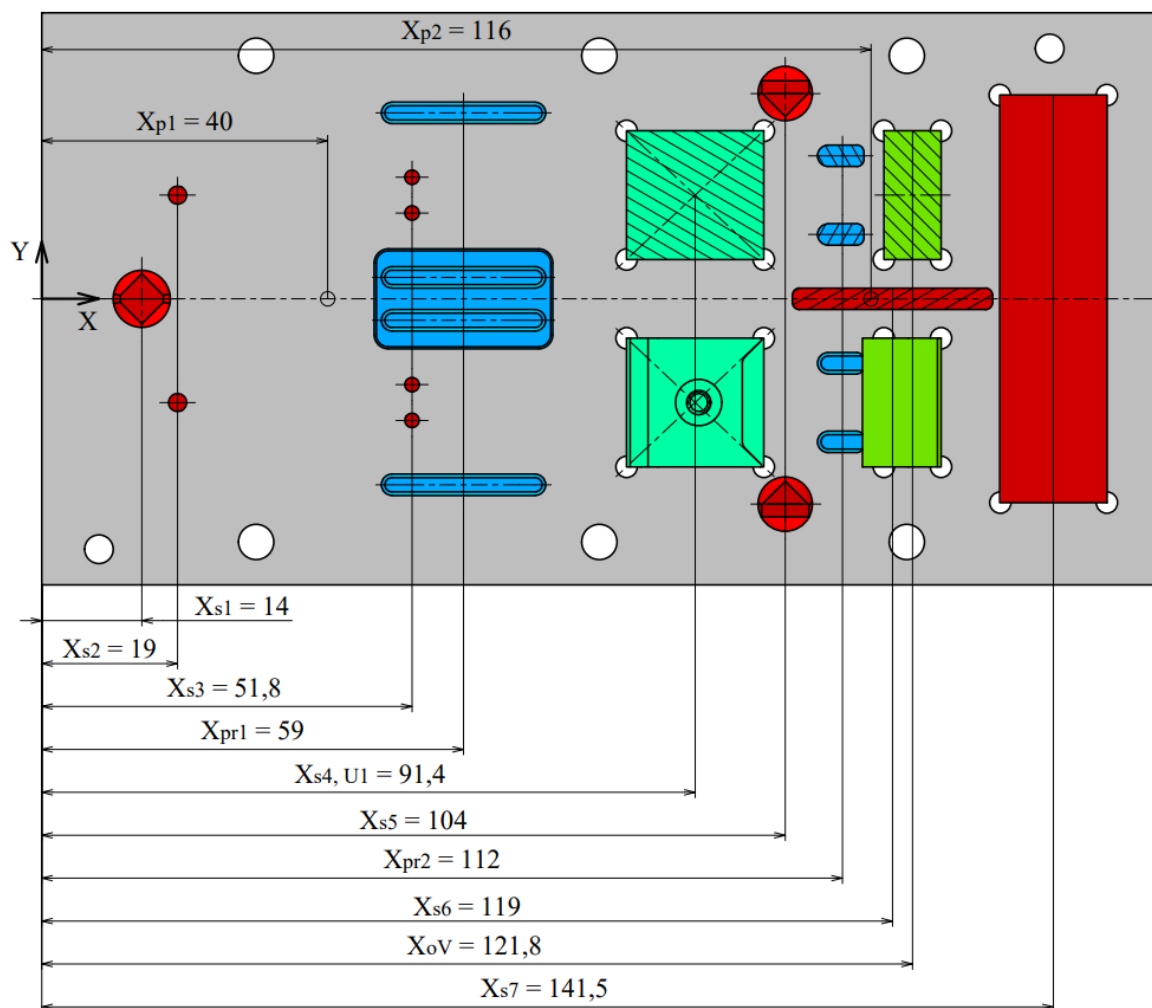
kde: F_{p1} - síla od dvou pružin pro danou vzdálenost od referenčního bodu:

$$F_{p1} = \frac{F_{pp}}{2} \quad (3.16)$$

$$F_{p1} = \frac{F_{pp}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ kN}.$$

Hodnota polohy těžiště ve směru osy x byla zaokrouhlena na 90,6 mm.

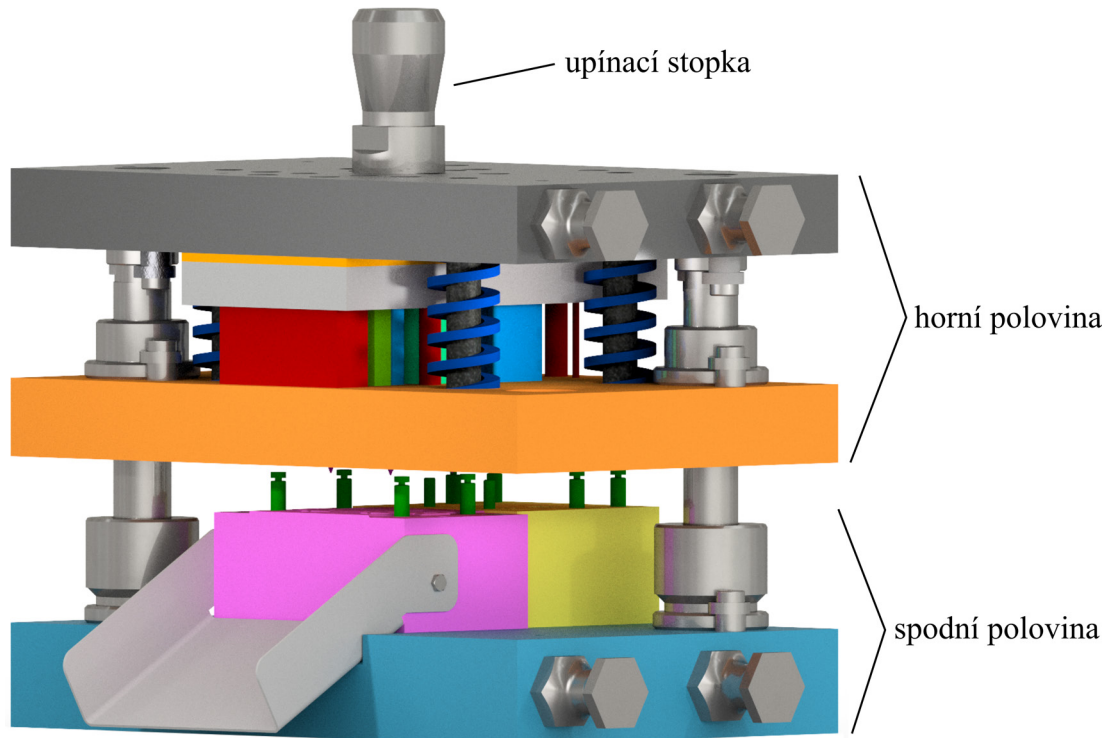
Pomocí analytického výpočtu bylo stanoveno těžiště všech působících sil, do kterého bude umístěna stopka nástroje. V případě upnutí upínkami se nástroj musí napolohovat tak, aby těžiště leželo v ose beranu lisu. Vzhledem k symetrii se poloha v ose y nachází v polovině šířky pásu. Souřadnice X_T leží ve vzdálenosti 90,6 mm od počáteční polohy, tzn. hrany upínací desky.



Obr. 64 Těžiště sil.

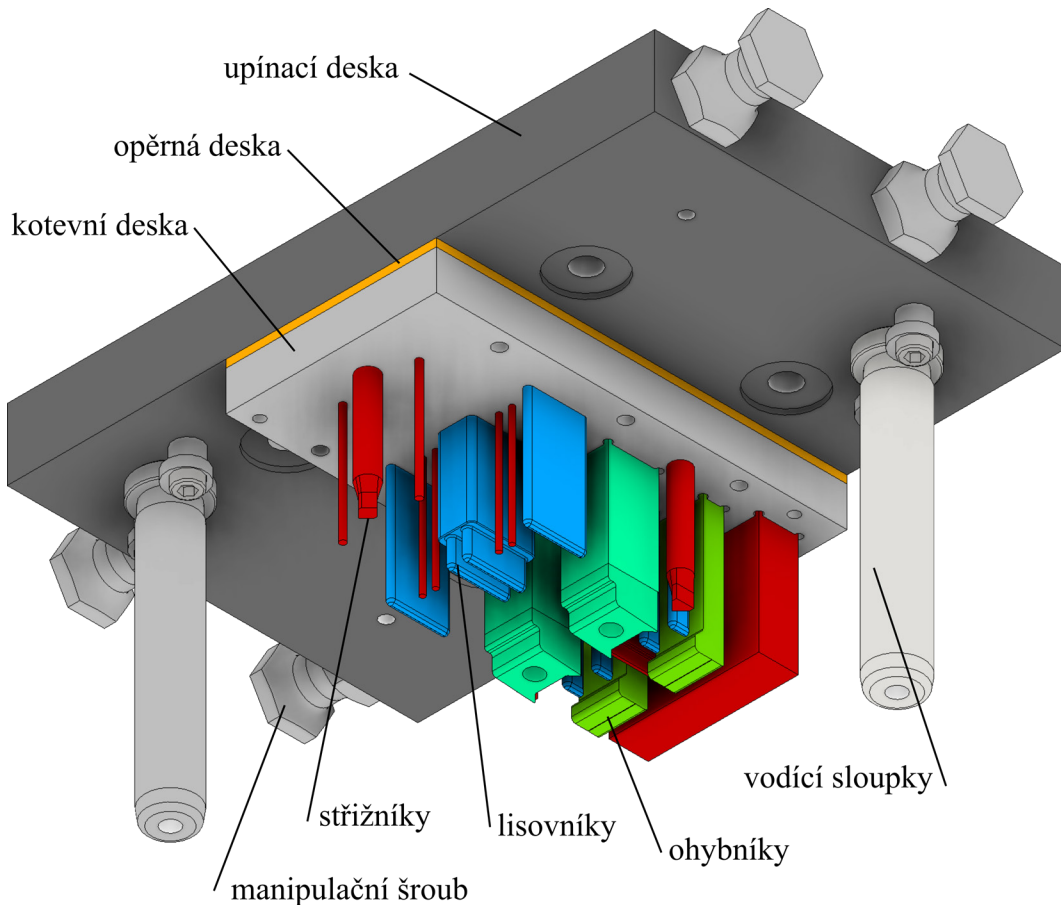
3.3 Konstrukce nástroje

Konstrukční provedení nástroje bylo realizováno na základě navrženého výrobního postupu s pomocí softwaru Autodesk Inventor 2022. Nástroj se skládá ze dvou hlavních částí (obr. 65), a to horní a spodní části. Plovoucí vodící deska je součástí horní poloviny nástroje. Upnutí do stroje zajišťuje stopka. Při konstrukci byly použity normalizované součásti a prvky společnosti Meusburger [45]. Základ nástroje tvoří dva diagonálně rozmístěné sloupky.



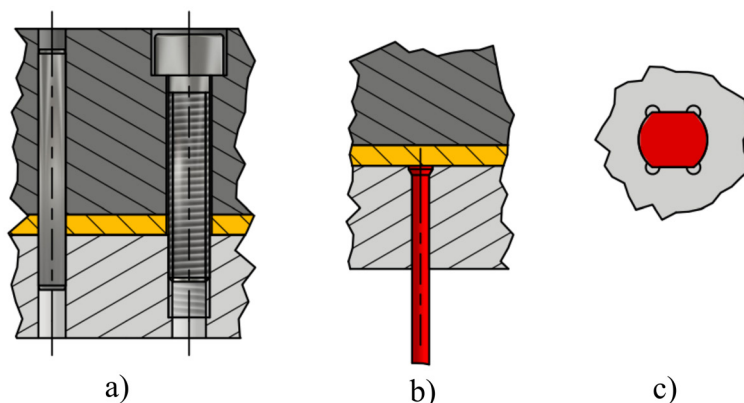
Obr. 65 3D model nástroje.

Funkce nástroje je popsána pro okamžik, kdy je pás v nástroji plně zaveden a jsou zapojeny všechny jeho funkční části. Polotovar je do nástroje podán pomocí podávacího zařízení. Následně dochází k posuvu horní části nástroje směrem dolů. Nejprve dojde k zahledání do vystřížených otvorů pomocí hledáček, které jsou umístěné ve vodící desce. Vodící deska začne stlačovat odpružené vodící čepy pro vedení polotovaru a přibližovat tak plech ke spodní polovině nástroje, kde se nachází střižnice, ohybnice a lisovnice. Po dosednutí vodící desky na úroveň tvářecích bloků dojde k postupnému nárůstu přidržovací síly vlivem stlačování tlačných pružin. Dalším pohybem dolů dochází nejprve k vysunutí tvarového zkoseného střižníku a ohybníku z vodící desky. Jako první tedy dochází k vytvoření prostřížení. Těsně před dokončením této operace ve třetím kroku jsou vytvořeny prolisy a zároveň všechny střižné operace včetně kalibrace ohybů drážky ve čtvrtém kroku. Beran lisu dosáhl dolní úvratě a vrací se zpět. Vodící deska až do bodu úplného zasunutí střižníků a ohybníků plní funkci stírací desky s odpovídající stírací silou, jež zajišťují čtyři tlačné pružiny. Vlivem dalšího zdvihu ztrácí vodící deska přítlak a tím, jak se zvedá, dochází k nadzvedávání vodících čepů, jež nesou polotovar, nad úroveň obou tvářecích bloků. Po vysunutí hledáček z polotovaru je pás posunut o další krok.



Obr. 66 Horní polovina nástroje.

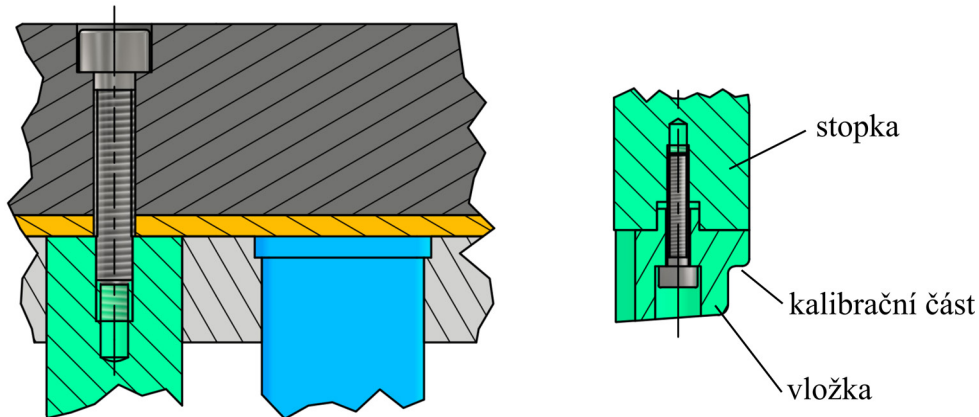
Upínací deska (obr. 66) tvoří část horní poloviny nástroje. Pomocí ní je celá horní část nástroje upnuta k beranu lisu, a to pomocí stopky. Zajišťuje upevnění vodících sloupků. K desce je pomocí šroubů a kolíků (obr. 67a) připevněna kotevní deska, která nese všechny potřebné části, jako jsou střížníky, ohybníky a lisovníky. Mezi kotevní a upínací deskou se nachází kalená opěrná deska. Upínací deska dále obsahuje otvor se závitem pro umístění výškových dorazů, které slouží pro transport, manipulaci a seřízení zdvihu nástroje. Pro manipulaci se zde také nachází manipulační šrouby.



Obr. 67 Způsoby upnutí desek a střížníků.

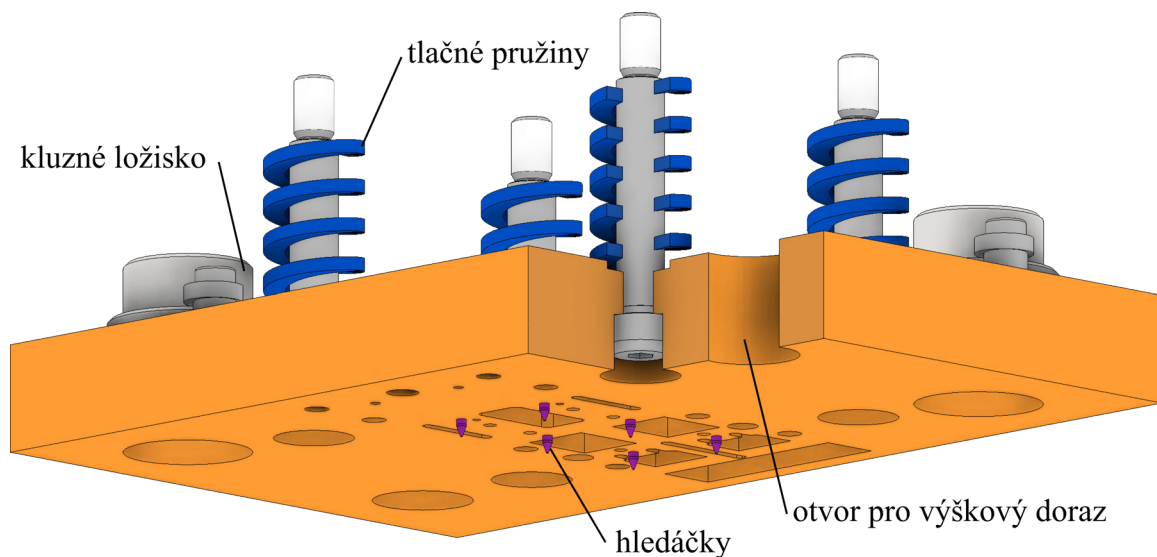
Upnutí jednotlivých částí je řešeno patričnými způsoby, jejichž přesnost polohy zajišťuje kotevní deska. Střížníky pro otvory o průměrech 2 a 2,5 mm mají kuželové ukotvení (obr. 67b). Zajištění tvarového střížníku proti pootočení, který děruje sražení rohů v prvním a čtvrtém

kroku, je na obr. 67c. Střížník, jež vytváří prostřih a následně provádí ohyb, je řešen pomocí vložky, která se upíná do stopky upevněné pomocí šroubu (obr. 68). Vložka obsahuje i kalibrační část pro ohyb. Výhodou toho způsobu je levnější výměna při opotřebení. Střížník můstku, společně s lisovnicí vytvářející prolisy ve druhém a čtvrtém kroku, je upnut pomocí osazení (obr. 68).



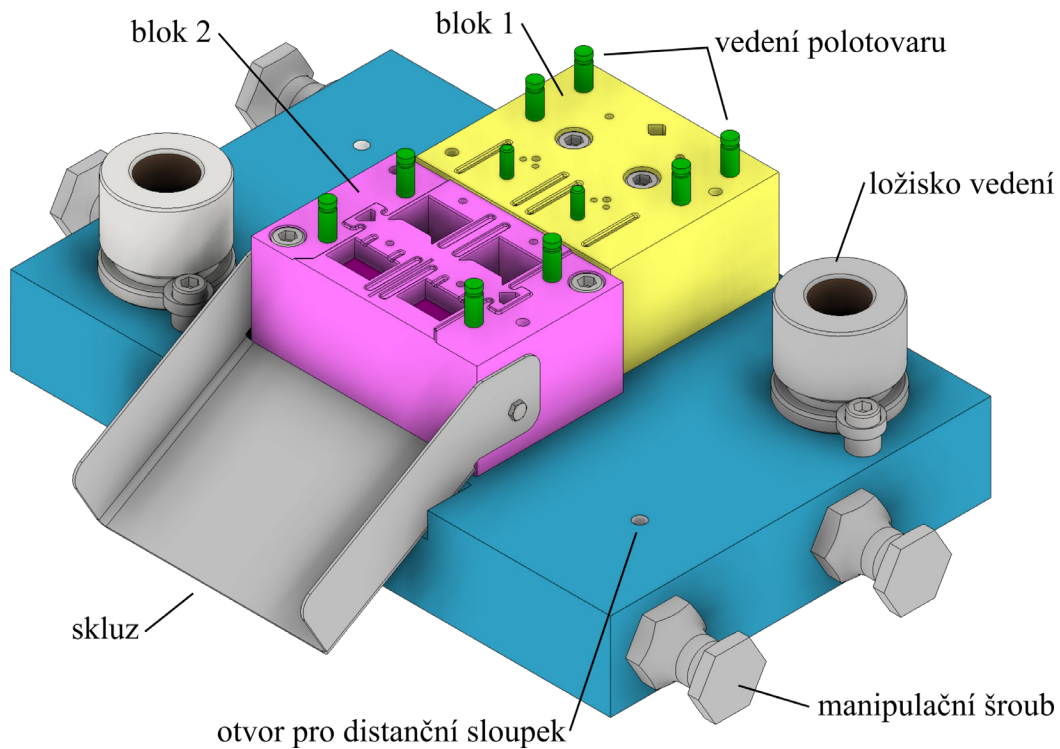
Obr. 68 Upnutí funkčních částí horní poloviny nástroje.

Součástí horní poloviny nástroje je vodící deska (obr. 69). Její vedení zajišťují vodící sloupky, jedná se tedy o tzv. plovoucí provedení. Připevnění k upínací desce (řez na obr. 69) zajišťují čtyři šrouby, jež zajišťují její pohyb s horní polovinou nástroje. Vyvození síly v desce obstarávají čtyři tlačné pružiny. Funkcí mají hned několik. Zajišťují stlačení vodící sloupek s polotovarem. Dále vytváří přidržovací sílu při ohybu. Plní také funkci stírací desky. Vedení samotné desky zajišťují kluzná ložiska pro vodící sloupky. Připevněna jsou excentrickou upínkou a šroubem. Pro výškové dorazy jsou zhotoveny dva otvory.



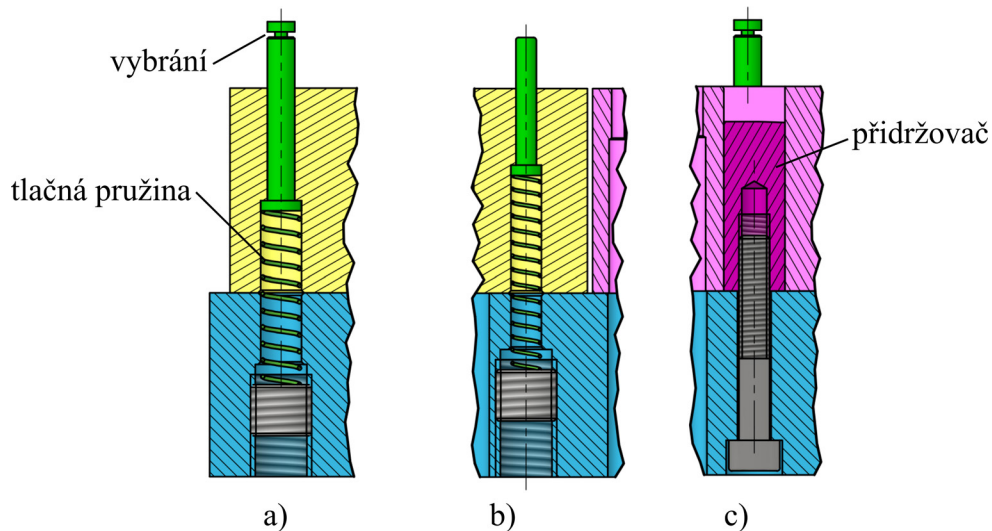
Obr. 69 Vodící deska.

Spodní část nástroje (obr. 70) tvoří základní deska, na níž jsou umístěny kluzná ložiska vedení sloupek, jež zajišťují dostatečnou přesnost vedení horní části vůči spodní. Opět se zde nachází manipulační šrouby pro transport a manipulaci s nástrojem. Nechybí ani otvory se závity pro umístění výškových dorazů. Odvod hotových dílců obstarává plechový skluz.



Obr. 70 Spodní polovina nástroje.

Funkční část tvoří dva bloky, kde každý z nich zastává dva a tři kroky. K základní desce jsou upnuty pomocí šroubů a válcových kolíků zajišťující přesnou polohu umístění. U druhého bloku je předpokládána menší životnost z důvodu komplikovanějších vystřihovaných tvarů. Hlavní účel rozdělení je však možnost snadné výměny v případě změny vyráběného rozměru spony, která se liší pouze jinou délkou prostříhu a ohybu.



Obr. 71 Detail provedení vedení polotovaru v nástroji a pevný přidržovač.

Vedení materiálu zajišťují výškově pohyblivé čepy (obr. 71). Typ vedení byl zvolen na základě nutnosti nadzvedávat pás plechu nad úroveň obou tvářecích bloků po třetím a čtvrtém kroku, kde se vytvoří drážka. Zdvih vedení i s plechem zajišťují dostatečně silné pružiny, které mají v horní poloze vodících čepů určité předpětí. Pružiny jsou opřeny o rovné dno zátky se závitem. Plech je v čepích veden ve vybrání (obr. 71a). Ve druhém kroku není z prostorových důvodů

boční vedení výše zmíněnými čepy, ale pouze nadzvedávacími čepy (obr. 71b), které fungují na totožném principu a působí na pás zespoďu.

Kalibrace ohybů drážky ve čtvrtém kroku je řešena pomocí pevného přidržovače (obr. 71c). Výhodou tohoto provedení spočívá ve snadné vyměnitelnosti při změně velikosti vyráběné spony. Jelikož je důležitá pouze výška přidržovače, dostačuje upnutí šroubem.

3.4 Funkční části nástroje a kontrolní výpočty

Již zhotovený zvolený stojánek, tj. základní, vodící a upínací deska se dvěma diagonálně uspořádanými sloupky, je z oceli 19 083. Tloušťka dodávané základní desky je 36 mm. [56]

Pro nejvíce namáhané součásti, kterými jsou střižníky, ohybníky a lisovníky, je vhodné, i vzhledem k vysokým výrobním sériím, zvolit odpovídající materiál. Navržena byla ocel 19 830. Jedná se o rychlořeznou ocel kalitelnou na 64 HRC, jež se vyznačuje vysokou houževnatostí a lze ji povlakovat [55].

Materiálem pro tvářecí bloky, které obsahují střižnice, ohybnice i lisovnice, byla zvolena ocel 19 436. Jde o ocel s vysokou odolností proti otěru kalitelnou na 63 HRC [56]. Navržená tloušťka obou bloků je 40 mm. Kontrola dostatečné tloušťky se provede podle vztahu (2.32):

$$H = \sqrt[3]{F_{blok1}} = \sqrt[3]{82830} = 43,6 \text{ mm},$$

kde: F_{blok1} - maximální síla působící v jeden moment na první blok je dána:

$$F_{blok1} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{pr1} \quad (3.17)$$

$$F_{blok1} = 3,94 + 3,27 + 5,22 + 70,4 = 82,83 \text{ kN}.$$

Navrženou tloušťku 40 mm lze považovat za přijatelnou, jelikož je blízko výsledku přibližné tloušťky. Tvářecí matrice leží celou spodní plochou na základní desce a jejich tloušťka by mohla být i menší, avšak z konstrukčních důvodů zůstane nezměněna.

Pro namáhané součásti je nutné provést kontrolu, zda jsou schopné přenést stanovená zatížení. Nezbytné kontroly jsou následující:

- V první řadě se jedná o kontrolu na vzpěr u navržených rozměrů střižníků. Největší riziko vybočení je patrně u střižníku s nejmenším průměrem 2 mm. Je však nutné zohlednit typ jeho vedení, jež je vetknutí – kloub. Největší volná délka (obr. 72) je stanovena v momentě zatížení, tj. provádění střižné operace. Výpočet maximální volné délky se provede podle (2.33):

$$L_{krit\ s3} = \sqrt{\frac{n_k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{min3}}{F_{s3} \cdot k_k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,14}{1307 \cdot 2}} = 35,3 \text{ mm},$$

kde: J_{min3} - kvadratický moment průřezu se vypočte vzorcem (2.34):

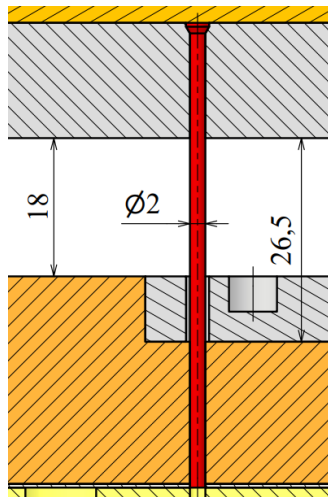
$$J_{min3} = \frac{\pi \cdot d_{s3}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 2^4}{64} = 3,14 \text{ mm}^4,$$

kde: d_{s3} - průměr střižníku č. 3, $d_{s3} = 2 \text{ mm}$,

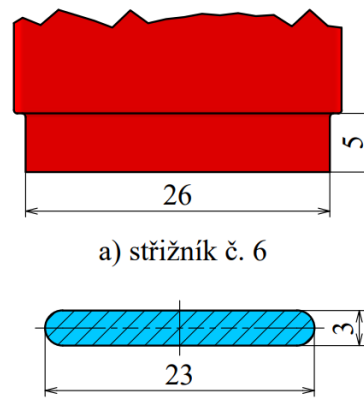
n_k - koeficient výpočtu redukované délky je pro vetknutí – kloub $n_k = 2$,

k_k - bezpečnost byla zvolena $k_k = 2$.

Maximální volná délka při dané bezpečnosti je 35,3 mm, což je větší než současných 26,5 mm (obr. 72). Není nutné upravovat provedení střižníku a k vybočení nedojde.



Obr. 72 Volné délky tvářecích prvků.



a) střížník č. 6

b) lisovník č. 1

Obr. 73 Rozměry vybraných součástí.

Další rizikovou součástí je úzký obdélníkový střížník č. 6 pro odstraňování můstku mezi dílci o šířce 1 mm. U něho se provede kontrola pouze nezesílené funkční části, viz obr. 73a, kde je uvažováno uložení vetknutí – volný konec, a to dle rovnice (2.33):

$$L_{krit\ s6} = \sqrt{\frac{n_k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{min6}}{F_{s6} \cdot k_k}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2}{4 \cdot 9984 \cdot 2}} = 7,2\text{ mm},$$

kde: J_{min6} - kvadratický moment průřezu se vypočte vzorcem (2.35):

$$J_{min6} = \frac{h_{s6} \cdot b_{s6}^3}{12} = \frac{24 \cdot 1^3}{12} = 2\text{ mm}^4,$$

kde: h_{s6} - délka střížníku č. 6, přičemž je počítáno s teoretickou délkou stříhu (nevzniká nedostřižení), proto je $h_{s6} = 24\text{ mm}$,

b_{s6} - šířka střížníku č. 6, odpovídá šířce můstku $b_{s6} = 1\text{ mm}$,

n_k - koeficient výpočtu redukované délky je pro vetknutí – volný konec $n_k = \frac{1}{4}$.

Maximální volná délka při dané bezpečnosti a působící síle je 7,2 mm. Není nutné upravovat provedení střížníku, jelikož navržená délka je 5 mm.

Další potenciálně rizikový prvek představuje lisovník podélných prolisů, jež je vedený. Kritická délka se vypočte dle (2.33):

$$L_{krit\ pr1} = \sqrt{\frac{n_k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{min1}}{F_{pr1} \cdot k_k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 51,75}{17600 \cdot 2}} = 78\text{ mm},$$

kde: J_{min1} - kvadratický moment průřezu se vypočte vzorcem (2.35):

$$J_{min} = \frac{h_{pr1} \cdot b_{pr1}^3}{12} = \frac{23 \cdot 3^3}{12} = 51,75\text{ mm}^4,$$

kde: h_{pr1} - délka lisovníku č. 1, z obr. 73b je $h_{pr1} = 23\text{ mm}$,

b_{pr1} - šířka lisovníku č. 1, z obr. 73b je $b_{pr1} = 3\text{ mm}$,

n_k - koeficient výpočtu redukované délky je pro vetknutí – kloub $n_k = 2$.

Maximální volná délka při dané bezpečnosti a působící síle je 78 mm, což je při porovnání se současnou volnou délkou 18 mm (obr. 73) vyhovující. Není nutné upravovat provedení lisovníku.

- Dále je nutné zkontrolovat, zda nedojde ke vtlačování funkčních částí do upínací desky. Pokud dojde k překročení dovoleného napětí $\sigma_{dov o} = 180 \text{ MPa}$, musí být použito kalené opěrné desky.

Na otláčení se zkontroluje střížník č. 3 s průměrem 2 mm. Výpočet se provede podle (2.36):

$$\sigma_{otl3} = \frac{F_{s3}}{S_{s3}} = \frac{1307}{7} = 186,6 \text{ MPa},$$

kde: S_{s3} - dosedací plocha střížníku, určena pomocí softwaru Autodesk Inventor 2022, $S_{s3} = 7 \text{ mm}^2$.

Napětí překračuje dovolenou hodnotu 180 MPa. Musí se použít kalené opěrné desky, která zabrání poškození upínací desky. Další kontroly na otláčení jsou bezpředmětné.

Pro správnou funkci střížníků a přijatelnou kvalitu střížné plochy se musí stanovit střížná vůle dle vztahu (2.1):

$$v = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,01 \cdot 0,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{320} = 0,18 \text{ mm},$$

kde: c - koeficient udávající kvalitu střížné plochy byl podle přílohy 1 zvolen $c = 0,01$.

Posledním krokem je výpočet výrobních rozměrů střížníků a střížnic. Určí se rozměry pouze pro děrování otvoru průměru 2 mm, jelikož pro střížník s průměrem 2,5 mm je postup totožný. Při děrování nese základní rozměr střížník. Postupným opotřebením dochází ke zmenšování průměru, a proto se rozměry funkčních částí stanoví pro horní mezní úchytku jmenovitého rozměru součásti. Rozměr střížníku se dle (2.30) vypočte:

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} = \left(2 + \frac{0,17}{2}\right)_{-0,04} = 2,09_{-0,04} \text{ mm},$$

kde: A_j - jmenovitý rozměr otvoru, $A_j = 2 \text{ mm}$,

Δ - přípustná míra opotřebením pro $TS = \pm 0,1 \text{ mm}$ je $\Delta = 0,17 \text{ mm}$ dle přílohy 5, přičemž hodnota je pro symetrickou odchylku poloviční,

δ_k - výrobní tolerance střížníku, dle přílohy 5 je $\delta_k = 0,040 \text{ mm}$ pro $\Delta = 0,17 \text{ mm}$.

Rovnicí (2.31) je určena velikost otvoru střížnice:

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} = \left(2 + \frac{0,17}{2} + 0,18\right)^{+0,063} = 2,27^{+0,06} \text{ mm},$$

kde: δ_e - výrobní tolerance střížnice, dle přílohy 5 je $\delta_e = 0,063 \text{ mm}$ pro $\Delta = 0,17 \text{ mm}$. Hodnota δ_e byla zaokrouhlena na $\delta_e = 0,06 \text{ mm}$.

Pro zbylé tvarové střížníky, které děrují či prostřihují tvary se symetrickým úchytkami, jež vycházejí z ISO 2768-m, se rozměry pro děrování určují opět vztahem (2.30). Je proveden ukázkový výpočet pro úzký obdélníkový střížník, kde je stanovena pouze jeho šířka, jelikož jeho délka je o 2 mm větší než skutečná délka stříhu a není předpokládáno její opotřebením:

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} = \left(1 + \frac{0,17}{2}\right)_{-0,04} = 1,09_{-0,04} \text{ mm},$$

kde: A_j - jmenovitá šířka střížníku (můstku), $A_j = 1 \text{ mm}$,

Δ - přípustná míra opotřebením pro $TS = \pm 0,1 \text{ mm}$ je $\Delta = 0,17 \text{ mm}$ dle přílohy 5, přičemž hodnota je pro symetrickou odchylku poloviční,

δ_k - výrobní tolerance střížníku, dle přílohy 5 je $\delta_k = 0,04 \text{ mm}$.

Rozměr otvoru ve střižnici se vypočte dle (2.31):

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} = \left(1 + \frac{0,17}{2} + 0,18\right)^{+0,06} = 1,27^{+0,06} \text{ mm},$$

kde: δ_e - výrobní tolerance střižnice, dle přílohy 5 je $\delta_e = 0,06 \text{ mm}$.

Ostatní nekruhové střižníky a střižnice byly stanoveny výše uvedeným způsobem a jejich rozměry byly zaneseny přímo do výkresové dokumentace.

Pro ohýbací operace se vypočte pouze velikost vůle dle (2.12):

$$v_o = t_{max} + c_1 \cdot t = 0,56 + 0,1 \cdot 0,5 = 0,61 \text{ mm},$$

kde: t_{max} - tloušťka materiálu včetně jeho horní mezní úchytky, podle normy ČSN EN 10143 je úchytky 0,06 mm. Maximální tloušťka plechu je

$$t_{max} = t + 0,06 = 0,5 + 0,06 = 0,56 \text{ mm},$$

c_1 - součinitel zahrnující vliv tření, podle přílohy 2 je $c_1 = 0,1$.

3.5 Volba stroje

Pro navržený postupový nástroj je potřeba vybrat odpovídající stroj a přídatná zařízení, jako je odvíječka, rovnačka a podavačka svitku. Podstatné kritérium pro volbu stroje představuje síla nutná pro tvářecí operace. Celková síla pro volbu stroje se stanoví:

$$F_C = F_{SC} + F_{OC} + F_{Cpr} + F_{pp} \quad (3.18)$$

$$F_C = 36,57 + 59,45 + 89,6 + 3 = 188,6 \text{ kN}$$

Po zaokrouhlení bude celková tvářecí síla $F_C = 189 \text{ kN}$.

Kromě síly se musí určit výsledná celková práce, která se spotřebuje na jeden zdvih:

$$A_C = A_{SC} + A_{OC} + A_{pr} \quad (3.19)$$

$$A_C = 11 + 25,4 + 22,4 = 58,8 \text{ J}$$

Jako tvářecí stroj byl zvolen jednočinný výstředníkový mechanický lis (obr. 74) výrobce Vaptech. Lis nese označení PE30H a je vhodný pro tváření za studena. Jeho nominální síla je 300 kN a poskytuje dostatečnou rezervu u stanovené síly 189 kN. Disponuje ochranou proti přetížení, lze vybavit bezpečnostními prvky chránící obsluhu a má manuálně nastavitelný zdvih. Jedná se o rám typu C. Stůl o rozměrech 550x310 mm je pro nástroj dostačující. Obsahuje otvor o průměru 125 mm pro odpad. Beran má upínací otvor s průměrem 32 mm pro stopku nástroje. Tyto a další parametry jsou uvedeny v tab. 6. [58]

Tab. 6 Základní parametry lisu PH30H [58].

jmenovitá síla lisu	300 kN
přestavitelnost zdvihu	6 – 60 mm
přestavitelnost beranu	50 mm
jmenovitý počet zdvihů	145 zdvih.min ⁻¹
nastavitelný počet zdvihů	90 – 160 zdvih.min ⁻¹
vyložení beranu	170 mm
sevření	270 mm
rozměry stolu	550x310 mm
průměr odpadového otvoru ve stolu	125 mm
rozměry beranu	280x250 mm
průměr upínacího otvoru v beranu	32 mm
příkon elektromotoru	2,2 kW



Obr. 74 Mechanický výstředníkový lis PE30H [58].

Automatizaci procesu zajišťují přídatná zařízení, která jsou pro výrobu ze svitku nezbytná. Svitek bude odvíjen, rovnán a podáván do nástroje pomocí linky od výrobce Sacform s označením CL302 (obr. 75). Jedná se o kompaktní linku, která obsahuje odvíječku, jež je schopna pojmout svitek o vnějším průměru až 1300 mm, což vyhovuje vzhledem k navrženému svitku o vnějším průměru 1200 mm. Rovnání a podávání plechu zároveň zajišťuje jedno zařízení se servopohonem. Parametry linky jsou v tab. 7. [59]



Obr. 75 Podávací linka CL302 [59].

Tab. 7 Základní parametry rovnací a podávací linky [59].

šířka svitku	30 – 300 mm
maximální hmotnost svitku	2 500 kg
tloušťka plechu	0,4 – 3 mm
maximální rychlost podávání	32 m.min ⁻¹
vnitřní průměr svitku	420 – 550 mm
maximální vnější průměr svitku	1300 mm

ZÁVĚR

Práce řeší problematiku výroby spony pro dřevěné palubky. Jako materiál spony byla zvolena ocel DX51D+Z140, která má povrchovou úpravu žárovým zinkováním. Tloušťka plechu je 0,5 mm. Daný rozměr spony se bude vyrábět v sérii čítající 600 000 kusů za rok.

Na součásti bylo nutné upravit dva rozměry, které nesplňovaly technologičnost. Otvory o průměru 2 mm, pro uchycení spony pomocí nastřelovací spony, bylo nutné posunout dál od ohybu, aby nedocházelo k deformaci otvorů. Dále bylo zvětšeno rameno volného konce drážky.

Jednotlivé dílce jsou na páse uspořádány ve dvou řadách, přičemž jsou v podélném směru odděleny úzkým můstkem. Výhodou je vyšší produktivita či možnost vyrábět dva rozměry spon zároveň. Pro dané uspořádání byly navrženy tři výrobní postupy. Zvolený postup zhotovuje dílce v pěti krocích.

Polotovarem je svitek o šířce 57 mm s vnějším průměrem 1200 mm a vnitřním průměrem 508 mm. Využití jednoho svitku je 96,1 %. Celá výrobní série má využití 93,1 % při spotřebě 5 svitků.

Pro výrobu byl navržen sdružený postupový nástroj. Základ tvoří stojánek od firmy Meusburger se dvěma diagonálně uspořádanými sloupky, který obsahuje plovoucí vedení. Tvářecí matrice, obsahující střížné, ohýbací a lisovací prvky, jsou rozděleny na dvě části, což umožňuje použití nástroj pro další rozměry spon, kdy stačí vyměnit druhý blok a protikusy. Kontrolní výpočty vyloučily možnost ztráty vzpěrné stability nástrojů. Kontrolou na otlacení upínací desky byla zjištěna nutnost použití opěrné kalené desky.

Technologickými výpočty byla stanovena celková tvářecí síla 189 kN. Celková potřebná práce byla stanovena na 58,8 J. Na základě rozměrů nástroje a vypočtených hodnot sil a prací byl jako stroj zvolen výstředníkový mechanický lis PE30H od firmy Vaptech. Podávání polotovaru včetně rovnání zajišťuje kompletní podávací linka CL302 od firmy Sacform.

Dále by bylo vhodné provést kompletní technicko-ekonomické zhodnocení a posoudit, zda se dvouřadé uspořádání vyplatí. Bylo by vhodné provést simulaci výrobního postupu a zjistit, zda nelze provést snížení počtu kroků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SCHULER. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, 563 s. ISBN 3-540-61185-1.
 2. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. Second edition. New York: McGraw-Hill, 2006, 729 s. ISBN 0-07-146271-6.
 3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
 4. *Stamped and formed parts* [online]. c2022 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://keine.de/en/stamped-and-formed-parts>
 5. Montáž dřevěných obkladů. *Český kutil* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-13238-panely>
 6. Sponky na palubky č.6. *Palubky Koten* [online]. Jihlava, 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.palubky-koten.net/produkty/spojovaci-material/sponky-na-palubky/sponky-na-palubky-c-6.php>
 7. Montážní sponka pro plastové palubky P872. *SwissHobby* [online]. 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.swisshobby.cz/montazni-sponka-pro-plastove-palubky-p872-mala-pozink-plech-1-ks/>
 8. Palubky obkladové. *Dřevo Černý vůl* [online]. Černý vůl [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://www.drevocernyvul.cz/zbozi/palubky-obkladove>
 9. Paneling fixings. *Sauna Timber* [online]. Wisbech, 2021 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://sauna-timber.co.uk/product/paneling-fixing-clips/>
 10. Montážní sponka pro plastové palubky P872. *Obchod PROSTAVBU* [online]. Brno [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://obchod.prostavbu.cz/zbozi/montaz/montazni-sponky/montazni-sponka-pro-plastove-palubky-p872-mala-pozink-plech.html>
 11. Haken, Klipse und Krallen. *Holz Forster* [online]. [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: https://www.holzforster-shop.de/epages/63300072.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/63300072/Categories/Wand__D_ecke/Haken_Klipse_und_Krallen
 12. ČSN EN 10346. *Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky pro tváření za studena - Technické dodací podmínky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
 13. *Příručka žárového zinkování* [online]. In: . Ostrava, 2011 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://zarova-zinkovna.mea.cz/upload/ck/files/prirucka-zaroveho-zinkovani.pdf>
 14. STAŠA, Tomáš. Montážní postupy a doporučení pro fasádní palubky. *Stáša* [online]. Otrokovice, c2022 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.stasa.cz/montaz-palubek-na-fasadu-na-stenu.html>
 15. Řezání vodním paprskem. *ELNA Servis* [online]. Počerady [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <http://elnaservis.cz/rezani-vodnim-paprskem.html>
 16. *Water cutting – cutting steel with using water jet* [online]. Krakow, c2020 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://bth.pl/en/services/water-cutting-cutting-steel-with-using-water-jet/>
 17. Laserové řezání. *Messer Technogas* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/laserove-rezani>
-

-
18. Výpalky. *Hutní materiál Kondor* [online]. Praha, c2013 [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/vypalky/t-156/>
 19. TRUMPF. Kombinované stroje. *Trumpf* [online]. c2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/kombinovane-stroje/
 20. European Subcontracting. In: *European Subcontracting Network* [online]. c2022 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://subcontracteu.com/en/companies/european-subcontracting/1025>
 21. Děrovací nástroje. In: *Trumpf* [online]. c2022 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/servis/servis-strojni-systemy-a-lasery/nastroje/derovaci-nastroje/
 22. TruPunch 5000. *Trumpf* [online]. c2022 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/derovaci-stroje/trupunch-5000/
 23. Trumpf punching machine. *Truman* [online]. c2022 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://trumansystems.com/cnc-type/trumpf-punching-machine/>
 24. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
 25. MCKECHNIE, Glenn McKechnie. *Progressive die with scrap strip and stampings* [online]. In: . 2005 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ProgressiveDieToyota-strip-scrap.jpg>
 26. Ruční pákový lis. *Semet* [online]. Červený Kostelec, c2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: <https://www.semet.cz/produkty/rucni-pakove-lisy+c28/rucni-pakovy-lis-lp-r-320+p72.htm>
 27. Ohraňovací lisy. In: *Trumpf* [online]. c2022 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/ohranovaci-lisy/
 28. Ohýbání. *Trumpf* [online]. c2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/ohybani/
 29. Metal stamping die projects. In: *Vortool Manufacturing* [online]. Surrey, c2012-2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.vortool.com/sheet-metal-stamping-dies>
 30. New energy motor lamination core progressive die. In: *Dongguan Jiarun precision* [online]. c2016 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <http://www.szjiarun.com/product/detail/174.html>
 31. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1. Second edition. New York: Industrial Press, 2014. ISBN 9780831134921.
 32. BAČA, Jozef a Jozef BÍLIK. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2000, 235 s. ISBN 80-227-1339-2.
 33. Cutting, Blanking, Shearing & Trimming. *AHSS Guidelines* [online]. Middletown: WorldAutoSteel, c2021 [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: ahssinsights.org/forming/cutting/cutting-blanking-shearing-trimming/
 34. MUCHA, Jacek a Jacek TUTAK. Analysis of the influence of blanking clearance on the wear of the punch, the change of the burr size and the geometry of the hook blanked in the hardened steel sheet. *Materials* [online]. BASEL: MDPI, 2019, 12(8), 1261 [cit. 2022-03-08]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma12081261
-

-
35. SUBRAMONIAN, Soumya, Taylan ALTAN, Bogdan CIOCIRLAN a Craig CAMPBELL. Optimum selection of variable punch-die clearance to improve tool life in blanking non-symmetric shapes. *International journal of machine tools & manufacture* [online]. OXFORD: Elsevier, 2013, 75, 63-71 [cit. 2022-03-08]. ISSN 0890-6955. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijmachtools.2013.09.004
 36. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje: Stříhadla a střížné vŕle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1977.
 37. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
 38. THIPPRAKMAS, Sutasn a Arkarapon SONTAMINO. Wiping Z-bending die design for precise part fabrication. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* [online]. 2021, 15, JAMDSM0012-JAMDSM0012 [cit. 2022-03-12]. ISSN 1881-3054. Dostupné z: doi:10.1299/jamdsm.2021jamdsm0012
 39. THIPPRAKMAS, Sutasn a Pakkawat KOMOLRUJI. Design of Process Parameters in Wiping Z-bending Process using Statistical Analysis Technique. *Procedia engineering* [online]. Elsevier, 2017, 183, 5-10 [cit. 2022-03-08]. ISSN 1877-7058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2017.04.003
 40. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje: Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
 41. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
 42. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. TATÍČEK, František. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>
 43. TSCHÄTSCHE, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006, xii, 405 s. ISBN 3-540-33216-2.
 44. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
 45. *Meusburger catalogues & brochures* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://catalogue.meusburger.com/>
 46. MUCHA, Jacek a Jan JAWORSKI. The Quality Issue of the Parts Blanked from Thin Silicon Sheets. *Journal of materials engineering and performance* [online]. New York: Springer, 2017, 26(4), 1865-1877 [cit. 2022-03-08]. ISSN 1059-9495. Dostupné z: doi:10.1007/s11665-017-2589-7
 47. JAAFAR, N. Azam, Ahmad B. ABDULLAH a Zahurin SAMAD. Effect of punching die angular clearance on punched hole quality of S275 mild steel sheet metal. *International journal of advanced manufacturing technology* [online]. London: Springer, 2018, 101(5-8), 1553-1563 [cit. 2022-03-08]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-018-3040-4
 48. ADÁMEK, Vítězslav a Martin ZAJÍČEK. *Vzper přímých prutů* [online]. Plzeň, 2010 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/shrnuti.pdf>
 49. MRŇÁK, Ladislav a Alexander DRDLA. *Mechanika: Pružnost a pevnost pro SPŠ strojnické*. 3. opr. vyd. Praha: SNTL, 1980, 366 s.
-

-
50. GURUN, Hakan, Mustafa GOKTAS a Abdulmecit GULDAS. Experimental examination of effects of punch angle and clearance on shearing force and estimation of shearing force using fuzzy logic. *Transactions of FAMENA* [online]. Záhřeb, 2016
 51. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. In: . Brno, 2002 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
 52. Mechanical Presses: Conventional vs. Servo. *MetalForming Magazine* [online]. c2022, 2020 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.metalformingmagazine.com/article/?/stamping-presses/servomechanical/mechanical-presses-conventional-vs-servo>
 53. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: ZČU Plzeň, 2015 [cit. 2022-03-03]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16826/1/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
 54. Podélné dělení materiálu. *Pásová ocel* [online]. c2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.pasovaocel.cz/sluzby/vyrobní-technologie/podelne-deleni/>
 55. Jakosti dle norem: ocel 19 830. *Preciz* [online]. Napajedla, c2016 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.preciz.cz/sluzby/jakosti-dle-norem/details/5/13-13>
 56. Jakosti dle norem: ocel 19 436. *Preciz* [online]. Napajedla, c2016 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.preciz.cz/sluzby/jakosti-dle-norem/details/5/2-2>
 57. *CITACE PRO* [online]. c2012-2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com>
 58. Mechanical C-Frame Presses. *Vaptech* [online]. c2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://vaptech.bg/products/mechanical-c-frame-presses>
 59. Press Feeding Compact (L). *AGMline* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.agmline.com/en/products/51-press-compact-feeding-systems/256-press-feeding-compact-sistems-agmline>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	práce	[J]
A _C	celková tvářecí práce	[J]
A _e	rozměr střížnice	[mm]
a _i	délka i-tého oblouku	[mm]
A _j	jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
A _k	rozměr střížníku	[mm]
a _o	délka ramene ohybu	[mm]
A _{oC}	celková ohýbací práce pro všechny ohyby	[J]
A _{oU}	práce pro U ohyb	[J]
A _{oV}	práce pro V ohyb	[J]
a _{pr}	rozměr lisovníku	[mm]
A _{pr}	lisovací práce	[J]
a _{ro}	vzdálenost otvoru od ramene ohybu	[mm]
a _{rs}	vzdálenost mezi otvory	[mm]
A _s	střížná práce	[J]
A _{sC}	celková střížná práce	[J]
b	šířka plechu	[mm]
B	šířka dílce	[mm]
b _{pr}	šířka prolisu	[mm]
b _s	šířka střížníku	[mm]
c	koeficient kvality střížné plochy	[-]
c ₁	součinitel pro výpočet vůle ohybu	[-]
c _o	součinitel vlivu na minimální poloměr ohybu	[-]
c _p	tuhost pružiny	[N.mm ⁻¹]
d	průměr otvoru	[mm]
d _{pr}	rozměr lisovnice	[mm]
d _s	průměr střížníku	[mm]
D _{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
d _{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F _{blok1}	síla působící na první tvářecí matici	[N]
F _C	celková tvářecí síla	[N]
F _j	jmenovitá síla stroje	[N]
F _{oC}	celková ohýbací síla pro všechny ohyby	[N]
F _{op}	síla přidržovače pro U ohyb	[N]
F _{oU}	ohýbací síla do tvaru U	[N]
F _{oV}	ohýbací síla pro V ohyb	[N]
F _{oVC}	celková ohýbací síla do tvaru V bez kalibrační síly	[N]
F _{oVk}	kalibrovací síla pro ohyb do tvaru V	[N]
F _{pp}	síla vyvozená pružinami	[N]
F _{pr}	lisovací síla prolisů	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _{sC}	celková střížná síla	[N]
F _U	celková síla pro ohyb do tvaru U	[N]
F _V	celková síla pro ohyb do tvaru V	[N]
H	výška střížnice	[mm]

h_{el}	hloubka elastické deformace	[mm]
h_f	výška fazetky střížnice	[mm]
h_{pl}	hloubka plastické deformace	[mm]
h_{pr}	hloubka prolisu	[mm]
h_s	hloubka vniknutí	[mm]
h_s	délka střížníku	[mm]
h_u	pracovní zdvih ohybníku pro U ohyb	[mm]
h_v	pracovní zdvih ohybníku pro V ohyb	[mm]
J_{min}	minimální kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
K	délka kroku	[mm]
k_k	koeficient bezpečnosti	[-]
k_s	koeficient střížné práce	[-]
k_x	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
L_i	délka křivky stříhu	[mm]
l_i	rameno ohybu	[mm]
L_{krit}	kritická délka nástroje	[mm]
L_p	délka polotovaru ohybu	[mm]
l_{pi}	délka prostříhu	[mm]
l_{pr}	délka prolisu	[mm]
L_{sv}	délka návínu ve svitku	[mm]
l_u	rameno ohybu	[mm]
m	šířka můstku	[mm]
m_o	vzdálenost od okraje polotovaru	[mm]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
n	koeficient otupení střížných hran	[-]
n_k	koeficient výpočtu redukované délky	[-]
n_{sv}	počet svitků	[ks]
N_{vys}	počet výstřížků z jednoho svitku	[ks]
Q	velikost výrobní série	[ks]
R	vnější poloměr ohybu	[mm]
r_i	vnitřní poloměr ohybu	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
r_o	poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
S_i	stlačení pružiny pro i-tou sílu	[mm]
s_i	stlačení pružiny	[mm]
S_p	plocha polotovaru	[m ²]
S_{pr}	plocha prolisu	[mm ²]
S_s	dosedací plocha střížníku	[mm ²]
S_v	plocha jednoho výstřížku	[m ²]
\bar{S}	šířka polotovaru	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]
T	těžiště sil	[x; y]
t_{max}	největší tloušťka materiálu	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
v_o	vůle ohybu	[mm]
x	posunutí neutrální osy	[-]

X_F	x-ová souřadnice těžiště sil	[mm]
X_i	souřadnice i-tého prvku	[mm]
X_{oi}	poloha těžiště celkové ohybové síly v ose x	[mm]
X_{pi}	poloha těžiště celkové síly od tlačných pružin v ose x	[mm]
X_{pri}	poloha těžiště celkové lisovací síly v ose x	[mm]
X_{si}	poloha těžiště celkové střižné síly v ose x	[mm]
X_T	poloha těžiště sil v ose x	[mm]
y_F	y-ová souřadnice těžiště sil	[mm]
z	střižní mezera	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
α_s	úhel zkosení čela střižníku	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
Δ	přípustná míra opotřebení	[mm]
δ_e	výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_k	výrobní tolerance střižníku	[mm]
ε_{tmax}	maximální poměrné přetvoření v krajních vláknech	[-]
ε_i	poměrná deformace	[-]
η_p	využitelnost polotovaru	[%]
η_s	využití polotovaru v celé sérii	[%]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_o	hustota oceli	[kg.mm ⁻³]
σ_1	hlavní tahové napětí	[MPa]
σ_d	deformační odpor	[MPa]
σ_{dov}	dovolené tlakové napětí ve stykových plochách	[MPa]
σ_n	tahové normálové napětí	[MPa]
σ_{otl}	napětí v tlaku	[MPa]
τ_{max}	maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	střižný odpor	[MPa]

Zkratky

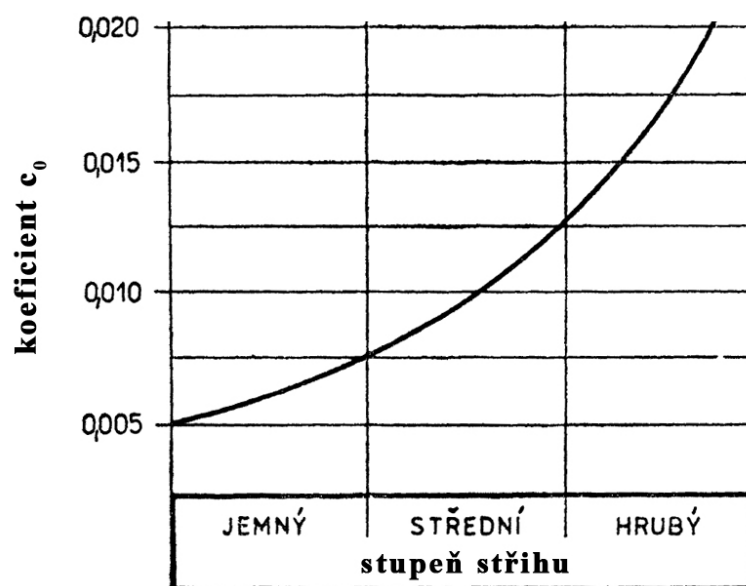
Označení	Legenda
TS	tolerance součásti
DÚ	dolní úvrat'
HÚ	horní úvrat'

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Doporučené hodnoty koeficientu c_0
Příloha 2	Určení součinitele c_1
Příloha 3	Určení deformační odporu při lisování
Příloha 4	Určení velikosti můstku
Příloha 5	Vybrané výrobní tolerance střížníků a střížnic

Seznam výkresů

Montážní spona č. 6	2022-DP-200477-0
Sdružený nástroj	2022-DP-200477-1
Horní část nástroje	2022-DP-200477-2
Spodní část nástroje	2022-DP-200477-3
Tvarový střížník 4 držák	2022-DP-200477-8
Lisovník podélný 1	2022-DP-200477-11
Tvarový střížník 4 vložka	2022-DP-200477-13
Tvarový střížník 5	2022-DP-200477-15
Střížnice 1	2022-DP-200477-23

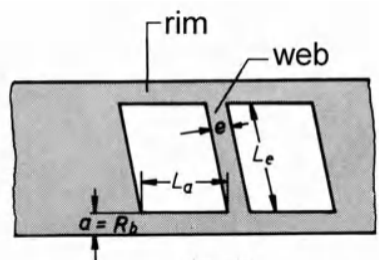
Doporučené hodnoty koeficientu c_0 [36]

Zaoblení a hloubka pevné čelisti

Délka ramene a	Tloušťka materiálu t					
	do 0,5			0,5 až 2		
	l_0	r_m	c_1	l_0	r_m	c_1
10	6	3	0,1	10	3	0,1
20	8	3	0,1	12	4	0,1

Určení deformační odporu při lisování [43]

Materiál	R_m	σ_d - lisovník s vůlí	σ_d - lisovník bez vůle	
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	tloušťka plechu [mm]	[N/mm ²]
Hliník	80 až 100	50 až 80	< 0.4 0.4 až 0.7	80 až 120 60 to 100
Mosaz	290 až 410	200 až 300	< 0.4 0.4 až 0.7 > 0.7	1000 až 1200 700 až 1000 600 až 800
Měď, měkká	210 až 240	100 až 250	do 0.4 0.4 až 0.7 > 0.7	1000 až 1200 700 až 1000 600 až 800
Ocel (hlubokotažná) St 12-3; St 13-3	280 až 420	350 až 400	< 0.4 0.4 až 0.7 > 0.7	1800 až 2500 1250 až 1600 1000 až 1200
Nerezová ocel	600 až 750	600 až 900	< 0.4 0.4 až 0.7 > 0.7	2200 až 3000 1600 až 2000 1200 až 1500



Material thickness s in mm	Web thickness e in mm; rim thickness a in mm	Width of strip W in mm							
		W up to 100				W above 100 – 200			
		Web length L_e or rim length L_a in mm							
		Up to 10	10 to 50	50 to 100	over 100	Up to 10	10 to 50	50 to 100	100 to 200
0.3	e	0.8	1.2	1.4	1.6	1.0	1.4	1.6	1.8
	a	0.9	1.5	1.7	1.9	1.1	1.7	1.9	2.2
0.5	e	0.8	0.9	1.0	1.2	1.0	1.0	1.2	1.4
	a	0.9	1.0	1.2	1.5	1.1	1.2	1.5	1.7

Vybrané výrobní tolerance střížníků a střížnic [36]

Tolerance součástky TS		Připustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		střížnice	střížníku
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,180	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040