



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA DOJEZDOVÉ KAPSY POSUVNÉ BRÁNY

MANUFACTURING OF AN END STOP FOR A SLIDING GATE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Maxmilián Holusek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Maxmilián Holusek
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Eva Peterková, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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 dojezdové kapsy posuvné brány

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby dojezdové kapsy pro posuvnou bránu. Tato tvarová součást bude vyráběna z plechu o tloušťce 3 mm 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:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, 1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 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. 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 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na technologii výroby spodní dojezdové kapsy u posuvné brány. Jako výchozí materiál byla zvolena ocel DC01 o tloušťce 3 mm a výrobní sériovost stanovena na 100 000 ks/rok. Z dostupných výrobních metod byla vybrána výroba v postupovém sruženém nástroji kombinací technologií stříhání a ohýbání. Po navržení technologie výroby, což obsahuje volbu polotovaru a výběr výrobního postupu, byly provedeny výpočty tvářecích sil a prací. Celková síla nutná pro výrobu zadané součásti byla stanovena na 1 937,7 kN. Dále byl navržen samotný nástroj a vybrán stroj S 250 od firmy Šmeral Brno a.s. Linka značky Attl a spol. s.r.o. byla zvolena pro zavedení a krokový posuv pásu plechu nástrojem.

Klíčová slova

dojezdová kapsa, postupový sružený nástroj, stříh, ohyb, DC01

ABSTRACT

This masters' thesis deals with a manufacturing of an end stop for a sliding gate. The semifinished product material is a DC01 steel with a thickness of 3 mm and the production size of the series was set at 100 000 pieces a year. From many possibilities of production alternatives, a progressive die tool was chosen. It combines the two main technologies, which in this case are cutting and bending. After a proposal for manufacturing was made, much needed calculations of forming forces and work were done. The total forming force equals 1 937,7 kN. The next step was making a design of a progressive die, plus picking a S 250 press from a company called Šmeral Brno a.s. A production line from a company called Attl a spol. s.r.o. for feeding a steel coils into the press was chosen.

Keywords

end stop, progressive die tool, cutting, bending, DC01

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLUSEK, Maxmilián. *Výroba dojezdové kapsy posuvné brány* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149252>. 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 dojezdové kapsy posuvné brány vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 25.5.2023

.....
místo, datum

.....
Maxmilián, Holusek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové Ph.D. za věnovaný čas, trpělivost, cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Materiál	12
1.2 Metody výroby	13
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	19
2.1 Stříhání	19
2.1.1 Střížná vůle	20
2.1.2 Napjatost	22
2.1.3 Střížná síla a práce	22
2.1.4 Střížná plocha	24
2.1.5 Uspořádání výstřížků na páse	25
2.1.6 Technologičnost stříhané součásti	26
2.1.7 Střížné nástroje	27
2.2 Ohýbání	30
2.2.1 Odpružení	31
2.2.2 Poloměry a vůle	33
2.2.3 Síla a práce	33
2.2.4 Délka polotovaru	34
2.2.5 Technologičnost ohýbané součásti	36
2.2.6 Ohýbací nástroje	36
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	38
3.1 Rozvinutý tvar součásti	39
3.2 Uspořádání výstřížků na páse	40
3.3 Volba polotovaru	42
3.4 Výrobní postup	44
4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	47
4.1 Výpočty pro technologii stříhání	47
4.1.1 Výpočet střížné síly a práce	47
4.1.2 Kontrolní výpočty	48
4.2 Výpočty pro technologii ohýbání	49
4.2.1 Ohýbací síly a ohybová práce	50
4.3 Síla a práce pružin	51
4.4 Těžiště sil	51
4.5 Výrobní tolerance funkčních částí nástroje	53

5 POPIS NÁSTROJE A VOLBA STROJE	54
5.1 Popis nástroje	54
5.2 Volba stroje	57
ZÁVĚR.....	59

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

V dnešní době, se zvyšující se tendencí ochrany ať už vlastního soukromí, nebo zajištění bezpečnosti různých objektů (průmyslové apod.), si oplocení a s ním i křídlové nebo právě posuvné brány najdou výsadní postavení na trhu. Již výše zmíněné posuvné brány využívají ve spodní části dojezdovou kapsu, kterých je v dnešní době velké množství typů. Většinou se primárně liší ve velikosti podle šířky zajíždějících bran. Právě návrh univerzálnosti, a tedy použitelnosti kapsy pro více typů a rozměrů bran byl podnětem pro tuto diplomovou práci.

Aktuální doba nabízí široké možnosti, jakými lze dosahovat v minulosti nepředstavitelných tvarů. Svě uplatnění si dennodenně nachází slévání, svařování, 3D tisk, obrábění nebo pro tuto práci důležité tváření. Při tváření dochází ke změně tvarů, rozměrů a kvality vlivem působení vnější síly. Tato technologie se primárně dělí na tváření objemové a plošné a spadá pod ty nejehospodárnější, co se týče úspory materiálu, energie a vysoké produktivity. Postavení si zejména najde u sérií s vyšším počtem výrobků, ale nesmí se na ni zapomínat ani například u výroby kusové. [1]

Tato diplomová práce se zabývá a popisuje právě problematiku plošného tváření, přičemž příklady výsledných dílců, vyráběných pomocí metod z této oblasti tváření, jsou uvedeny na obr. 1. Cílem práce je tvorba návrhu výroby spodní dojezdové kapsy posuvných bran. Podrobněji se pak práce zaměřuje na rozbor dané součásti s opodstatněným výběrem technologií výroby. Ty jsou pak detailněji popsány v části, jež se věnuje vybraným technologiím z hlediska teoretického. Druhá polovina diplomové práce je poté plně určena samotnému návrhu výroby, technologickým a kontrolním výpočtům, nástroji a volbě pracovního stroje.



Obr. 1 Příklady součástí vyráběné plošným tvářením [2]

1 ROZBOR SOUČÁSTI

Řešenou součástí diplomové práce je spodní dojezdová kapsa pojízdné posuvné brány. Na aktuálním trhu existuje více typů bran, kterými je možné ochránit daný pozemek či prostor. Mezi dva nejvyhledávanější a zároveň tedy nejvyužívanější typy, patří typ křídlový (obr. 3) nebo již zmíněný typ posuvný (obr. 2). U první možnosti dochází k otvírání jednoho nebo dvou stejně či různě širokých křídel pomocí aktivních motorů nebo manuálně. Obě části visí na pevně uchycených pantech, které jsou montovány dle potřeby do zdi nebo na předinstalované sloupky. Pomocí těchto pantů dochází k otvírání a zavírání do předem stanoveného úhlu. Chce-li zákazník dosáhnout širšího nebo praktičtějšího vjezdu volí se typ brány posuvné, kdy dochází k podélnému pohybu, nejčastěji přes posuvné vozíky, pomocí vestavěného motoru s řídicí jednotkou a přijímači. Zde tedy horní a v této práci řešená spodní dojezdová kapsa hraje zásadní roli. [3; 5]

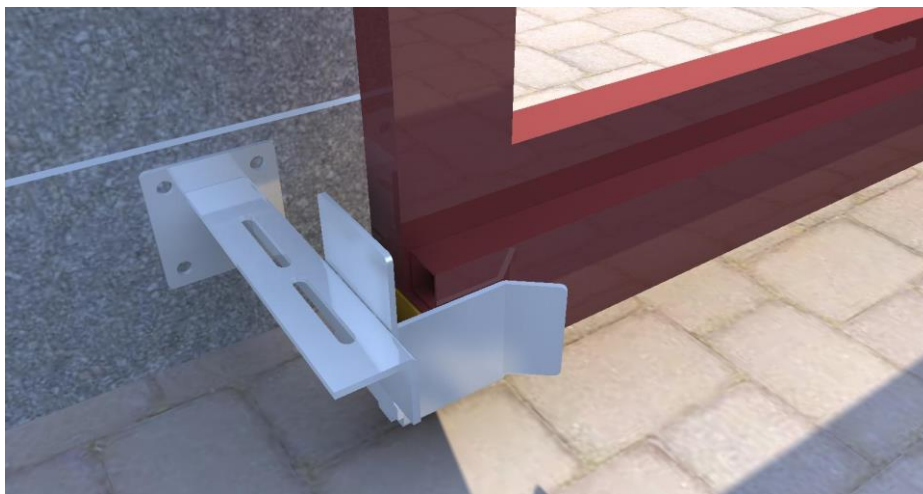


Obr. 2 Posuvná brána [4].



Obr. 3 Dvoukřídla brána [4].

Jedná se o systém, jenž slouží k přesnému zajištění brány při jejím zavírání, a tedy i pro celkovou stabilizaci konstrukce v tzv. poloze „zavřeno“, viz obr. 4. Zejména u bran s plnou nebo hustou lamelovou výplní, vlivem silnějšího větru nebo neplánovanou kolmou vnější silou, může dojít k necíleným a negativním pohybům dlouhého dílu. Kromě zafixování v konečné poloze dochází i k částečnému odlehčení v případě využití posuvných vozíků. Na ty je po celou dobu, kdy je brána v zavřeném stavu, přenášena váha několikametrové konstrukce. [3; 5]

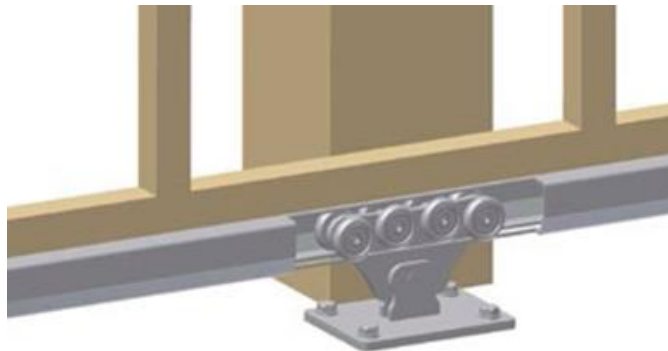


Obr. 4 Zafixování brány [6].

Posuvné brány je možné rozdělit na dva typy:

- Pojezdové brány s využitím kolejnic - dochází zde k pohybu celého křídla pomocí otáčejících se koleček pevně namontovaných na spodu konstrukce. Ty mají speciální tvar, který při posuvu brány kopíruje samotnou kolejnici, jež je pevně uchycena do základového betonu. Tento typ není tak cenově nákladný, ale z hlediska údržby a zajištění bezproblémového chodu se často jeví jako méně příznivý. [5]
- Samonosná brána - jedná se o pohyb brány standartně 50 mm a více nad zemí, což je umožněno pevně uchycenými posuvnými vozíky, na které je celé křídlo nasazeno. Samotný posuvný vozík v útrobách nosného rámu je možné vidět na obr. 5. [5]

Samonosné brány patří v dnešní době mezi zákazníky k nejvyhledávanějším a zároveň nejoblíbenějším, proto bude tato práce směřovat k výrobě kapsy právě pro tento typ bran. [5]



Obr. 5 Vozík v rámu brány [7].

V dnešní době existuje mnoho firem, které se specializují na výrobu dojezdových kapes, součástí potřebných k ideálnímu namontování nebo rovnou na kompletní výrobu všech komponent včetně samotné brány. Není určen jeden jediný typ nebo jedna geometrie toho, jak má správně kapsa vypadat. Zásadní roli při geometrii a tvaru dojezdové kapsy hraje hmotnost a rozměr brány, prostředí, funkce využití, materiál apod. Níže na obr. 6 je možné vidět několik typů, jak lze danou součást různě formovat a podle potřeby měnit.

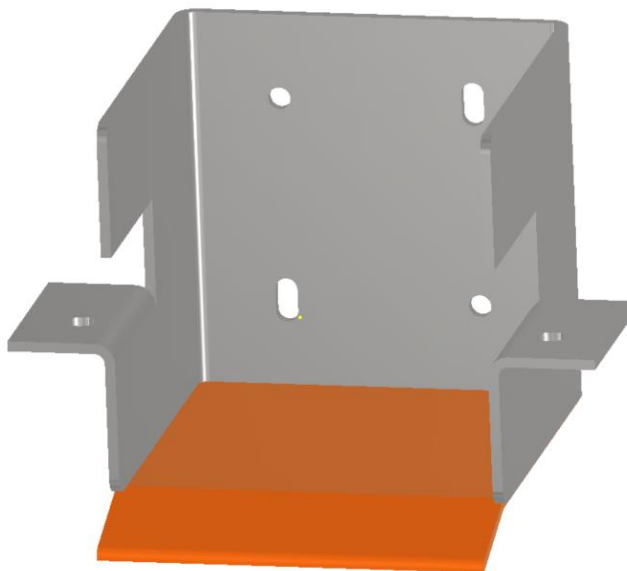


Obr. 6 Spodní dojezdové kapsy na trhu [8].

Na základě průzkumu trhu byl navržen nový typ kapsy, jenž je vyobrazen na obr. 7. Byly určeny rozměry 114x110x110 tak, aby se jednalo o součást použitelnou pro co nejvíce typů bran, kterými současné firmy disponují.

Tento rozměr je úmyslně větší, aby bylo možné danou součást použít jak pro větší, tak i menší typy bran. K rozšíření, respektive zúžení prostoru pro zajištění brány budou tedy sloužit silonová kolečka, která se vždy ve vhodné velikosti namontují na dvě vyhnuté packy. Rozměr jejich

průměru bude určen šířkou spodního rámu brány. Nájezdová část kapsy, která je na obr. 7 vyznačena světle červenou barvou, je samostatná část, jež je ohnuta a navařena vhodně zvolenou svařovací metodou. V části, jež bude montována na vodící sloupek nebo přímo na zeď, jsou ideální technologií udělány čtyři otvory. Dva tzv. posuvné otvory na vymezení výšky a mírně i šířky, a taktéž dva fixační, které slouží ke zvýšení celkové pevnosti po utažení šroubů. Celkově bude spodní dojezdová kapsa zajišťovat již zmíněnou stabilizaci konstrukce souběžně s jejím odlehčením.



Obr. 7 Model nově navržené dojezdové kapsy .

1.1 Materiál

Před samotným výběrem, jakým způsobem bude spodní dojezdová kapsa vyráběna, je potřeba zvolit vhodný materiál. Je nutné zajistit jeho tvárnost, pevnost a současně i odolnost vůči okolním podmínkám, ve kterých se bude po delší dobu vyskytovat. První část se věnuje rozboru několika typů s následným opodstatněným výběrem.

Ocel nízkouhlíková DC01 (1.0330), taktéž EN 10 130 nebo ČSN 11321. Vhodná k tažení za studena, středně hlubokému tažení a je zde zaručena svařitelnost. Ideální pro následné povrchové úpravy. Díky svým vlastnostem a umožnění kvalitního ohybu, stříhu, děrování nebo dalších technologických postupů, bývá právě tato ocel často využívána pro výrobu různých konstrukcí, domácího vybavení, cyklistických kol, barelů či v automobilovém průmyslu. Mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tabulkách 1 a 2. [9; 11; 12; 13]

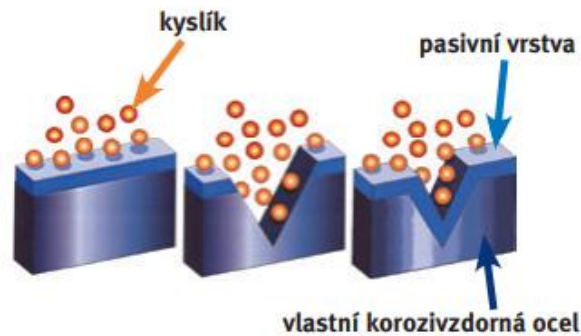
Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DC01 (1.0300) [10].

Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tažnost A [%]
max. 410	280	28

Tab. 2 Chemické složení oceli DC01 (1.0300) [10].

C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
max. 0,12	max. 0,6	max. 0,045	max. 0,045

Korozivzdorná ocel. Jedná se o vysokolegovanou ocel, která je využívána primárně proti možné vznikající chemické nebo elektrochemické korozi. Vyznačuje se schopností zvanou „pasivace“, přičemž dochází k vytvoření velmi tenké vrstvy oxidů, jako je např. oxid chromitý. Tato vrstva (obr. 8) se při narušení samovolně obnovuje a zaceluje, a dodává tak základnímu materiálu protekci vůči nechtěné korozi. Pokud se výrobek bude nacházet v prostředí, jež se vyznačuje vysokou náchylností ke korozi, přidávají se další prvky jako např. nikl nebo molybden. [14,15]



Obr. 8 Pasivní vrstva [14].

Korozivzdorná ocel AISI 304, také jako ČSN 17 240 nebo EN 10088-3. Austenitická ocel s obsahem chromu (18 hm.%) a niklu (10 hm.%). Vyznačuje se zajištěnou svařitelností, pevností v tahu a kluzu, je nemagnetická a zaručuje vysokou odolnost proti již zmíněné korozi v prostředí vody a vzduchu (bez chloridů a anorganických kyselin a solí), která může být přidáním většího obsahu legur zvýšena. Mezi její přednosti patří velmi dobré mechanické vlastnosti a schopnost nechat se tvářet (tažení a ohyb). Využití si najde v potravinářském průmyslu, architektuře a stavebním odvětví, medicíně či gastronomii. Mechanické vlastnosti a chemické složení je zaznamenáno v tabulkách 3 a 4. [16; 17; 18]

Tab. 3 Mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli AISI 304 s tloušťkou do 8mm [19].

Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tažnost A [%]
max. 750	min. 230	min. 45

Tab. 4 Chemické složení korozivzdorné oceli AISI 304 [19].

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]
0 – 0,07	0 - 2	0 - 1	0 – 0,05
S [%]	Cr [%]	Ni [%]	N [%]
0 – 0,03	17,5 – 19,5	8 – 10,5	0 – 0,11

Ze zmíněných materiálů bude vybrána ocel DC01, která je při tloušťce 3 mm přijatelnější pro nadcházející plánovanou výrobu, a to jak z technologického, tak i ekonomického hlediska. Navíc se nebude jednat o povrchově upravovaný materiál. To proto, aby bylo při navařování dojezdové desky dosaženo co možno nejkvalitnějšího svaru.

1.2 Metody výroby

Zvolenou dojezdovou kapsu je možné vyrobit mnoha technologickými způsoby, které aktuální doba a trh nabízí. Na základě několika kritérií je potřeba zvolit patřičné metody a postupy, jež jsou pro výrobu dané součásti vhodné. Je nutné brát ohled na velikost série, která bude vyráběna, tedy počet kusů za určité období. Navržené technologie musí vykazovat dostatečnou efektivnost a ekonomičnost, což znamená, že náklady potřebné na zrealizování celé výroby mají stanovený jakýsi pomyslný strop, který se z ekonomického hlediska nevyplatí přesáhnout. Z praktického hlediska výroba směřuje do plošného tváření, a je tedy nutné pracovat

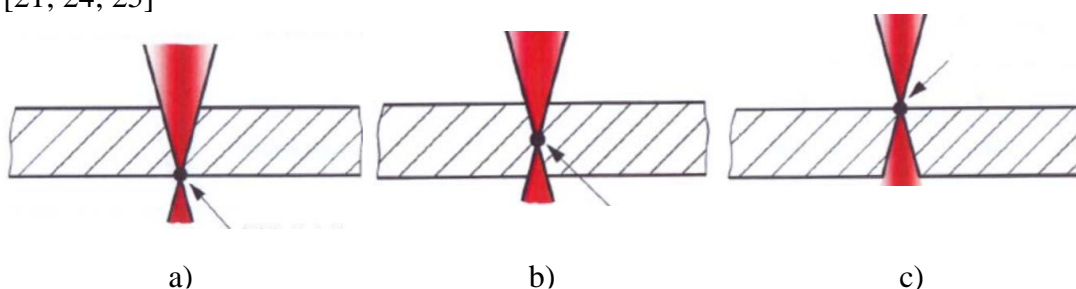
s metodami, které zajistí výrobu jak rozvinutého tvaru, tak i 3D s případnou jejich kombinací. Pro výrobu spodní dojezdové kapsy je vybíráno z několika pozitivně se ukazujících technologií. Následující podkapitola je věnována výhodám a nevýhodám, ustanovením a zhodnocením metod dělení a ohýbání.

- Řezání laserovým paprskem - slovo LASER vychází z vlastní definice, kdy dochází ke zesilování světla stimulovaným zářením („Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“). Jedná se o proces známý už od 50. let 20. století, během kterého nastává dělení materiálu pomocí zaostřeného laserového paprsku, viz obr. 10. Vyzařované fotony, jež vznikají přivedením vnější energie (např. elektrický proud, optické buzení, magnetické pole), dopadají na řezaný materiál, kde jsou absorbovány. Tato vnesená energie je přeměněna na teplo, které způsobuje tavení nebo rovnou sublimaci. [20; 21; 22; 23]

Proces řezání lze rozdělit na tři základní typy, viz obr. 9.

- Laserové tavné řezání - natavený materiál je odváděn pomocí vysokého proudu plynu ještě ve formě kapalného skupenství. Ohnisko paprsku je fokusováno na spodní straně tloušťky materiálu. [21]
- Laserové pálicí řezání - u této metody dochází ke shoření nataveného materiálu pomocí dopraveného kyslíku do místa řezu. [21]
- Sublimační řezání - ohnisko řezu je úplně na opačné straně než u již zmíněného tavného řezání. Díky vysokému výkonu laseru nastává sublimace, přičemž se pevné skupenství materiálu rovnou vypařuje ve formě plynu. [21]

Na základě aktivního prostředí, kde dochází ke vzniku záření, se dají lasery dělit na pevnolátkové (Nd-YAG laser), plynové (argon, CO₂, helium), polovodičové (galium arsenid GaAs, kadmium sulfid CdS) nebo kapalinové, které se využívají především ve spektroskopii. V průmyslovém strojírenství se nejčastěji sahá po CO₂ laserech, případně pevnolátkových. Hlavní výhodou metody je využití pro širokou škálu materiálů, vysoká řezná rychlost, nízká drsnost děleného povrchu a výborná automatizace zejména v hromadné výrobě. Naopak do karet nehrají vysoké vstupní a provozní náklady, obvyklé následné opracování řezaného povrchu, částečná exhalace a hluk, nebo tepelně ovlivněná oblast, která s sebou může přinést nechtěné deformace. [21; 24; 25]



Obr. 9 Ohniska při řezání laserem [21].

- Řezání plazmovým paprskem - plyn (Ar, He, Ar+H₂, CO₂ a vzduch), který prochází elektrickým obloukem, se stává elektricky vodivým, a je tedy schopen přenést vysoké množství energie v podobě tepla (až přes 30000 °C) do základního materiálu, se nazývá plazma, viz obr. 10. Vlivem tavení a vyfukování či následného odpařování materiálu paprskem o vysoké rychlosti, který vystupuje z hořáku, dochází k jeho dělení. Jednotlivé částice plynu se pohybují neuspořádaně, a proto je velmi podstatné z hlediska stabilizace a kalibrace zvolit ideální plazmový hořák, plyn, chlazení (plynem nebo vodou) či teplotu. [21; 26]

Existují dva typy plazmových oblouků.

- Transferovaný (PAM- Plasma Arc Machining) - plazmový oblouk vzniká mezi základním materiálem a elektrodou, jež se nachází v samotném hořáku. Nachází využití u vodivých materiálů. [21; 27]
- Netransferovaný (PBM- Plasma Beam Machining) - oblouk vzniká a hoří mezi elektrodou uvnitř hořáku a jeho samotnou tryskou. Využívá se pro nevodivé materiály. [21; 27]

Do popředí se stále více a více dostává Air Plasma System a Water-Injected Plasma, kdy se jako doprovodný jev do místa řezu vstříkuje voda pod velkým tlakem a vytváří tzv. clonu, jež chladí a zároveň chrání místo řezu před vznikem oxidů, stabilizuje oblouk a zvyšuje životnost trysky. Je ideální pro čisté a ekonomicky méně nákladné řezání nízkolegovaných ocelí. [27]

Řezání plazmou se ukazuje jako ideální metoda pro ocelové materiály, nerez, případně hliník. Díky neustálé potřebě zlepšovat tento proces se v dnešní době dosahuje lepších a kvalitnějších řezů a hran, než tomu bylo dříve. Slibuje nižší počáteční náklady než již zmíněný laser, společně s částečnou eliminací tvorby jisker. Nese s sebou ale i dostatek negativ. Velké exhalace a nadměrný hluk, kdy se mnohdy jedná o škodlivé, zdraví ohrožující látky. Lze využít řez plazmou v kádi s vodou, ale to ještě více a více zvedá náklady na metodu, které už tak na počátku nejsou nízké. Celková přesnost, drsnost a vzhled hran závisí na několika zásadních faktorech, kdy jeden z nich je i tloušťka polotovaru. Pro plechy s profilem pod 6 mm není plazma schopna zaručit takovou kvalitu hran, což u tloušťky 3 mm bude hrát roli. [21; 25; 26; 28]



Obr. 10 Řezání laserem a plazmou [29; 30].

- Řezání vodním paprskem - metoda využívající vysoký tlak vodního paprsku (obr. 11), jež dosahuje hodnot až 6500 Bar. Jako zdroj jsou využívána vysokotlaká čerpadla, kdy je tlak vody přeměněn na vysokou rychlost díky průchodu tryskou zařízení, která je vyrobena z nákladného kamene (safír). [21; 31]

Existují dva typy vodního paprsku.

- Čistý vodní paprsek - plynule a kvalitně řeže měkčí nekovové materiály jako např. plast, papír, potraviny, laminát apod. Dosahuje řezné rychlosti až $400 \text{ m} \cdot \text{mm}^{-1}$. Průměr paprsku obvykle mezi 0,2 a 0,4 mm. [21; 31; 32]
- Abrazivní vodní paprsek - systém je velmi podobný jako u čistého vodního paprsku. Rozdíl spočívá v přidávání abraziva do samotného proudu vody, které pomáhá rozbrušovat materiál. Tvoří se tedy abrazivní vodní paprsek, který se následně používá na dělení tvrdých materiálů, a to např. ocel, titan, kámen, sklo apod. Mezi používaná abraziva patří olivín zelený nebo granát indický. Síla paprsku je tedy mnohonásobně vyšší než u čistého vodního. Dosahuje velmi malé řezné spáry, nejčastěji mezi hodnotami 0,7 až 1,35 mm. [21; 31; 32]

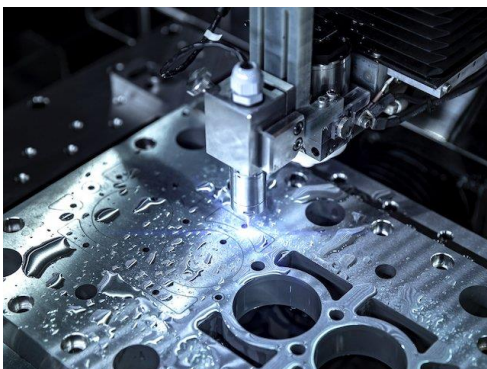
Jeho hlavní výhodou je nepřítomnost tepla v místě řezu, který je studený. Nedochází k tepelnému ovlivnění polotovaru. Vyznačuje se přesností ($\pm 0,1$ až $\pm 0,2$), která je ovlivněna typem a silou materiálu. Dále pak kvalitou povrchu a hran, jež nepotřebují být následně opracované. Metoda je šetrná vůči okolí a nenastává tvorba výparů. Možnost recyklace abraziva a menší šířka řezu napomáhá k ušetření děleného materiálu. Z hlediska negativního, vodní paprsek vyžaduje poměrně vysoké počáteční náklady, doplněné o průběžné finance na nákup používaného abraziva. Hrozba koroze materiálu po kontaktu s vodou, nadměrný hluk a hlavně dlouhé procesní časy, což zásadně ovlivňuje ekonomiku výroby. [21; 32; 33; 34]

- Střih střížným nástrojem - stříhání je metoda, při které dochází k oddělování materiálu pomocí střížníku a střížnice, tedy dvěma vzájemně protilehlými břity nožů. Nástroje pro střih, často označované jako „stříhadla“, jsou v dnešní době velmi často využívána právě pro dělení plechů. [36; 37]

Střížné nástroje se podle funkce, charakteru a sériovosti dělí na [36; 37; 38]:

- jednoduché a vícenásobné - zařízení, která dokáží z plechu vyrobít jednu nebo více rozměrově a tvarově stejných součástí na jeden zdvih.
- postupové - nástroje schopné uskutečnit výrobek na několik samostatných zdvihů, viz obr. 12. Plech je postupně podáván nebo vtahován do zařízení a během každého kroku dochází k částečnému tváření výstřížku, který je po dokončení poslední operace vyhotoven.
- sloučená - zde dochází k vyhotovení součásti pomocí vystříhování a děrování, jež jsou sloučené do jedné operace.
- sdružená - konstrukce tohoto typu je využívána primárně z důvodu získání nástroje, který je schopný provést více odlišných úkonů (stříhání, ohýbání, děrování apod.) na jeden krok.

Jednou z výhod využití střížných nástrojů je absence enormně vysokých teplot či vody, které během této metody nevstupují do místa dělení, jako například u předešlých zmíněných metod. Současně celková kvalita, přesnost a životnost finálního výstřížku je závislá na několika faktorech (velikost střížné mezery, materiál, rozměry, jakost povrchu střížníku a střížnice apod.), pomocí kterých je optimalizována výroba požadovaného výrobku vykazující určité vlastnosti. Proporce a predispozice k vyšší sériovosti, zejména tedy u postupového a sdruženého nástroje, se i přes neflexibilitu, jež pro zvolený výrobek není vyžadována, a vyšší náklady, jeví pro řešenou součást jako vhodná volba. [38; 39]



Obr. 11 Řezání vodním paprskem [35]. Obr. 12 Postupový střížný nástroj [45].

Druhá sada technologií, ze kterých je vybíráno, je využívána k získání prostorového tvaru z plochého polotovaru. Pro navrhovaný dílec se jeví jako nejvhodnější proces ohýbání. Podrobněji jsou rozebrány a popsány ruční a strojní ohýbačky, ohraňovací lisy a ohyb v tvářecím nástroji.

- Ruční a strojní ohýbačky - jedná se o nejjednodušší způsob, jak tvarově měnit plechy. Samotný přístřih nebo celý plech je založen mezi rozevřené čelisti nástroje a pevně sevřen. Odklápěním části, jež obsahuje vyměnitelnou kalenou hranu s rádiusem, se upnutý polotovar ohýbá podél podélné osy do patřičného úhlu, který musí být kontrolován přednastavenou zarážkou, vizuálně nebo automaticky. Zařízení se na trhu vyskytuje jak ruční, tak i strojně řízené. Příklad strojní ohýbačky je uveden na obr. 13. Hlavní výhodou jsou nižší pořizovací a následně provozní náklady. Z hlediska efektivity a potenciálu pro využití na menší sérii s limitovanou tloušťkou plechu se toto řešení vykazuje jako nevhodné a nachází využití spíše v menších provozovnách a dílnách. [40; 41; 42]
- Ohraňovací lisy - zpočátku ruční zařízení, postupem času a vývojem strojírenství CNC stroje a lisy pro ohyb plechů. Tyto stroje umožňují oproti ručním nebo strojním ohýbačkám technologicky náročnější deformace a změny tvarů. Veškerou práci zde vykonává pohyblivý razník, který tlačí vložený plech do matrice a podle geometrie obou zmíněných částí nástroje je polotovar deformován, viz obr. 14. Zařízení umožňuje provádět více operací pomocí výměny nebo kombinace vhodně zvolených nástrojů, což může být v dnešní době plně automaticky řízeno. V průmyslu se lze nejčastěji setkat s hydraulickým, elektrickým, pneumatickým nebo mechanickým ohraňovacím lisem. Ohýbání pomocí lisů má výhodu v tom, že není nutné materiál zahřívat, pokud se nejedná o tlusté nebo velmi pevné polotovary. Dále jsou pozitivní nižší náklady na údržbu a provozuschopnost, či částečná možnost automatizace, kdy dochází k uskutečnění více kroků s širokou škálou možností. Naopak jako nevýhoda se ukazuje vysoká pořizovací cena u CNC ohraňovacích strojů, menší sériovost, manipulace a zakládání větších plechů a náročnost na přesnost kvůli hrozbě zpětného odpružení. [42; 43; 44]



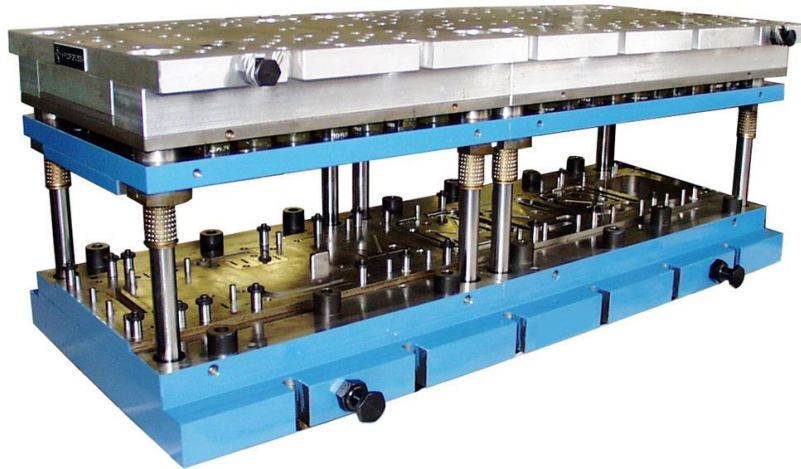
Obr. 13 Elektromechanická ohýbačka [41].



Obr. 14 Ohraňování [43].

- Ohyb v tvářecím nástroji - jedná se o způsob ohýbání plechů, který zastává podobný postup jako tváření na ohraňovacích lisech. Založený přístřih plechu je vlivem zvýšeného napětí od vnější působící síly tvarován pomocí ohybníku a ohybnice. Děje se tak nejčastěji na hydraulických, mechanických nebo speciálních strojích. Naskýtá se možnost kombinace ohybu a dalších technologických procesů jako např. ražení, nebo již rozebraný stříh. Tyto operace lze zkonstruovat v jednom společném zařízení, které

se nazývá postupový sružený nástroj (obr. 15), kdy během každého zdvihu dochází k vyrobení jedné požadované součásti. [38; 40; 46]



Obr. 15 Postupový sružený nástroj [38].

Pro výrobu série 100 000 ks/rok zadané součásti se jako nejlepší metoda jeví společný ohyb a stříh na postupovém sruženém nástroji. Spojení dvou technologických kroků do jednoho zařízení povede k lepší automatizaci procesu společně se zkrácením časů, za účelem výroby co největšího počtu výrobků, což postupový nástroj zaručuje. Souběžně dochází ke snížení nákladů na nákup vícero strojů, pracovní plochy, kvalifikované obsluhy a možnost efektivního rozvržení využitelnosti vkládaného materiálu.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

V předešlé kapitole bylo zvoleno několik možných výrobních variant pro zhotovení dané součásti, které se na první pohled jeví jako bezproblémové a vhodné. Jejich samotným výčtem a vzájemným porovnáním byl pro vyhotovení součásti zvolen postupový sdružený nástroj, který je schopen efektivně sloučit požadované metody v libovolném pořadí, a to konkrétně stříhání a tvarování ohybem. [36]

Zmíněné technologické operace spadají do skupiny plošného tváření, kdy dochází k plastickému deformování dílu za účelem zhotovení prostorové součásti. V průběhu procesu nedochází k výrazné změně celkové plochy, a tedy i šířky polotovaru, na rozdíl od objemového tváření (kování, válcování nebo protlačování), kdy je výsledná rozdílnost původního a finálního tvaru markantní. Následující podkapitoly jsou věnovány problematice technologií stříhání a ohýbání. [47]

2.1 Stříhání

Stříhání plechů má v dnešním průmyslu pevné a důležité zastoupení, a proto patří mezi nejvyužívanější metodu tváření, co se týče oboru dělení materiálu, zejména plechů. Základní princip je založen na postupném nebo současném oddělování materiálu pomocí dvou protilehlých břitů, které v daném místě po dané křivce stříhu způsobují střížné- smykové napětí. Metoda se využívá pro předpřípravu polotovarů (dělení tabulí či svitků), stříhání finálních výrobků nebo jejich úpravu pro následující technologický postup. Taktéž si najde zastoupení jako dokončovací či pomocná operace. Nástroj, jenž se stará o porušení a lom založeného plechu, je složen ze dvou hlavních částí, a to konkrétně střížníku a střížnice. [46; 36; 48; 50]

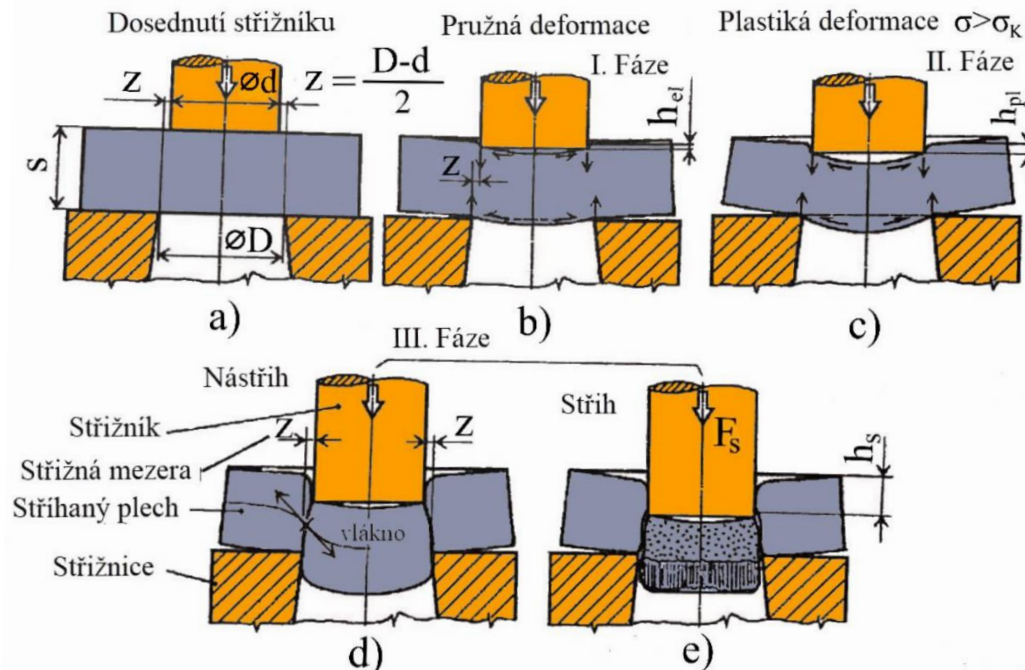
Mezi nejpodstatnější a zároveň nejdůležitější faktory, které zásadně ovlivní konečnou přesnost a kvalitu stříhané plochy patří [46]:

- velikost střížné vůle,
- vlastnosti děleného materiálu,
- vlastnosti střížníku a střížnice,
- volba stroje,
- zvolená metoda stříhání.

Vhodnou volbou střížné mezery a materiálu, úpravou geometrie a celkového konstrukčního řešení nástroje a výběrem ideálního stroje či metody lze dosáhnout a ovlivnit průběh procesu s dostačující kvalitou střížné plochy bez jakýchkoliv vedlejších defektů (deformace, prasknutí apod.). Celkový průběh stříhání lze rozdělit na tři fáze, které jsou popsány níže v textu. [46; 50]

- První fáze - dochází zde k dolehnutí, resp. dosednutí střížníku na předem založený základní materiál. Nastává pružná deformace stříhaného materiálu, kdy se pohybující nástroj dostává do jeho povrchu o hodnotu h_{e1} a dochází k utváření silových dvojic, jež se nachází v rovinách kolmo orientovaných vůči střížným plochám, viz obr. 16a) a 16b). Hloubka vniknutí střížníku h_{e1} bývá zpravidla 5 až 8 % tloušťky plechu, přičemž silně závisí na jeho mechanických vlastnostech. [48; 39]
- Druhá fáze - (obr. 16c) vlivem většího napětí zde dochází k překonání meze kluzu základního kovu, což způsobuje trvalou plastickou deformaci. Hloubka vniku nástroje, resp. střížníku do vloženého materiálu h_{p1} se pohybuje mezi 10 až 25 % tloušťky materiálu, kdy opět záleží na jeho mechanických vlastnostech. [48]

- Třetí fáze - v poslední části nastává díky napětí, jež dosahuje meze pevnosti ve stříhu τ_s , porušení plechu. Jako první se vytvoří mikrotrhliny a následně makrotrhliny podél hran nástroje, které jsou podporovány normálovým tahovým napětím ve stříhaných vláknech. Díky jejich šíření a prodlužování dochází k oddělení materiálu přes střížník a střížnici, viz obr. 16d) a 16e). Hloubka vniku h_s je zpravidla v rozmezí 10 až 60 % tloušťky materiálu v závislosti na jeho mechanických vlastnostech a velikosti střížné vůle. To znamená, že stříhání tvrdšího a křehčího materiálu bývá mnohem rychlejší než měkkého a houževnatého, u kterého je vznikání trhlin, a tedy celkové oddělení pomalejší s větší hloubkou zaboření střížníku. [48; 39]



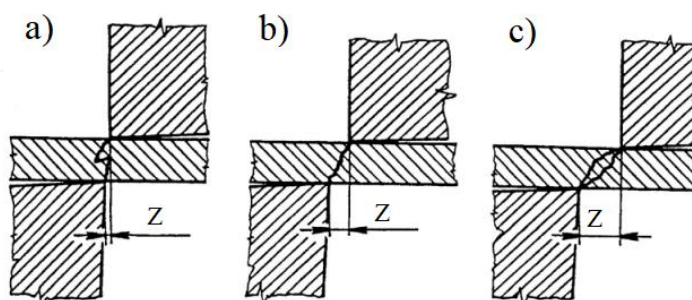
Obr. 16 Fáze stříhu [48].

2.1.1 Střížná vůle

Střížná vůle je velikostní parametr mezi střížníkem a střížnicí a má zásadní vliv na kvalitu, velikost a celkovou jakost střížné plochy. Dále pak napřímo ovlivňuje velikost množství potřebné energie na provedení operace a životnost používaného nástroje. Ze vztahu (2.1) je patrné, že střížná vůle v je dvojnásobně větší než střížná mezera z . Optimálně zvolená velikost mezery, resp. vůle, která je vyobrazena na obr. 17b, se vyznačuje plynulým spojením vznikajících trhlin na obou stranách plechu. Souběžně se musí zaručit stejnost vůle po celém obvodu stříhu po celou dobu procesu, jinak dochází k povrchovým vadám a výrobě celkově nekvalitního povrchu. Pokud dojde ke zvolení příliš malé (obr. 17a) nebo velké mezery (obr. 17c), nenastává spojení vzniknutých trhlin a ty se naopak mýjí, což výrazně zhoršuje kvalitu stříhané plochy. V prvním případě mohou vznikat přestřížené prstence vlivem kupení materiálu. V případě druhém pak často dochází díky vtažení plechu k jeho částečnému ohybu. [37; 39; 48]

Velikost parametru je primárně závislá na typu materiálu a jeho tloušťce, což je patrné v tab. 5. Obvykle se určuje v procentech k tloušťce děleného plechu, a zpravidla bývá někde v rozmezí 3 až 20 %. V tab. 5 jsou uvedeny velikosti střížných vůlí pro určité tloušťky kovových materiálů. Je zde patrné, že pokud nastává stříhání měkkého a tenčího plechu, je potřebná mezera menší než u tvrdších materiálů. Rozměry nástroje, tedy střížníku a střížnice, se podle požadovaného tvaru součásti a současně i vůle mění. Je-li potřeba přesný vnější rozměr,

upravuje se střížník. Pro děrování přesného otvoru se naopak vůle zmenšuje nebo zvětšuje díky změně geometrie střížnice. [37; 39; 49]



Obr. 17 Velikosti střížné mezery [37].

Tab. 5 Velikost střížné vůle pro kovové materiály [49].

Materiál	Mez pevnosti R_m do 400 MPa	Mez pevnosti R_m 400 až 600 MPa	Mez pevnosti R_m nad 600 MPa
Tloušťka [mm]	v [%]	v [%]	v [%]
0,1 – 0,5	3 - 5	5 - 7	7 - 9
0,6 – 1,5	4 - 6	6 - 8	8 - 10
1,8 – 3,0	5 - 7	7 - 9	9 - 11
3,5 – 5,0	7 - 10	9 - 12	11 - 14
6,0 – 10,0	10 - 13	12 - 15	14 - 17

Další a zároveň přesnější možnosti, jak zvolit velikost střížné mezery, je pomocí empirického vztahu dle normy ČSN 22 6015. Vzorec se mění podle parametru tloušťky materiálu. [49]

Pro plechy s tloušťkou ≤ 3 mm platí pro výpočet střížné vůle vztah následující [46, 49, 48]:

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

kde: z – střížná mezera [mm]

c – součinitel závislý na druhu stříhání [-], v intervalu (0,005 až 0,035)

s – tloušťka materiálu [mm]

τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa], obecně počítán:

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

kde: R_m – mez pevnosti v tahu [MPa].

Výpočet střížné vůle pro materiály s tloušťkou > 3 mm lze uskutečnit pomocí nadcházejícího vztahu [46, 49]:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.3)$$

kde: z – střížná mezera [mm],

c – součinitel závislý na druhu stříhání [-], v intervalu (0,005 až 0,0035),

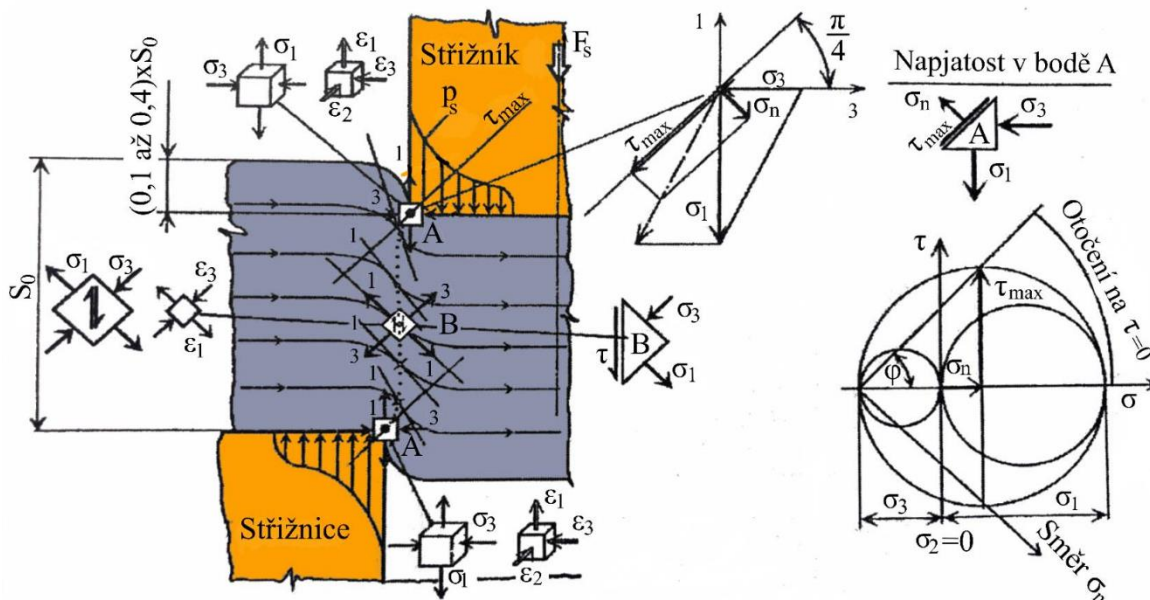
s – tloušťka materiálu [mm],

τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa].

2.1.2 Napjatost

Napjatost je velice důležitým a významným faktorem, co se týče všeobecné tvařitelnosti a deformačního odporu kovu, který lze v oboru stříhání taktéž nazvat jako odpor střížný. Zahrnuje vliv mechanických vlastností plechu a tvaru střížné plochy. Obecně platí, že s přítomností tlakových sil, resp. napětí, v materiálu roste deformační odpor. To znamená, že při jeho velké hodnotě dochází k náročnějšímu dělení polotovaru. Naopak vlivem tahového napětí se mikrotrhliny a makrotrhliny mohou šířit rychleji a plynuleji. [48, 51]

Právě na obr. 18 je možné vidět normálové tahové napětí σ_n , které je kolmé na maximální smykové napětí τ_{max} . Hlavní tahové napětí σ_1 v bodu A působí ve směru pohybu střížníku a je v tomto místě největší. Tlakové napětí je zhruba rovno polovině tahového σ_1 . Lze tedy uvažovat $\sigma_3 = -\sigma_1/2$. Dalším zatlačením nástroje do materiálu nastává přetáčení směru působení τ_{max} až do kolmé polohy vůči střížníku (bod B) společně s natočením σ_1 a σ_3 . Díky tomu utváří střížná plocha svou typickou křivku ve tvaru „S“. V bodu B dochází k vyrovnání tahového a tlakového napětí ($\sigma_1 = -\sigma_3$), což zapříčiňuje podmínky pro prostý smyk, kde $\sigma_2 = 0$. [48, 51]

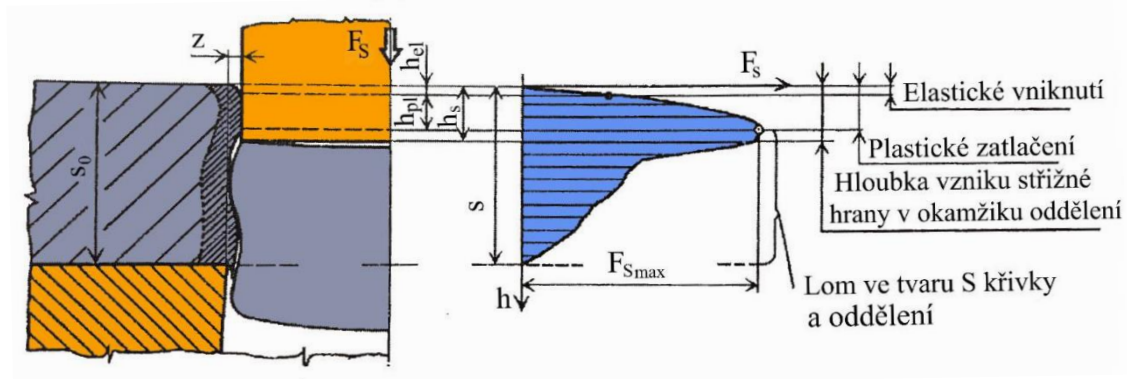


Obr. 18 Napjatost a deformace při uzavřeném stříhání [48].

2.1.3 Střížná síla a práce

Zmíněná střížná síla začíná přirozeně působit v momentu dosednutí střížníku na povrch materiálu a končí po jeho oddělení. Na obr. 19 je podrobněji zachyceno působení samotné síly v průběhu průchodu, resp. hloubky vniknutí střížníku daným materiálem. V průběhu první fáze, kdy dochází k dosednutí a elastickému vniknutí nástroje do materiálu, výrazně roste velikost síly. V druhé fázi plastického zatlačení, během které nastává trvalá deformace a lokální zpevnění materiálu zvýšeným napětím, se opět střížná síla prudce zvedá. K nárůstu parametru dochází až do momentu, kdy se objeví první mikrotrhliny. V tento moment je střížná síla ve svém maximu a v dalším průběhu procesu se projevuje už jen svým poklesem. Nejprve síla padá mírně, a to až po hloubku vniknutí h_s . Po jejím překročení se materiál láme podél „S“ křivky a společně s výrazným snížením síly, kdy se 20 – 30 % tloušťky materiálu vlivem tření zpevňuje, jsou vytvářeny finální požadované výstřížky o určité kvalitě a rozměru. V praxi nelze dosáhnout čistého lomu, proto se uvažuje celková síla o 20 – 50 % větší. Tvarovou úpravou

střížných hran lze snížit celkovou velikost střížné síly a zredukovat tak i vznik vlnění, rázů či otupení nástroje. [39; 48]



Obr. 19 Průběh střížné síly a procesu [48].

K ustřížení materiálu tedy dochází mnohem dříve, než by se oba nože měly šanci potkat, jak již bylo uvedeno. Dělení tabulí či svitků plechu je nejčastěji prováděno rovnoběžnými nebo skloněnými střížnými hranami. [49]

Velikost střížné síly při stříhání rovnoběžnými hranami [46, 49]:

$$F_s = S \cdot \tau_s \cdot n = l \cdot s \cdot \tau_s \cdot n, \quad (2.4)$$

kde: S – střížná plocha [mm²],
 τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa],
 n – součinitel otupení nástroje [-], volí se 1,2- 1,5,
 l – délka křivky stříhu [mm],
 s – tloušťka plechu [mm].

Velikost střížné síly při stříhání skloněnými hranami [49]:

$$F_s = n \cdot \frac{s^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \tau_s, \quad (2.5)$$

kde: φ – úhel sklonu hrany [°].

Pro stříhání v nástrojích, obvykle tedy během technologické operace děrování a vystřihování po uzavřené křivce, je využíváno taktéž vztahu (2.4), přičemž koeficient otupení nástroje se zde volí v rozsahu 1,1 – 1,3. [49]

Společně se střížnou silou se do procesu stříhání součástí ve střížných nástrojích započítávají ještě další dvě síly. Protlačovací síla, jež je potřebná k protlačení materiálu, a síla stírací, která vzniká při zpětném vracení střížníku otíráním se o přetvořený materiál. [49; 1]

Protlačovací síla se stanoví dle vztahu [49]:

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s, \quad (2.6)$$

kde: c_2 – součinitel protlačení [-], pro ocel se volí 0,05 až 0,08.

Stírací síla se vypočítá pomocí vztahu [49]:

$$F_{st} = c_{st} \cdot F_s, \quad (2.7)$$

kde: c_{st} – součinitel stírání [-], volen podle Tab. 6.

Tab. 6 Hodnoty součinitelů stírání [49].

Materiál	Součinitel stírání c_{st}
Ocel do 1 mm	0,02 až 0,12
Ocel 1 až 5 mm	0,06 až 0,16
Ocel nad 5 mm	0,08 až 0,20

Celková střížná síla je vyjádřena podle vztahu [49]:

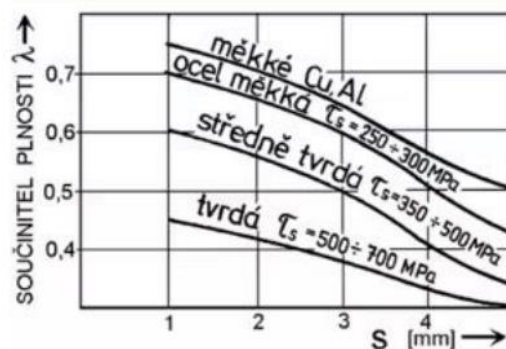
$$F_{sc} = F_s + F_{pr} + F_{st}. \quad (2.8)$$

Celkovou střížnou práci, která je při průběhu dělení plechu vykonávána, lze na obr. 19 rozpoznat jako vyšrafovanou část pod křivkou průběhu střížné síly. V praxi se výsledný parametr zvětšuje od 10 – 20 %, na základě uvažovaných tolerancí jak tloušťky, tak i pevnosti vloženého tvářeného materiálu. [39; 49]

Střížná práce je dána vztahem [49]:

$$A_{sc} = s \cdot \lambda \cdot F_{smax}, \quad (2.9)$$

kde: λ – součinitel plnosti [-], určen grafem na obr. 20,
 F_{smax} – maximální střížná síla [N].



Obr. 20 Graf pro určení součinitele plnosti [49].

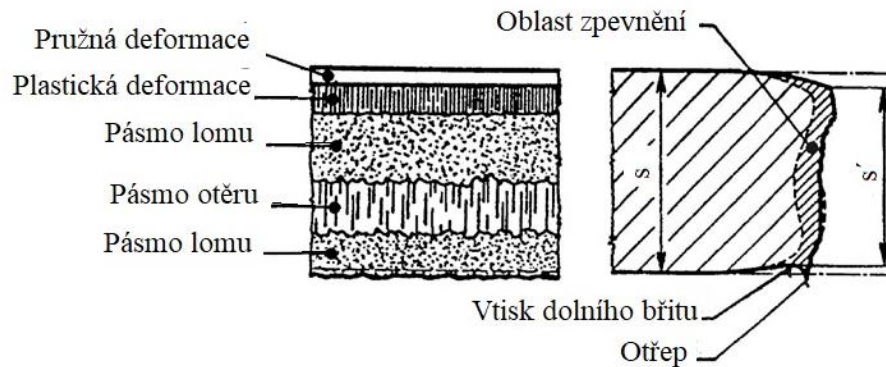
2.1.4 Střížná plocha

Výsledná střížná plocha se skládá z několika oblastí (pásen), které jsou vyobrazeny na obr. 21. V prvním pásmu dochází vlivem působení nástroje k zaoblení okraje materiálu a jeho mírnému ztenčení. Vyskytuje se zde pouze pružná deformace, a to na rozloze mezi 5 – 8 % tloušťky plechu. Druhá oblast je místem plastického stříhu. Kvalita a přesnost je zde na nejlepší úrovni, co se týče průřezu materiálem. Nabývá na velikosti mezi 10 – 40 % tloušťky, přičemž silně závisí na vlastnostech tvářeného materiálu. Největší procento zastoupení ale zastává pásmo lomu. Vykazuje se tvarem křivky „S“ a jeho tloušťka a kvalita výrazně závisí jak na materiálu, tak na střížné mezeře. Poslední oblastí je pásmo oťeru, jež je přímo závislé na tření mezi plechem a nástrojem, což znamená, že jeho menší procentuální zastoupení je z hlediska konečné kvality střížné plochy pozitivem. Současně zde dochází ke zpevnění materiálu v oblasti střížné plochy. Její rozměry lze vyjádřit v rozmezí 0,2 – 0,3 tloušťky plechu, což opět vede ke změně mechanických a fyzikálních vlastností. [48; 52]

Přesnost a kvalita vystříhovaných dílů je v celém průběhu ovlivňována mnoha faktory, které hrají zásadní roli pro konečný stav výrobku. Zásadně tedy závisí na [37; 46; 49; 52]:

- vlastnostech materiálu (druh, tloušťka, rozměr, povrchová úprava),
- poloze založení plechu,

- velikosti střížné vůle,
- druhu, stavu, tvaru a geometrii nástroje (pro menší tloušťky plechů $Ra = 0,8 - 0,4 \mu\text{m}$, pro tlustější se volí $Ra = 3,2 - 1,6 \mu\text{m}$)
- napjatosti,
- rychlosti stříhání.



Obr. 21 Pásma střížné plochy [52].

Stříhání zaručuje lehce zkosený, nerovný, drsnější povrch střížné plochy s nežádoucí ostřinou, který je tedy ovlivňován výše zmíněnými faktory. Obvykle během stříhání materiálů o tloušťkách do 4 mm a velikostních parametrech do 200 mm se přesnost finálního výstřížku zaručuje v tolerančním rozmezí někde mezi IT12 a IT15. Pomocí přídržných zařízení, které jsou schopny zafixovat polotovar během stříhu na místě, nebo vodičích stojanů, lze dosáhnout IT9 až IT11. Standartně je dosahováno drsnosti povrchu $Ra = 6,3 - 3,2 \mu\text{m}$, přičemž tento parametr s tloušťkou a tvrdostí výchozího materiálu zpravidla roste. [37; 49]

Tab. 7 Závislost přesnosti výstřížků na přesnosti nástroje [37]:

Toleranční stupně výstřížku IT	8 - 9	10	11	12	13	14	15
Toleranční stupně střížníku a střížnice IT	5 - 6	6 - 7	7 - 8	9 - 10	10	11	12

2.1.5 Uspořádání výstřížků na páse

Uspořádání stříhaných součástí na tabuli, přístřihu nebo svitku plechu se řídí určitými nepsanými pravidly o tom, jak nejlépe technologicky a zároveň ekonomicky rozložit výrobu výstřížků z daného polotovaru. [37; 50] Při jeho vytváření se přihlíží na níže zmíněné faktory.

- Maximální využití materiálu – jelikož výchozí materiál představuje více než polovinu celkových nákladů při metodě stříhání, je nezbytně nutné zařídit jeho co možná největší úsporu. Různé typy uspořádání (obr. 22) at' už jednoduchých, nebo složitých dílů poskytují příležitost a variabilitu, jak využít co možno největší procento polotovaru a minimalizovat tak přebytečný odpad. Samozřejmě čím vyšší je využití plechu, tím se finance na výrobu a celkovou údržbu nástrojů a zařízení zvedají. [36; 37; 50]
- Výše pracnosti a napět'ová vyváženost – zejména během výroby složitějších součástí, kdy nejde pouze o stříh, ale do technologické výroby vstupuje i např. ohyb či tažení, je nutné postupné rozvržení, v jakém chodu budou jednotlivé operace uskutečňovány. Současně se musí navzájem respektovat. [50]

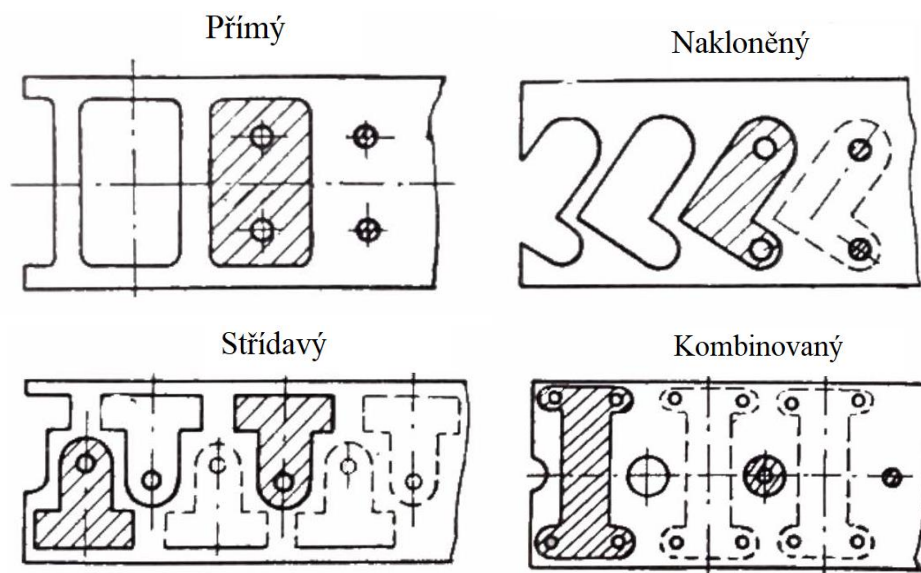
- Mechanizace a automatizace procesu – pro zajištění produktivity a efektivity, co se týče sériové či hromadné výroby, je potřeba uspořádat výrobky takovým způsobem, aby bylo možné zajistit jejich podávání a bezproblémová manipulace. [37; 50]
- Dodržení technologických požadavků - týká se především toho, aby zvolené rozvržení bylo schopno zajistit přesnost, správnost výsledného tvaru, směr vláken materiálu, orientaci ostrin apod. [36; 50]

Mezi jednotlivými výstřížky, nebo výstřížky a okrajem polotovaru, je dobré nechat přepážku (můstek – odpadní materiál), viz obr. 22, aby bylo dosaženo požadované kvality a tvaru. Velikost tohoto „přídavku“ závisí na tloušťce a druhu plechu, tvaru součásti nebo způsobu podávání. Můstky je možné zmenšovat, ale musí dodržet svou minimální hodnotu, která zaručí nezasažení stříhu jedné součásti do druhé. Je možné i přepážky kompletně vynechat, přičemž musí být zajištěna extrémně vysoká přesnost nástroje a podávacího systému. [37; 49]

Využití materiálu nebo celkovou hospodárnost vytvořeného nástřihového plánu, což by nemělo dosahovat výsledků nižších než 60 %, lze zjistit pomocí výpočtového vztahu [37; 53] :

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100, \quad (2.10)$$

kde: S_v – plocha výstřížků [mm^2],
 S_p – plocha polotovaru [mm^2].



Obr. 22 Variace nástřihových plánů s přepážkou [56].

2.1.6 Technologičnost stříhané součásti

Pojem, který zahrnuje veškeré nároky a požadavky, jejichž dodržením lze zajistit výrobu plně funkční součásti s vysokou výrobní hospodárností. Během plánování výroby je velmi důležité myslet jak na ekologické, technologické a technické funkce výstřížku (mechanické vlastnosti, rozměry, ergonomika, výrobní postup apod.), tak současně i v neposlední řadě na ekonomiku celého výrobního procesu. [49; 53] Při navrhování výroby vhodného dílu stříháním je nutné přihlížet k níže uvedeným zásadám [49; 53; 1]:

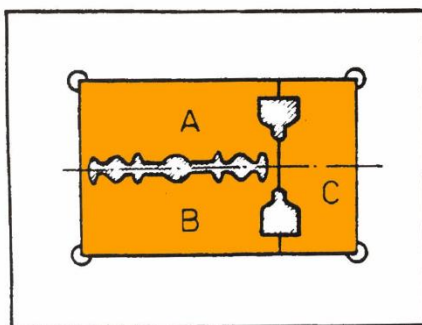
- Maximální využitelnost polotovaru – rozmístění vystřihovaných tvarů tak, aby bylo využito co možno nejvíce materiálu, a zabránilo se tak vzniku nechtěného odpadu.
- Dodržovat minimální vzdálenosti otvorů od kraje a mezi otvory samotnými.
- Kruhové výstřížky snižují využití materiálu.

- Využívat vhodné, pokud možno co nejjednodušší tvary pro stříhání za účelem úspory materiálu a nákladů na nástroje.
- Upřednostnit kruhové otvory před nekruhovými.
- Zajistit přesnost výstřížků v tolerančním poli IT8 – IT15.
- Drsnost střížné plochy Ra 6,3 až 3,2 μm .
- Dodržet 1,5násobek tloušťky materiálu štíhlých částí dílců nebo jejich vyčnívajících částí.
- Snaha dodržet srážení a zaoblení rohů.
- Pro měkké oceli nevolit otvory menší než \varnothing 1mm, pro tvrdé oceli volit průměr při děrování nad 1,5 mm.

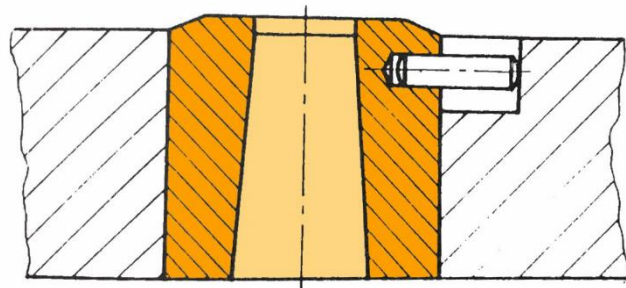
2.1.7 Střížné nástroje

Nástroj, taktéž během procesu stříhání nazýván stříhadlo, se skládá z několika činných prvků, které by jeden bez druhého nedokázaly samostatně operovat. Mezi hlavní části nástroje patří pohyblivý střížník, který je zpravidla zasazený do horní desky stříhadla, a pevně upnutá střížnice, jež se nachází na protilehlé straně zařízení. Základní operace, jako je děrování, nastříhování, vystříhování apod., pevně stojí na základech geometricky přesně orientovaného upevnění jednotlivých částí nástroje, s čímž přímo souvisí kvalita nastávajícího stříhu. [37, 50] Střížnice, která může být pro zvýšení odolnosti kalená nebo opatřena návarem samokalitelné slitiny, je přímo nebo nepřímě upnutá část nástroje k základové desce. Na základě velikosti, složitosti tvaru či technologii výroby je možné stavbu střížnice rozlišit na několik typů, jež jsou uvedeny níže v textu. [50; 54]

- Celistvá – skládá se z jednoho kusu materiálu, přičemž se hojně využívá nástrojová ocel. Využití si nachází primárně u výlisků menších rozměrů vykazující nenáročnou tvary, kde nehrozí vedlejší negativní projevy tváření složitých geometrií. [49; 54]
- Skládaná – pro tvarově složitější a rozměrově náročnější výstřížky nastává uplatnění střížnice zvané jako skládaná. Sestavuje se z několika kusů (obr. 23), kdy jejich výroba nepatří k nejlevnější záležitosti, ale její zaručená vyšší životnost, přesnost, snadnost výroby s následnou nenáročnou údržbou a menší zmetkovitostí plně obsáhne a naplní výši nákladů. Ke spodní desce je přichycena šrouby nebo kolíky, potažmo se využívá i vzájemného zalisování. Ideální prostředí je pak pro tento typ sériová a hromadná výroba dílů. [49; 54]



Obr. 23 Skládaná střížnice [54].

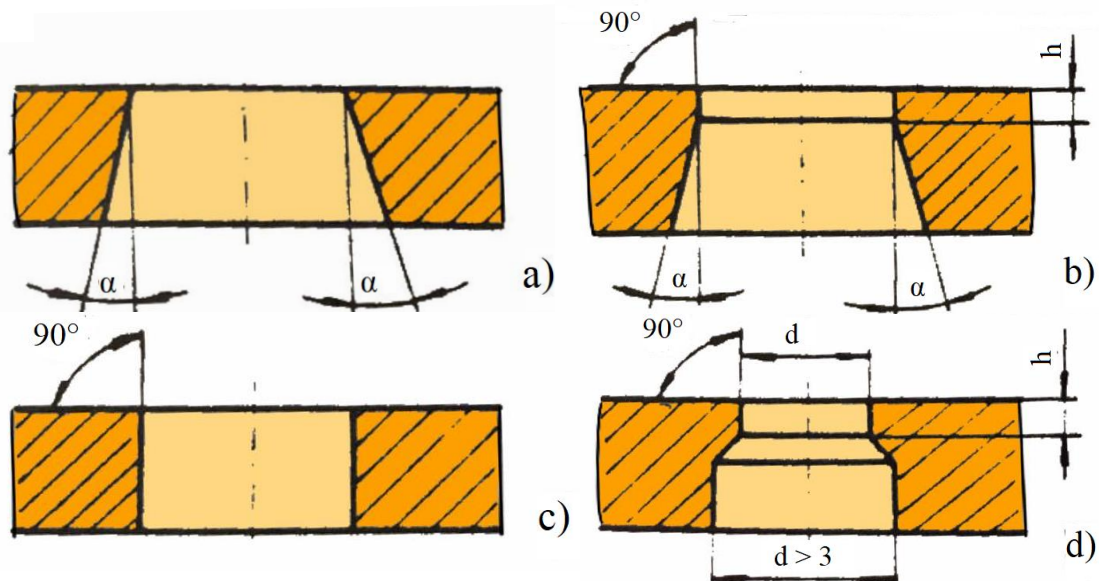


Obr. 24 Vložková střížnice [50].

- Vložkovaná – tato možnost se vyžaduje schopnostmi, a tedy i výhodami jako předchozí skládaná. Dochází zde k využití vložek (kalená nástrojová ocel nebo slituté karbidy), které během operace odebírají co největší práci segmentům z nástrojové oceli a zásadně tak zvyšují jeho celkovou životnost. Vložky, které kvůli broušení přesahují 3-5 mm,

musí být během celé operace pevně zajištěny, a to zejména při vracení se střížníku, kdy se u složitějších tvarů k zafixování sahá po perech, kolících apod., viz obr. 24. [54]

Podle geometrie se hrany střížnice dělí na několik možností. Konický tvar (obr. 25a), jenž nachází uplatnění u malých součástí se střední přesností. Úhel alfa se na základě tloušťky materiálu pohybuje mezi $10'$ a 1° . Konický s fazetkou (obr. 25b) si uplatnění nachází u vyšší sériovosti pro tvarově náročné, ale přesné výrobky. Úhel je mezi $3^\circ - 5^\circ$ a šířka fazetky od 3 – 15 mm pro plechy s tloušťkou 0,5 až 10 mm. Další v pořadí válcový tvar stříhá větší díly nebo výrobky, které je potřeba za pomoci vyhazovače vracet zpět nad střížnici, viz obr. 25c). Poslední válcový vybraný tvar (obr. 25d) je využíván pro děrování průměrů $d > 5$ mm, přičemž výška válce stejná jako šířka fazetky u předchozího konického. [50; 54; 55]



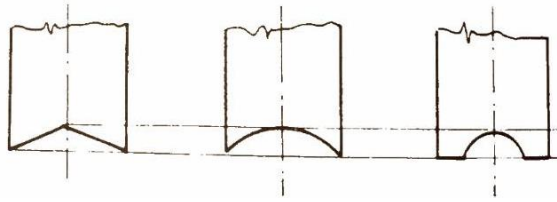
Obr. 25 Geometrický tvar střížnice [54].

Střížník je protipól střížnice a jeho silovým působením dochází k dělení materiálu. Jelikož při vystříhování je hlavním rozměrem rozměr střížnice, tak při děrování je tomu právě naopak. Primární je geometrie pohyblivého nástroje, který určuje finální rozměry dílu, jenž je předem specifikovaný. Tenké a malé střížníky se vyrábí zesílené z jednoho kusu nebo jsou vloženy do pouzdra. Větší nástroje bývají skládány z vícero částí, přičemž nosná aretační část je vyráběna z oceli konstrukční a zbytek, který půjde do kontaktu s materiálem, je konstruován z nástrojové. [49; 54; 55]

Rozdělit je lze podle několika faktorů. První z nich je tvar průřezu, kdy se dělí na kruhové, obdélníkové, čtvercové nebo různě tvarové. Jejich aretaci lze provést pomocí per, kalených vložek, kolíků apod. Dále pak na základě způsobu, jakým se střížník v nástroji upíná. Nutnost přesnosti a pevnosti uchycení se projeví na finální kvalitě výstřížku, proto je zásadní, aby se počítalo i s působící silou, která vzniká během zpětného pohybu nástroje. Výrazně zde záleží na velikosti, složitosti a četnosti výměn střížníku. Podle těchto kritérií se pak vybírá vhodná volba. Jednoduché tvary se uchycují roznýtováním nebo osazením. Větší střížníky se kotví přímo do kotevní desky s možným zapuštěním. Další možnosti jsou pak pomocí šroubů, klínů, kuliček, nebo pokud se plánuje často nástroj vyměňovat, tak lze vybrat rychloupínací střížníky. Z hlediska technologického použití je možné střížníky třídit na odstříhovací a přestihovací, vystříhovací a prostříhovací nebo odstříhovače. [50; 54]

Geometrická úprava střížníku nebo střížnic výrazně napomáhá ke snížení celkové velikosti střížné síly. Při operaci děrování dojde ke zkosení střížníku, protože při výrobě díry je cílená deformace situována na odpadní materiál, který nástroj oddělí. Při vystříhování je tomu právě

naopak, kdy se upraví střižnice, aby nedošlo k poničení výsledného výstřížku pohyblivou částí. Pro děrování se používají typy nástrojů zachycené na obr. 26. [49, 56]



Obr. 26 Možné úpravy nástrojů [54].

Střižníky je nutné kontrolovat na namáhání v tlaku (na otláčení), kde se počítá napětí vyvíjené na dosedací ploše. Pokud dojde u oceli k překročení 180 MPa, musí se dodat opěrná kalená deska, aby nedocházelo k otláčení. Dále je potřeba provést výpočty pro kontrolu na vzpěr. Ty se využívají pro zjištění kritické délky, kterou nesmí střižník přesáhnout, aby nedošlo k jeho poničení, nebo aby nezpůsobil okolní škody. [49; 54; 56]

Vztah pro napětí na dosedací ploše při kontrole na otláčení [49; 54]:

$$\sigma = \frac{F_S}{S_S} \leq \sigma_{dov}, \quad (2.11)$$

kde: F_S – střižná síla [N],
 S_S – dosedací plocha průřezu střižníku [mm²],
 σ_{dov} – dovolené namáhání v tlaku [MPa].

Vztah pro výpočet kritické délky **nevedeného** střižníku při kontrole na vzpěr [49; 54]:

$$L_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_S}}, \quad (2.12)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa],
 I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴], mění se podle tvaru průřezu,
 k_b – koeficient bezpečnosti [-], volí se 1,5 – 2.

Vztah pro výpočet kritické délky **vedeného** střižníku při kontrole na vzpěr [49; 54]:

$$L_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_S}}. \quad (2.13)$$

Při určování hlavních rozměrů střižníku a střižnice se musí brát v potaz i opotřebení nástrojů. Proto je zásadní při vystřihování přidat střižnici přídavek na opotřebení, protože zvětšením rozměru by docházelo k nepřesné výrobě. Během děrování naopak záleží na přesnosti rozměru střižníku, proto se tolerance situuje na něj. [37; 54]

Rozměr střižnice pro vystřihování [54]:

$$A_e = A_j - \Delta + \delta_e, \quad (2.14)$$

kde: Δ – tolerance otvoru [mm],
 A_j – jmenovitý rozměr výstřížku nebo otvoru [mm],
 δ_e – výrobní tolerance střižnice [mm].

Rozměr střižníku pro vystřihování [54]:

$$A_k = A_j - \Delta - 2 \cdot z_{min} - \delta_k, \quad (2.15)$$

kde: z_{min} – zaručená střižná mezera [mm],
 δ_k – výrobní tolerance střižníku [mm].

Rozměr střižnice pro děrování [54]:

$$A_e = A_j + \Delta + 2 \cdot z_{min} + \delta_e. \quad (2.16)$$

Rozměr střižníku pro děrování [54]:

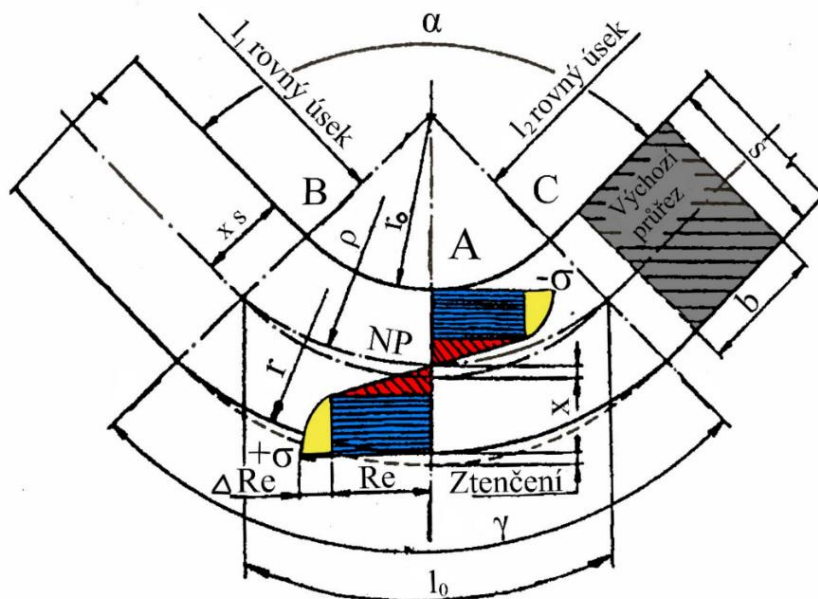
$$A_k = A_j + \Delta - \delta_k. \quad (2.17)$$

Pro kontrolu tloušťky (výšky) střižnice je možné použít následující vztah [52]:

$$H = \sqrt[3]{F_S}. \quad (2.18)$$

2.2 Ohýbání

Ohýbání je proces plošného tváření, díky kterému je zajištěna trvalá deformace základního materiálu, ať už se jedná o tyče, dráty nebo plechy. Změna tvaru polotovaru, resp. jeho úhlu ohybu nebo také křivosti, je zpravidla zapříčiněna vlivem působení lokální síly nebo vnějších ohybových momentů. V praxi mohou nastávat dvě situace. Právě proces ohýbání, kdy je materiálu vlivem napětí zmenšován poloměr zakřivení, a operace rovnání, během kterého se parametr křivosti naopak zvětšuje a vrací se do původního stavu. Obě varianty lze využít jak za studena, tak i za tepla, pokud se pracuje s tvrdšími, případně křehčími materiály. Mezi hlavní parametr, který výrazně ovlivňuje tváření součásti, patří ohybové napětí, jež musí překročit mez kluzu R_e , ale současně má zakázáno převýšit mez pevnosti v tahu R_m a to kvůli zachování soudržnosti materiálu. [40; 48; 49]

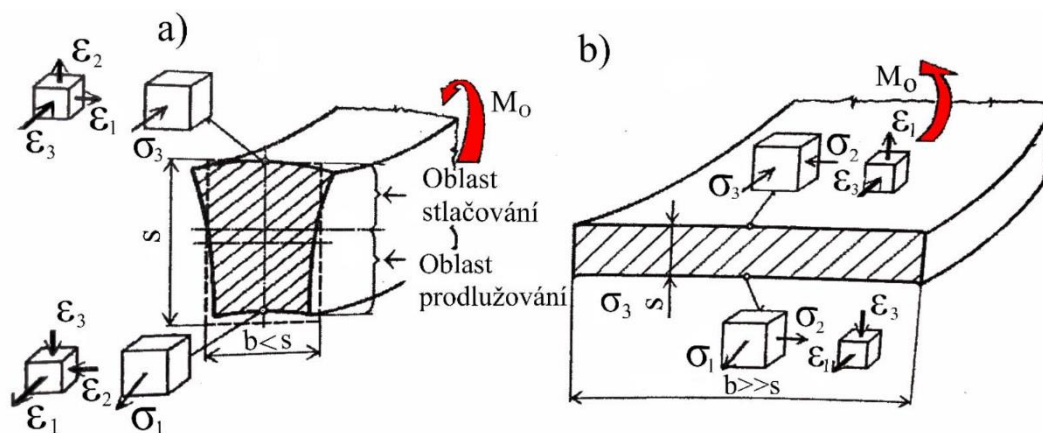


Obr. 27 Schéma ohýbání [46].

Nástroje pro zajištění trvalé deformace se nazývají ohýbadla a jsou složeny z dvou hlavních částí, ojedinele nazývány jako čelisti. Nesou název ohybník a ohybnice, která bývá zpravidla pevně upnuta a zaručena nepohyblivostí. V průběhu procesu dochází na vnitřní straně ohybu vlivem působení tlakového napětí ke stlačení materiálu v podélném směru a současně se rozšiřuje ve směru příčném. Na vnější straně působí tahové napětí, což materiál v tomto místě prodlužuje a v příčném směru souběžně zužuje. Jediná část, ve které po celou dobu během procesu není žádné napětí, se nazývá neutrální osa, respektive u plechu neutrální plocha. Je to tzv. spojnice mezi tlakovým a tahovým napětím. Své rozměry si zachová stejné od začátku do konce. Jediná změna probíhá v jejím posunu. Během operace se totiž tato plocha pohybuje

směrem k vnitřní straně ohybu tvářené součásti (obr. 27). Pomocí vlastností neutrální plochy je možné určit velikost polotovaru před uskutečněním ohybu, tzv. rozvin součásti. [40; 50; 1; 54] Ohýbání lze rozdělit na několik fází podle toho, jaká v dané situaci probíhá deformace. První fáze nastává tehdy, když je napětí σ menší než mez kluzu R_e . V tu chvíli může dojít pouze k pružné deformaci. Druhá fáze se vykazuje pružně plastickou deformací díky dosažení hodnoty napětí $\sigma \geq R_e$ a doba trvání se tak natahuje až do ukončení ohybu. Na obr. 27 je patrné, že oblast materiálu dále od neutrální plochy snadněji dosahuje napětí nutné k dosažení plastické deformace. Oblast pružné deformace ($\sigma < R_e$) je na obr. 27 vyznačena červenou výplní a část, jež se vykazuje plastickou deformací, je zaznamenána barvou modrou. Při tváření za studena lze uvažovat i se zpevněním materiálu díky napětí $R_e + \Delta R_e$ blízcí se hodnotě R_m , což je vyznačeno na obr. 27 barvou žlutou. [40; 1]

Napjatost a společně s ní výsledná deformace se přirozeně odvíjí od složitosti a rozměrových vlastností materiálů (poměr tloušťky a šířky). Jedná-li se o úzké plechy (obr. 28a), pro které platí $b < 3 \cdot s$ (b – šířka, s – tloušťka), je možné napětí ve směru šířky považovat za nulové $\sigma_2 = 0$. Napjatost se pak v nejkrajnějších bodech prokazuje jako jednoosý tah a tlak s prostorovou deformací. V oblasti, jež je ovlivňována tahem, se šířka materiálu zvětšuje, a v tlakové oblasti naopak zmenšuje. Široké plechy (obr. 28b) jsou definovány jako $b > 3 \cdot s$ a vykazují se rovinným stavem napjatosti ($\sigma_3 = 0$) a deformace. Nedochozí zde prakticky k žádné deformaci ve směru šířky plechu, a proto se nepočítá s ϵ_2 , což zapříčiňuje $\epsilon_1 = -\epsilon_3$ v tahovém pásmu materiálu a $-\epsilon_1 = \epsilon_3$ v tlakové části. [48; 1]



Obr. 28 Schéma napjatosti úzkých a širokých materiálů [48].

2.2.1 Odpružení

Odpružení je doprovodný jev, který se nesmí během procesu ohýbání opomíjet. Vyvolávají ho pružné deformace v okolí neutrální osy, které mají po odlehčení tendenci vracet materiál do původního stavu, ve kterém se nacházel před započítím operace. Právě odpružení způsobuje odlišnost ohnuté součásti od tvaru nástroje, kterým bylo tvářeno. Proto je důležité na tento jev brát ohled a na základě vybraných vztahů, případně diagramů (obr. 30) vhodně řešit volbu ohýbadel. Míra a velikost odpružení jsou závislé na mechanických vlastnostech základního materiálu, poloměru a úhlu ohybu (r_0 , α), tloušťce polotovaru s_0 , tvaru ohybu (U a V ohyb) nebo tlaku nástroje. Úhel odpružení je definován jako rozdíl mezi úhlem ohybu α a úhlem po odlehčení materiálu α' , viz obr. 29. Z obr. 30 je patrné, že čím více roste poměr r_0/s_0 a α/α' , tím lineárně nabývá i odpružení. [40; 46; 48; 1]

Přibližný úhel odpružení pro V ohyb lze vypočítat pomocí vztahu [1; 54]:

$$\beta = \arctg 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.19)$$

kde: l_v – vzdálenost mezi hranami ohybnice [mm],
 k – součinitel pro výpočet úhlu odpružení [-], viz Tab. 8,
 s – tloušťka plechu [mm],
 R_e – mez kluzu plechu [MPa],
 E – modul pružnosti v tahu [MPa].

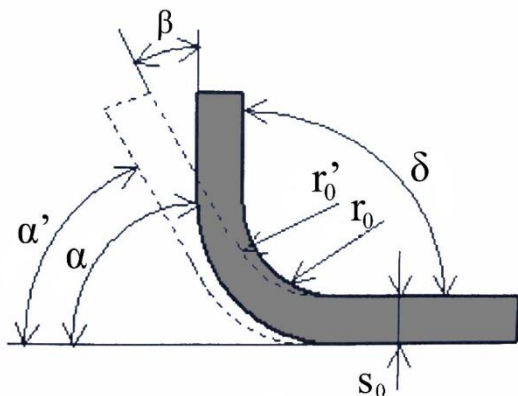
Pro přibližný úhel odpružení pro U ohyb lze využít následujícího vztahu [1; 54]:

$$\beta = \arctg 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.20)$$

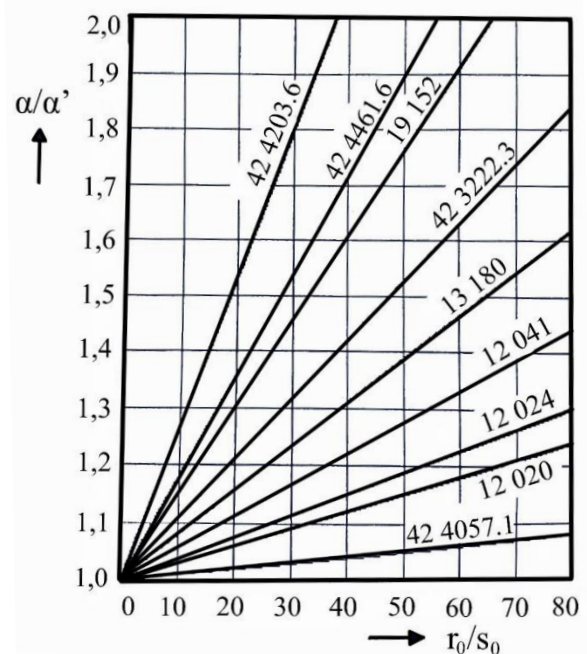
kde: l_u – rameno ohybu [mm],

$$l_u = r_m + r_p + 1,2s, \quad (2.21)$$

kde: r_m – poloměr ohybnice [mm],
 r_p – poloměr ohybníku [mm].



Obr. 29 Úhel odpružení [1].



Obr. 30 Typový diagram pro druhy materiálů [1].

Tab. 8 Součinitel pro výpočet úhlu odpružení k [54]:

r_0/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4-6	8-10	15-20
k	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,51	0,5

Omezit nebo kompletně eliminovat odpružení lze následujícími způsoby [40; 46; 1]:

- ohýbáním o větší úhel,
- změna konstrukce nástroje – podbroušení ohybníku, zaoblení ohybníku apod.,
- kalibrace – zvětšení síly nástroje ve finální fázi operace,
- vylisováním žebor pro vyztužení,
- postupné ohýbání.

2.2.2 Poloměry a vůle

Minimální poloměr R_{\min} je možné brát jako limitní hranici ohybu, která když bude překročena, tak vlivem převýšení meze pevnosti v tahu R_m bude docházet k porušení celistvosti tvářeného materiálu a to primárně na vnější straně polotovaru. Pro bezproblémový průběh operace musí být nejčastěji samotný proces prováděn napříč směru vláken ohýbaného plechu. Ostřiny vzniklé během stříhání jsou orientovány na vnitřní stranu ohybu, aby nezpůsobovaly roztahování součásti. Velikost parametru R_{\min} je výrazně ovlivňována mechanickými vlastnostmi a anizotropií materiálu, geometrií polotovaru, zvoleným způsobem ohýbání apod. Obvykle se v praktickém využití minimální poloměr R_{\min} ještě o 20 % navyšuje. [46; 48]

Výpočetní vztah pro minimální poloměr [46; 48]:

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c \cdot s, \quad (2.22)$$

kde: ε_{tmax} – trvalá proměnná deformace [-],

c – součinitel [-], volen na základě materiálu.

Maximální poloměr R_{\max} naopak umožňuje a způsobuje v krajních vrstvách trvalou deformaci ohýbaného materiálu. Kdyby nedošlo k jeho překročení, polotovar by se po odlehčení vracel do původní formy [46, 48].

Maximální poloměr ohybu lze vyjádřit následovným vztahem [46; 48]:

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right). \quad (2.23)$$

Další parametr, jenž významně ovlivňuje ohyb základního polotovaru, je vůle mezi činným ohybníkem a ohybnicí. Při „V“ ohybu je mezera mezi těmito činnými částmi nástroje zpravidla rovna tloušťce založeného polotovaru. Vůle během „U“ ohybu se volí na základě výšky tvářené stěny. Pokud je tento rozměr malý, vůle se stanoví jako hodnota tloušťky základního materiálu. Je-li ale stěna vyšší, pak je mezera mezi ohybníkem a ohybnicí ještě zvětšena, aby došlo ke snížení vznikajících tlaků. [48; 54; 57] Vůle pro „U“ ohyb se obecně stanoví na základě následujícího vztahu [54; 58]:

$$v = s + s \cdot c_1, \quad (2.24)$$

kde: c_1 – součinitel zahrnující vliv tření mezi součástmi a ohybnicí v závislosti na výšce stěny (ramene) [-], viz příloha 1, pro ocel se volí v rozmezí 0,05 – 0,15.

2.2.3 Síla a práce

Správná konstrukce nástroje a vhodný výběr pracovního stroje je jedna z povinností, které v konečném výsledku hrají jednu z nejdůležitějších rolí. Proto je nezbytně nutné, při ohýbání v ohýbadlech, vypočítat síly a celkovou práci, jež působí uvnitř samotného procesu. Lze rozeznat dva základní druhy ohybu. „V“ ohyb a „U“ ohyb. Oba typy jsou vyobrazeny na obr. 31 a obr. 32, kde je současně zachycen směr působení ohýbací síly F_o , která tvaruje polotovar do finální podoby. [48; 1]

Potřebná síla k provedení „V“ ohybu je vyjádřena pomocí následovného vztahu [48]:

$$F_{oV} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot r_0} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.25)$$

kde: b – šířka polotovaru [mm],

r_0 – poloměr ohybu (poloměr ohybníku) [mm],

α – úhel ohybu [°].

Potřebná síla k provedení „U“ ohybu je vyjádřena pomocí následovného vztahu [48]:

$$F_{OU} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{r_o + s}, \quad (2.26)$$

kde: f – součinitel tření [-].

Pro výpočet celkové síly F_{OC} je potřeba zjistit a započítat i další působící parametry. Pro zvýšení přesnosti se využívá síla kalibrační. K zabránění pohybu v průběhu procesu se pak započítává síla přidržovací. [1]

Výpočetní vztah pro kalibrační sílu [1]:

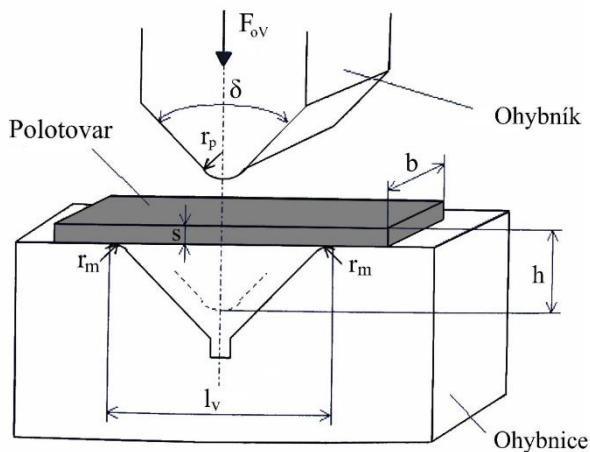
$$F_k = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o. \quad (2.27)$$

Výpočetní vztah pro přidržovací sílu [1]:

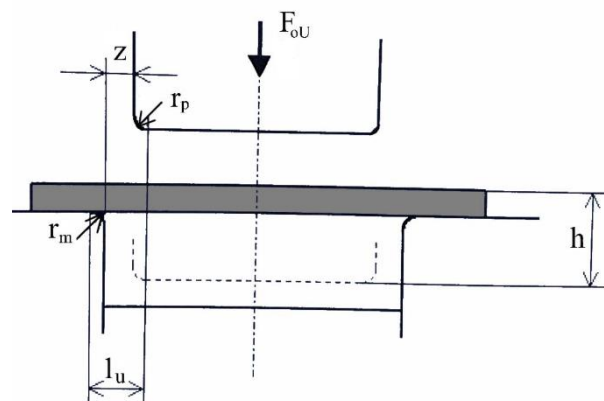
$$F_p = (0,25 \div 0,30) \cdot F_o. \quad (2.28)$$

Celková ohybová síla je vyjádřena pomocí následujícího vztahu [1]:

$$F_{OC} = F_o \cdot F_k \cdot F_p. \quad (2.29)$$



Obr. 31 Ohýbání do tvaru „V“ [1].



Obr. 32 Ohýbání do tvaru „U“ [1].

Velikost práce pro ohyb do tvaru „V“ i „U“ se vypočítá pomocí stejného vztahu [1]:

$$A_o = \frac{F_{OC} \cdot h \cdot \psi}{1000}, \quad (2.30)$$

kde: ψ – součinitel plnosti diagramu [-], v rozmezí 0,5 až 0,65,

h – dráha zdvihu ohybníku [mm].

2.2.4 Délka polotovaru

Pro přesnou a kvalitní výrobu zvolené součásti je potřeba stanovit exaktní délku polotovaru. Tento rozměr nelze zjistit pouze prostudováním výkresové dokumentace dílu, ale je potřeba jej postupně vypočítat. K tomu slouží již zmíněná neutrální plocha, u které rozměr zůstává po celou dobu tvářecího procesu konstantní. Rovné úseky polotovaru není nutné počítat a jejich velikost lze odečíst z výkresu. Naopak přetvořené úseky, resp. ohnuté části, jež se vykazují rádiusem, je potřebné dopočítat s pomocí znalostí o neutrální vrstvě, viz obr. 33. [46; 1]

Pro výpočet délky ohýbaných částí je požadována znalost poloměru neutrální plochy. Vztahy se liší na základě velikosti poloměru ohybu a šířky základního materiálu. [46] Pro tváření s velkými poloměry $r_0/s \geq 12$ je využíváno následujícího vzorce [46]:

$$\rho = r_0 + \frac{s}{2}. \quad (2.31)$$

Pro tváření s malými poloměry $r_0/s \leq 6$ je využíváno následujícího vzorce [46]:

$$\rho = \left(r_0 + \frac{s}{2}\right) \cdot z_z \cdot z_r, \quad (2.32)$$

kde: z_z – součinitel ztenčení [-],

$$z_z = s_1/s, \quad (2.33)$$

kde: s_1 – tloušťka materiálu po ohybu [mm],

z_r – součinitel rozšíření průřezu [-],

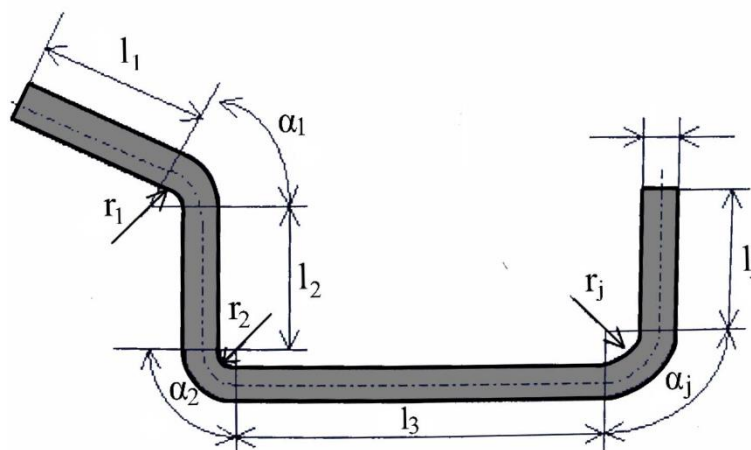
$$z_r = b_1/b, \quad (2.34)$$

kde: b_1 – šířka materiálu po ohybu [mm].

Při ohýbání širokých pásů plechu $b > 3 \cdot s$ lze použít vzorec, jenž využívá součinitele x , pomocí kterého je možné vyjádřit posun neutrální plochy [46, 1]:

$$\rho = r_0 + x \cdot s, \quad (2.35)$$

kde: x – součinitel posunu neutrální plochy [-], viz příloha 2.



Obr. 33 Délka polotovaru [1].

Pomocí vypočteného poloměru ρ lze využít následující vztah k vyjádření délky ohnuté části polotovaru [46]:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho, \quad (2.36)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku [°],

$$\gamma = 180^\circ - \alpha. \quad (2.37)$$

Na základě sečtení délek, rovinných a ohnutých částí dílu, se nakonec vyjádří celková délka polotovaru, a to podle vztahu [1]:

$$L = \sum_{n=1}^n l_{oi} + \sum_{n=1}^k l_{ji}, \quad (2.38)$$

kde: l_j – délka rovinného úseku [mm].

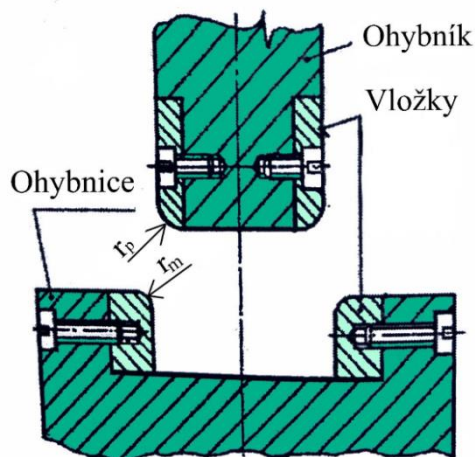
2.2.5 Technologičnost ohýbané součásti

Při navrhování specifického dílu je nutné respektovat a dodržovat určitá pravidla nebo zásady, jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole o stříhání. Proto je žádoucí, z hlediska jak tvarového, tak materiálového, vyhodnotit technologičnost tvářené součásti v okruhu ekonomickém, ekologickém, technickém apod. [1; 59] Během návrhu výroby ohýbáním je zapotřebí přihlížet k následujícím bodům [1; 54; 59]:

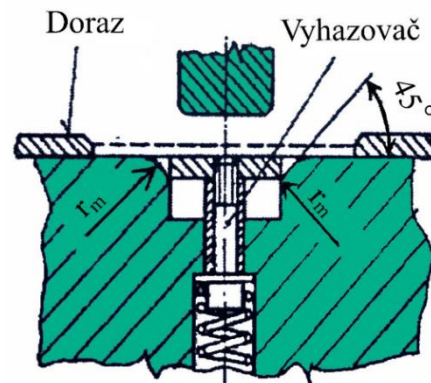
- Délka ohýbaného ramene musí dosahovat minimálně dvojnásobku tloušťky polotovaru.
- Vytvořené otvory musí být v dostatečné vzdálenosti od místa ohybu ($a = r_0 + 2 \cdot s$), aby nedošlo k jejich deformaci a narušení stability výrobku.
- Je nutné zpravidla povolit v místě ohybu ztenčení tloušťky materiálu o 20 %.
- Pro snížení odpružení volit co nejmenší poloměr ohybu nebo využít kalibrace.
- Pokud dochází k tváření složitých dílců, je nutné snížit počet ohybů na co možno nejmenší.
- Součást musí být během procesu pevně zafixována.
- Nezmenšovat tolerance, kterých by běžným ohýbáním nebylo možno dosáhnout.
- Osa ohybu je zpravidla orientována kolmo na směr válcování plechu.

2.2.6 Ohýbací nástroje

Nástroje pro ohýbání, neboli ohýbadla, se skládají ze dvou hlavních funkčních částí. Pohyblivá čelist, nejčastěji nazývána jako ohybník, a čelist pevná, vyskytující se pod názvem ohybnice. Přesnost konstrukce těchto prvků výrazně ovlivňuje celkovou kvalitu výsledné součásti a samotná výroba stojí na jejich technologických schopnostech. Ohybník a ohybnice se na základě tvaru a materiálu ohýbané součásti, vzniklého napětí a deformace nejčastěji dělí na nástroje pro ohyb do tvaru U a V. [48; 50; 54]



Obr. 34 Ohybník opatřený vložkami [48].



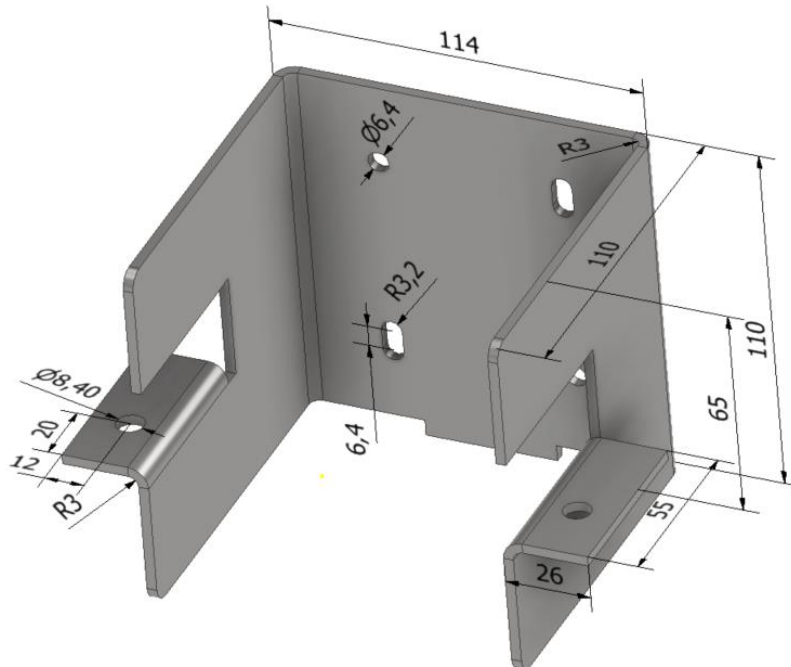
Obr. 35 Zkosení ohybnice [48].

Ohybník bývá kvůli zamezení nežádoucích pohybů obohacen o tzv. stopku, která může být u menších nástrojů jeho společnou součástí a být tak vyrobena z jednoho kusu materiálu. Povrch je pro zlepšení funkčnosti kalen a leštěn. Šířka nástroje a poloměr jeho zaoblení musí být minimálně takový, jakým se bude vykazovat finální díl. Popřípadě se využívá jejich úprav pro zajištění eliminace odpružení. Pro méně náročné ohyby se standartně nástroje vyrábí celistvé nebo dělené. Pokud je nutné provedení rozměrných součástí nebo snaha zvýšit odolnost proti opotřebení, sahá se po využití tzv. vložek, které bývají opět kalené nebo ze slinutých karbidů, viz obr. 34. [48; 50; 54]

Ohybnice jsou zpravidla umístěny na spodní části celkového zařízení. Jejich konstrukce je opět celistvá nebo dělená. Podle náročnosti výroby se využívá vyhazovačů a přídržovačů. V některých případech se objevují i nástroje z nepevného materiálu (pryž apod.). Obvykle jsou ale vyráběny z uhlíkových a nástrojových ocelí. Kvalitu součásti a velikost ohýbací síly výrazně ovlivňuje zaoblení hrany ohybnice r_m . Zpravidla se volí v rozmezí dvojnásobku až šestinásobku tloušťky tvářeného materiálu. Během ohybu plechu, který má tloušťku $s > 3$ mm, se hrana nástroje sráží pod 45° , v návaznosti na parametr r_p u pohyblivé části, viz obr. 35. V příloze 1. jsou uvedeny ideální zaoblení a hloubky čelistí pevné části nástroje, v závislosti na materiálu a parametru ramene. [48; 50; 54]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Spodní dojezdová kapsa posuvné brány bude vyráběna z nízkouhlíkové oceli DC01 (1.0330) o tloušťce 3 mm. Její maximální rozměry činí 114 x 110 x 3, jež jsou společně s ostatními parametry zakótovány na obr. 36. Jako zvolený způsob výroby, který vhodně kombinuje stříh a ohyb, byl určen postupový sdružený nástroj.



Obr. 36 Spodní dojezdová kapsa.

Před samotným návrhem výroby je nezbytně nutné provést kontrolu technologičnosti dílce. Je to z toho důvodu, aby byla zaručena přesná výroba jak z hlediska tvarového, tak i funkčního o požadované kvalitě. V případě jakékoliv nepřesnosti musí dojít k úpravě konstrukce dílce. Rozměrovou součástí není potřeba přísně tolerovat a dosažitelná výrobní tolerance IT9 – IT11 během procesu stříhání je naprosto dostačující. Technologičnost a limitní rozměry jsou stanoveny dle uvedených vztahů níže v textu.

Minimální vzdálenost mezi otvory a současně mezi otvory a okrajem součásti lze vyjádřit dle následujícího vztahu [1]:

$$a_k = 0,8 \cdot s = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ mm.} \quad (3.1)$$

Na základě výsledku je možné zkontrolovat vzdálenosti jednotlivých otvorů na vyráběné součásti. Nejmenší rozměr otvoru od kraje, případně otvoru od otvoru, činí 12 mm, což dostatečně splňuje podmínku na bezproblémovou výrobu.

Minimální a maximální poloměr ohybu jsou určeny dle vztahů (2.22) a (2.23):

$$R_{min} = c \cdot s = 0,55 \cdot 3 = 1,65 \text{ mm,}$$

kde: c – součinitel [-], pro ocel v rozsahu 0,5 až 0,6 [48], volen 0,55.

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{280} - 1 \right) = 1123,5 \text{ mm,}$$

kde: E – modul pružnosti v tahu pro uhlíkovou ocel 210 GPa [60]

R_e – mez kluzu [MPa], dle Tab.1.

Poloměry ohybu na součásti jsou 3 mm, což je i v případě nevhodného natočení vláken ohybu naprosto dostačující, jelikož limitní hodnota minimálního poloměru ohybu vyšla 1,65 mm. Současně je každý poloměr menší než 1123,5 mm, což poukazuje na bezproblémovou výrobu ohýbané kapsy.

Minimální délka ohýbaných ramen je vypočtena podle [1]:

$$b_r = 3 \cdot s = 3 \cdot 3 = 9 \text{ mm.} \quad (3.2)$$

Všechna ramena, jež vzniknou ohybem, jsou větší než limitní hodnota 9 mm, jelikož nejmenší rozměr na součásti činí 26 mm.

Na základě získaných výsledků je možné usoudit, že zvolená součást je plně vyrobitelná a veškeré požadavky a limitní rozměry jsou tedy splněny.

3.1 Rozvinutý tvar součásti

Výsledný tvar dojezdové kapsy je v podobě prostorovém. Pro postupnou výrobu je nutné tuto formu dílu převést do dvourozměrné podoby, a celý díl tedy rozvinout. Tato kapitola je tedy zaměřena na tvorbu výsledného rozvinu kapsy, což položí základy celkové sériové výrobě, která bude činit 100 000 kusů.

Na základě kapitoly 2.2.4 jsou určeny výsledné rozměry rozvinu, viz obr. 37. Rovinné úseky se během ohybu nepřetváří, tudíž bude jejich rozměr zachován stejný jako před samotnou akcí. Naopak u ohnutých částí polotovaru dochází k posunu neutrální osy, což způsobuje rozměrovou nerovnost. Z níže uvedených vztahů byly určeny finální rozměry, kterými se součást bude v 2D podobě vykazovat.

Jako první je potřebná znalost součinitele posunutí neutrální osy. Ten je stanoven na základě poměru poloměru ohybu a tloušťky materiálu, viz příloha 2.

$$\frac{r_0}{s} = \frac{3}{3} = 1 \rightarrow x = 0,41.$$

Všechny ohyby se u vyráběné dojezdové kapsy vykazují jak stejným poloměrem, tak i úhlem. To znamená, že je postačující jen výpočet jednoho součinitele posunutí neutrální osy. To stejné pak platí i pro kalkulaci poloměru neutrální plochy, kdy je výsledek aplikovatelný na veškeré ohyby, jež se na dílu nachází. Poloměr neutrální osy je vyjádřen a vypočítán následovně, a to dle vztahu (2.35):

$$\rho = r_0 + x \cdot s = 3 + 0,41 \cdot 3 = 4,23 \text{ mm.}$$

Délky ohnutých částí jsou dány výpočtem dle (2.36):

$$\begin{aligned} l_{o1} = l_{o2} = l_{o3} &= \frac{\Pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\Pi \cdot (180 - \alpha)}{180} \cdot 4,23 = \frac{\Pi \cdot (180 - 90)}{180} \cdot 4,23 = \\ &= 6,6445 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Díky získaným délkám ohnutých částí je umožněn výpočet délky celého rozvinu, přičemž dojde k využití pouze l_{o1} a l_{o2} , protože délka l_{o3} je ohýbána v příčném směru a nezpůsobuje změnu jak délkového, tak ani příčného rozměru. Využitím vztahu (2.38) je dosaženo délky rozvinu zvolené součásti.

$$\begin{aligned} L_1 &= \sum_{n=1}^n l_{oi} + \sum_{n=1}^k l_{ji} = l_{o1} + l_{o2} + l_{j1} + l_{j2} + l_{j3} = \\ &= 6,6445 + 6,6445 + 104 + 102 + 104 = 323,289 \text{ mm,} \end{aligned}$$

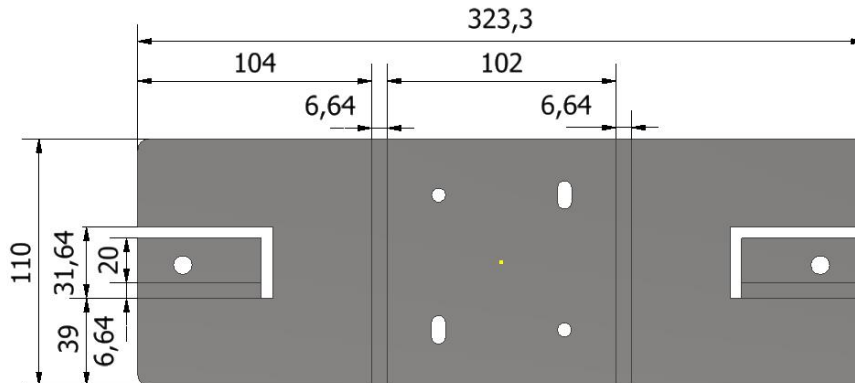
kde: $l_{j1,2,3}$ – délky ramen [mm], viz obr. 37.

Rozměr l_{o3} je následně použit k výpočtu délky nastřížení pro vyhnutí tzv. „pacek“, které obsahují otvor pro montáž dojezdových rolen. Opět je výpočet uskutečněn dle (2.38):

$$L_2 = \sum_{n=1}^n l_{oi} + \sum_{n=1}^k l_{ji} = l_{o3} + l_{j4} = 6,6445 + 20 = 26,6445 \text{ mm},$$

kde: l_{j4} – délka ramene packy [mm], viz obr. 37.

Na základě výpočtů byl stanoven délkový rozměr rozvinu dojezdové kapsy (obr. 36), který byl následně zaokrouhlen na finální hodnotu 323,3 mm. Dále byla vyjádřena hodnota potřebná pro výrobu pacek, která nijak neovlivňuje výslednou šířku rozvinu, jež zůstává 110 mm.

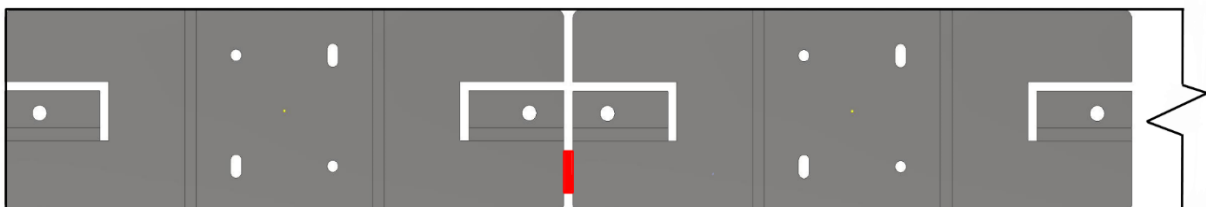


Obr. 37 Rozvin tvářené součásti.

3.2 Uspořádání výstřižků na páse

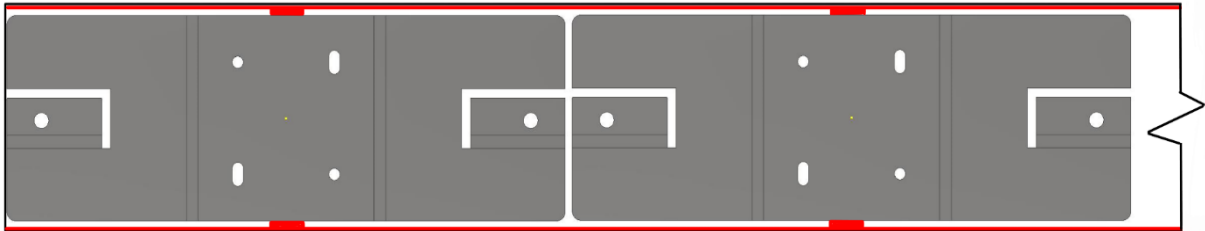
Pro následující výrobu kapsy je nesmírně důležité ideální uspořádání součástí na pás pohyblivého se plechu. Správné rozložení musí zohledňovat několik kritérií, jež je pro bezproblémovou výrobu a výslednou kvalitu nutné dodržet, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.5. V následující části práce jsou vybrány a rozebrány tři potenciálně využitelné varianty, jak by mohlo dojít k uložení dílu na pásu plechu tabule či svitku, pro výrobu v postupově sdruženém nástroji. Díky tomu, že je součást obdélníkového tvaru, se samotná volba výrazně zjednodušuje.

První možnost je umístění podélné. Na základě obr. 38 je patrné, že hlavní ohyb kapsy bude probíhat kolmo ke směru vláken polotovaru. Jedná se o pozitivní aspekt, kterým se tvarování v podélném směru v této situaci vykazuje. Není zde potřebné jakkoliv upravovat velikosti poloměru ohybu. Naopak negativní stránkou je nezbytná přítomnost materiálu mezi jednotlivými díly pro zaručení nepřerušovaného posuvu plechu až do poslední fáze procesu. Z tohoto důvodu je nemožné v posledním kroku provést ohyb U a tato možnost rozmístění součástí je zavrhnuta.



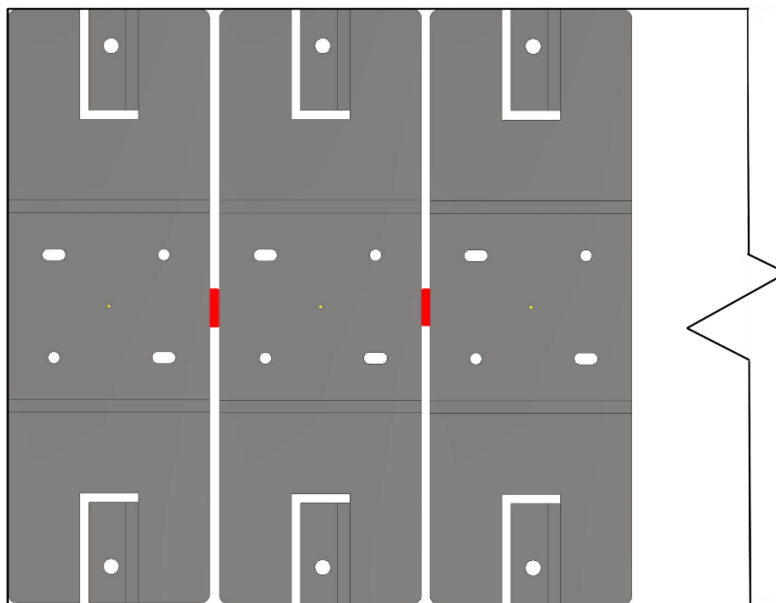
Obr. 38 Podélné uložení č. 1.

Druhou možností je opět uložení součástí podélně, ale tentokrát bude materiál pro vtahování plechu zanechán na podélné straně pásu, viz obr. 39. To už umožní konečný ohyb do tvaru U společně s odstřížením materiálu pro posuv. Z hlediska druhého se zde ale objevuje jiný problém a to plýtvání základním materiálem. Pro tuto variantu by totiž musel být volen širší plech, a tudíž by se snížilo celkové využití polotovaru. To by výrazně ovlivnilo ekonomiku celé výroby.



Obr. 39 Podélné uložení č. 2.

Třetí varianta je umístění příčné (obr. 40). Hlavní nevýhodou se zde ukazuje rovnoběžnost osy ohybu a směru vláken materiálu, což se nejeví jako úplně vhodná varianta. Musí se tedy zvětšit minimální poloměr ohybu, což je pro zvolenou možnost rozložení výrobku přijatelné. Zachována je zde použitelnost pro výrobu v postupově sdruženém nástroji. Jako hlavní silnou stránkou, oproti ostatním variantám, se zde vykazují vhodné umístění můstku, ze kterého se zanechává pro průběh výroby (posuv plechu) malý kousek, jak již bylo naznačeno i v přechozích variantách. Tuto část materiálu je možno bezproblémově oddělit při utváření U ohybu. Můstek na spodní straně kapsy lze dokonce i využít jako patku, viz obr. 36, pro vytvoření pevnějšího svaru.



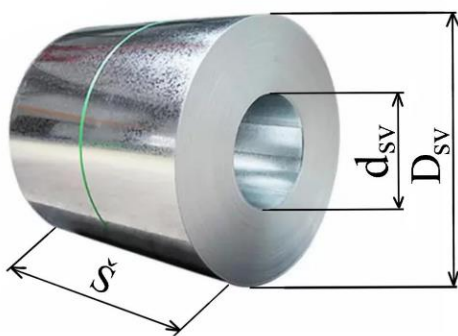
Obr. 40 Příčné uložení.

Použitelné možnosti jsou tedy druhá nebo třetí varianta. Pro ty bude následně vybrán polotovar a provedeny výpočty vedoucí k porovnání využitelnosti materiálu a celkové efektivity a hospodárnosti možné výroby.

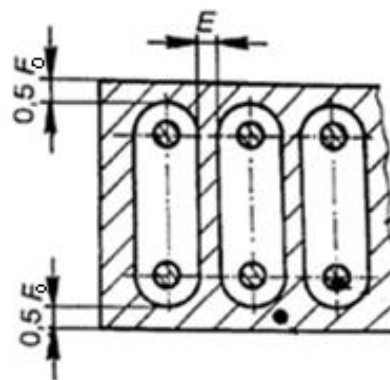
3.3 Volba polotovaru

Jako dalším krokem se ukazuje správná volba vkládaného polotovaru. Vzhledem k tomu, že se bude jednat o automatizovanou výrobu s pravděpodobným využitím podavače pásu plechu přímo do samotného nástroje, nebude se aktuální výroba soustředit na tabule plechu, ale jako hlavní polotovar je vybrán navinutý materiál do svitku. To výrazně zjednoduší manipulaci společně s jeho přípravou.

Polotovarem je tedy svitek (obr. 41). Dále je nutné ověřit, které uspořádání na páse bude, co se týče využitelnosti materiálu, nejvýhodnější. Porovnávány jsou podélné uložení č. 2 a varianta příčná. Plocha rozvinuté součásti S_v byla určena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2023. Na základě přílohy 3 byla určena velikost můstku e a bočního odpadu f_0 , viz obr. 42. Pro plech o tloušťce 3 mm a šířce větší než 100 mm, v obou případech, bylo stanoveno $e = 5$ mm a $f_0 = 11$ mm. Na ukázkou jsou následující výpočty provedeny pro pět součástí na jednom pásu plechu.



Obr. 41 Svitek plechu [61].



Obr. 42 Stanovení odpadu [37].

Vztah pro délku kroku při podélném uložení:

$$K_{po} = L_1 + e = 323,3 + 5 = 328,3 \text{ mm} . \quad (3.3)$$

Využití materiálu pro 5 kusů v podélném uložení dle (2.10):

$$\eta = \frac{N \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{5 \cdot 34\,382,112}{121 \cdot (5 \cdot 328,3)} \cdot 100 = 86,55 \%$$

kde: N – počet dílů [-].

Výpočet délky kroku pro příčné uložení:

$$K_{př} = \check{S}_s + e = 110 + 5 = 115 \text{ mm} , \quad (3.4)$$

kde: \check{S}_s – šířka rozvinuté součásti [mm].

Využití materiálu pro 5 kusů v příčném uložení dle (2.10):

$$\eta = \frac{N \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{5 \cdot 34\,382,112}{323,3 \cdot (5 \cdot 115)} \cdot 100 = 92,48 \%$$

Na základě vypočítaných výsledků bylo dokázáno, že nejvhodnějším uspořádáním z hlediska využitelnosti materiálu se prokazatelně jeví příčná varianta. Z hlediska technologického je tato možnost taktéž v postupově sdruženém nástroji uskutečnitelná, a proto se následující část práce bude zabývat pouze touto variantou a to tedy příčným uložení.

Dílec je naskládán na pás plechu příčně, jak je zachyceno na obr. 40. Využívaný materiál ve formě svitku je možné dodávat na míru s určitým omezením od zvoleného dodavatele. Šířka plechu bude volena podle rozvinu a to $\check{S} = 323,3$ mm na 3 mm tloušťky. Vnitřní průměr d_{sv} svitku je možné dodat do 600 mm a vnější průměr D_{sv} do 2000 mm. Proto je vnitřní průměr volen maximální $d_{sv} = 600$ mm a nejvýhodnější volba D_{sv} je zjišťována pomocí následujících vztahů. [62, 63] Jako vzorová hodnota je vybrán průměr $D_{sv} = 1600$ mm.

Hmotnost svitku lze vypočítat pomocí vztahu [62]:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S} \cdot \rho_{ocel} = \quad (3.5)$$

$$= \frac{\pi \cdot (1600^2 - 600^2)}{4} \cdot 323,3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 4\,385,185 \text{ kg},$$

kde: ρ_{ocel} – hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$] [64].

Výpočet délky svitku podle [62]:

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{\check{S} \cdot s \cdot \rho_{ocel}} = \frac{4\,385,185}{323,3 \cdot 3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 575\,958,648 \text{ mm}. \quad (3.6)$$

Vypočítanou délku svitku je možné zaokrouhlit na $L_{sv} = 575\,950$ mm, protože tak přesná délka není možná vyrobit.

Vztah pro výpočet počtu výstřížků z jednoho svitku [62]:

$$n_{vsv} = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{575\,950}{110 + 5} - 3 = 5\,005,26 \text{ ks}. \quad (3.7)$$

Ze vztahu byly odečteny tři díly. První součást je zaváděcí kus a další dva díly jsou odebírány z hlediska obtížného posunu plechu v posledních dvou krocích při dojezdu posledního materiálu plechu ze svitku. Počet kusů je potřeba zaokrouhlit a to tedy na $n_{vsv} = 5005$ ks.

Vztah pro počet svitků pro zvolenou sérii 100 000 ks [62]:

$$n_{sv} = \frac{N}{n_{vsv}} = \frac{100\,000}{5005} = 19,98 \text{ ks}. \quad (3.8)$$

Počet svitků musí být zaokrouhlen směrem nahoru, jelikož se musí objednat a zakoupit celé svitky. Jejich počet tedy činí $n_{sv} = 20$ ks.

Výpočet využití jednoho svitku dle [62]:

$$\eta_{sv} = \frac{n_{vsv} \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{5\,005 \cdot 35\,218,426}{186\,204\,635} \cdot 100 = 92,42 \%, \quad (3.9)$$

kde: S_{sv} – plocha svitku dle:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot \check{S} = 575\,950 \cdot 323,3 = 186\,204\,635 \text{ mm}^2. \quad (3.10)$$

Využití všech svitků pro sériovou výrobu [62]:

$$\eta_c = \frac{N \cdot S_v}{S_{sv} \cdot n_{sv}} \cdot 100 = \frac{100\,000 \cdot 35\,218,426}{186\,204\,635 \cdot 20} \cdot 100 = 92,32 \%. \quad (3.11)$$

Výpočty byly dále provedeny pro vnější průměry svitku o rozměrech 1400 mm a 1800 mm. Vzájemné porovnání je provedeno v Tab. 9.

Tab. 9 Porovnání využitelnosti plechů.

Vnější průměr svitku D_{sv} [mm]	1400	1600	1800
Vnitřní průměr svitku d_{sv} [mm]	600	600	600
Plocha výstřížku S_v [mm ²]	35 249,336	35 249,336	35 249,336
Hmotnost svitku m_{sv} [kg]	3 189,225	4 385,185	5 740,606
Délka svitku L_{sv} [mm]	418 870	575 950	753 980
Počet výstřížků z 1 svitku n_{vsv} [ks]	3639	5005	6553
Počet svitků pro sérii n_{sv} [ks]	28	20	16
Plocha svitku S_{sv} [mm ²]	135 420 671	186 204 635	243 761 734
Využití 1 svitku η_{sv} [%]	92,39	92,42	92,43
Celkové využití pro sérii η_c [%]	90,66	92,32	88,16

Z výsledků je patrné, že na danou sérii bude z hlediska využití materiálu nejvýhodnější využít svitek o rozměrech $D_{sv} = 1600$ mm a $d_{sv} = 600$ mm, kdy celkové využití dosahuje hodnoty 92,32 %. Ostatní varianty mají nižší procentuální využití a to zejména díky částečné nevyužitelnosti posledního svitku, jelikož při výpočtu užití na jeden svitek se hodnoty liší minimálně, a v případě použití varianty s $D_{sv} = 1800$ je dokonce tato hodnota o jednu setinu procenta výhodnější. Do výroby je tedy vybráno 20 svitků o tloušťce plechu 3 mm, $D_{sv} = 1600$ mm, $d_{sv} = 600$ mm a šířce 323,3 mm. Využitelnost hrubě přesahuje hranici 60 %, tudíž se daná výroba z ekonomického hlediska v budoucnu vyplatí.

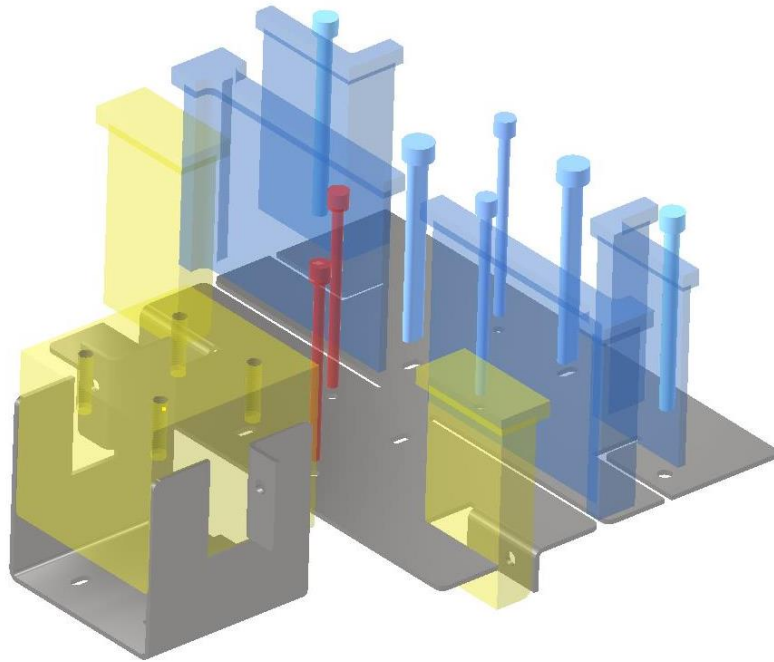
3.4 Výrobní postup

Po návrhu uspořádání součásti na páse a výběru vstupujícího polotovaru je možné přistoupit na bližší specifikaci výroby, a to konkrétně k detailnímu rozvržení jednotlivých kroků výroby dojezdové kapsy. Cílem je najít systematický sled událostí k tomu, aby došlo k vytvoření dílů do finálního tvaru bez jakýchkoliv vedlejších nechtěných aktivit. Jednotlivé kroky se taktéž nesmí navzájem ovlivňovat, aby nedocházelo k vytváření zmetků, případně výrobků, které by tvarově či rozměrově neodpovídaly. Snaha je taková, aby během výroby došlo k využití co možno nejméně postupových kroků za použití jednodušších vstupujících nástrojů. Ohyb bude probíhat jak v podélném, tak v příčném směru.

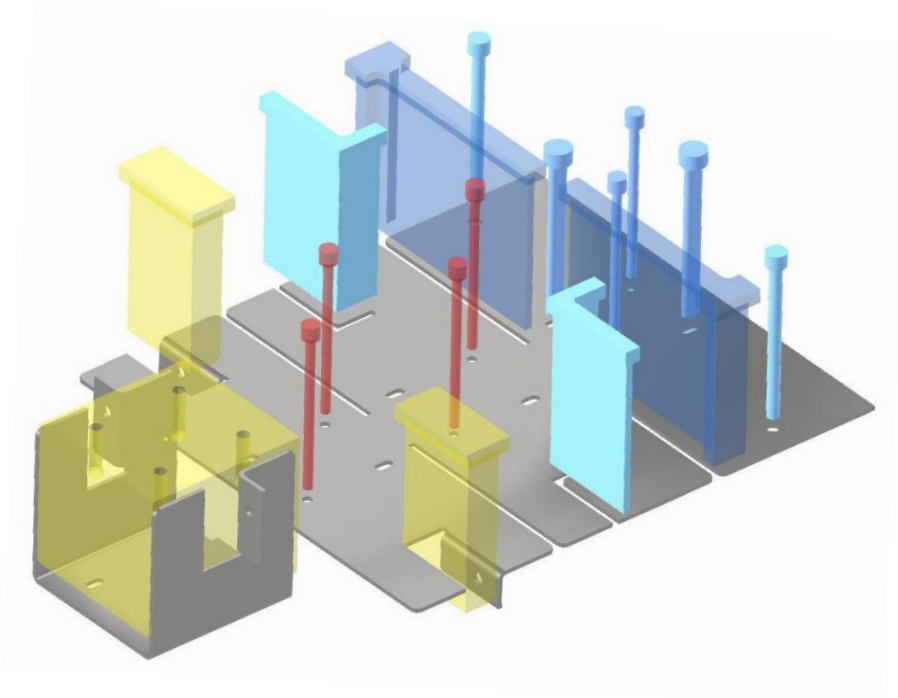
Pro zvolené příčné uspořádání byly navrženy tři výrobní postupy, ze kterých byl následně vybrán pouze jediný. Jedná se o rozvržení do tří až čtyř kroků se stejnou délkou kroku a to tedy $K = 115$ mm. Vybíráno je z následujících variant:

- Varianta A – v prvním kroku dojde k vystřížení otvorů $\varnothing 8,4$ mm pro dojezdové rolny. Dále se taktéž vystříhnou díry $\varnothing 6,4$ mm a oválné otvory pro uchycení konstrukce kapsy. Současně dochází k prostřížení mezery mezi jednotlivými díly zajišťující i zaoblení a nastřížení plechu do tvaru L pro následný ohyb. V druhém kroku dochází k použití hledáček a ohybu pacek směrem dolů do požadovaného úhlu. Krok třetí je zaměřen na odstřížení zbytkového můstku přes střížnou hranu se společným ohybem do tvaru U. Můstek je v tomto případě možné ponechat na výsledné součásti a využít jej jako podpora pro následující navařování nájezdové desky pro posuvnou bránu. Součást je nakonec pomocí zabudovaného vyhazovače vyrážena ven z nástroje. Schéma výroby je zachyceno na obr. 43.

- Varianta B – během prvního kroku jsou vystřihovány otvory $\varnothing 8,4$, $\varnothing 6,4$ a oválné otvory pro dodatečné manipulace s kapsou během její montáže. Současně nastává prostřížení mezi jednotlivými díly se zaoblením rohů. V kroku druhém je prováděno nastřížení plechu pro následný ohyb pacek za pomoci využití hledáček. V kroku třetím dochází k vyhnutí pacek do požadovaného úhlu směrem dolů a během poslední fáze, tedy kroku čtvrtého, nastává odštíření s ohybem do tvaru U. Na obr. 44 je vyobrazen postup výroby této varianty.

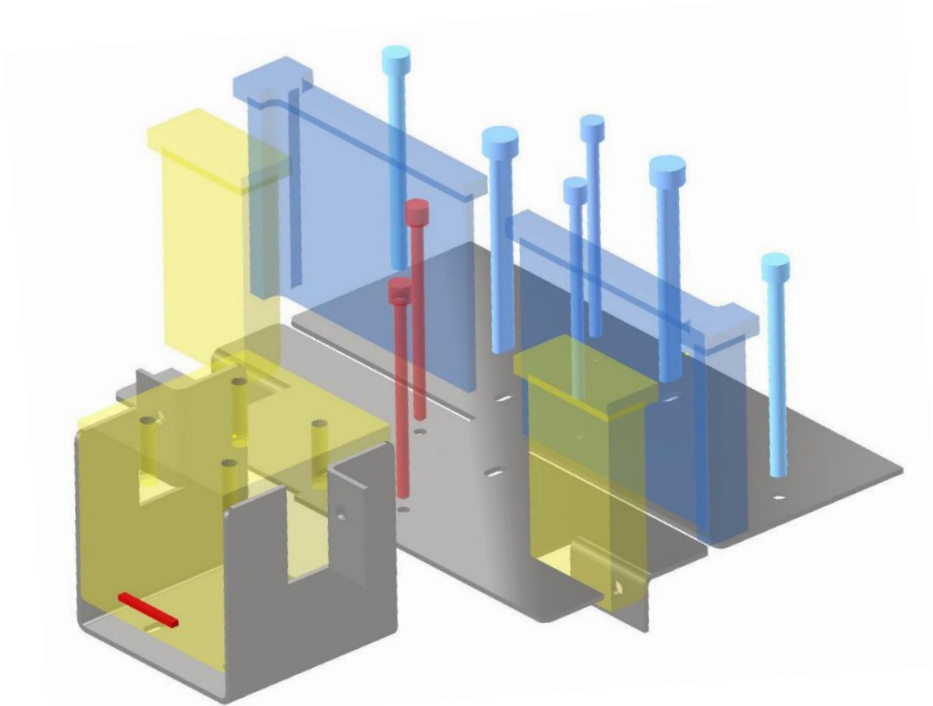


Obr. 43 Výrobní postup A.



Obr. 44 Výrobní postup B.

- Varianta C - první krok je zaměřený na vystřížení otvorů $\varnothing 8,4$ pro posuvné rolny. Dále jsou zde stříhány i otvory $\varnothing 6,4$ a oválné otvory sloužící k již zmíněné variabilitě během montáže. Společně s otvory nakonec nastává i nastřížení materiálu mezi součástmi se zaoblením rohů. Druhý krok slouží, za použití hledáček, ke stříhu do tvaru L a ohybu pavec směrem dolů na jeden zdvih, a to za pomoci jednoho společného nástroje, jenž kombinuje právě tyto dva zmíněné procesy. Během třetího kroku nastává odstřížení materiálu, jenž zajišťuje posuv plechu, přes střížnou hranu a následuje ohyb do tvaru U, orientovaný směrem dolů. Poslední možnost je vykreslena na obr. 45.



Obr. 45 Výrobní postup C.

Na první pohled se všechny tři možnosti jeví jako použitelné a aplikovatelné. Nejvíce pak varianta C, kde dochází v druhém kroku ke sloučení stříhu a ohybu, což by zajistilo využití jednoho nástroje pro obě operace najednou. Problém ale nastává při posuvu plechu z fáze druhé do fáze třetí, kde střížnice zabraňuje celkovému pohybu, kvůli vyhnuté pavec. Zůstává tedy možnost A, případně B. Jediná varianta, u které je zapotřebí více než tři kroky, je B. Jelikož by kvůli jedné fázi navíc muselo dojít k celkovému zvětšení postupově sdruženého nástroje, s čímž může přímo souviset i následná volba stroje, tak je výrobní postup B z hlediska navýšení vstupních nákladů na tvorbu nástroje taktéž zamítnut. Jako ideální výběr se prokázala možnost A, která disponuje pouze třemi kroky a relativně jednoduchými nástroji. Práce se tedy bude zabývat výrobním postupem A.

4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Aby mohl být vybrán a zvolen stroj společně s postupově sdruženým nástrojem, musí být provedeno hned několik technologických výpočtů. První jsou uvedeny, vypočteny a vyjádřeny výsledky spjaté s metodou stříhání a poté ohýbání. Dále je, v případě využití doplňujících prvků, kapitola rozšířena o doprovodné výpočty, jenž je nutné početně opět prošetřit. Nechybí ani kontrolní a toleranční rozměry.

4.1 Výpočty pro technologii stříhání

V první fázi jsou provedeny výpočty spojené s technologií stříhání, která v pracovním postupu předchází ohybu. V následujících podkapitolách jsou obsaženy výsledky působících sil, prací a kontrolních výpočtů spjatých s metodou. Pro správné výsledky bylo na začátku potřeba vyjádřit základní parametry, jenž jsou uvedeny níže.

Pevnost materiálu ve stříhu dle (2.2):

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 410 = 328 \text{ MPa},$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu [MPa], z důvodu bezpečnosti volena nejvyšší hodnota $R_m = 410$ MPa, viz Tab. 1.

Střížná vůle dle (2.1):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,025 \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{328} = 0,87 \text{ mm}.$$

4.1.1 Výpočet střížné síly a práce

Pro určení celkové střížné síly je nutné zjistit silové účinky jednotlivých nástrojů, které figurují v postupovém sdruženém nástroji. Veškeré výpočty jsou prováděny pro ocel DC01 a z jejich sečtení je možné určit celkovou práci, jež je potřeba vykonat pro úspěšný průběh střížných operací. Jednotlivé síly se stanoví dle (2.4) a (2.5).

Výpočet střížné síly pro děrování otvoru $\varnothing 8,4$ v kroku č. 1:

$$F_{s1} = S_1 \cdot \tau_s \cdot n = l_1 \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = (2\pi \cdot 4,2) \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 33\,757,293 \text{ N},$$

kde: n – voleno 1,3.

Výpočet střížné síly děrování otvoru $\varnothing 6,4$ v kroku č. 1:

$$F_{s2} = S_2 \cdot \tau_s \cdot n = l_2 \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = (2\pi \cdot 3,2) \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 25\,719,84 \text{ N}.$$

Výpočet střížné síly pro posuvné otvory v kroku č. 1:

$$F_{s3} = S_3 \cdot \tau_s \cdot n = l_3 \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 32,9062 \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 42\,093,6 \text{ N},$$

kde: l_3 – určeno z programu Inventor 2022.

Výpočet střížné síly pro prostříh mezi díly se zaoblením rohů v kroku č. 1:

$$F_{s4} = S_4 \cdot \tau_s \cdot n = l_4 \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 319,008 \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 408\,075,034 \text{ N},$$

kde: l_4 – určeno z programu Inventor 2022.

Výpočet střížné síly pro nastřížení packy do tvaru L v kroku č. 1:

$$F_{s5} = S_5 \cdot \tau_s \cdot n = l_5 \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 178,28 \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 228\,055,776 \text{ N}.$$

Výpočet síly pro odstřížení materiálu zaručující plynulý posuv v kroku č. 3:

$$F_{s6} = S_6 \cdot \tau_s \cdot n = l_6 \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = (40) \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 51\,168 \text{ N}.$$

Celková střižná síla střižníků potřebná k výrobě dojezdové kapsy je vypočtena součtem jednotlivých sil, které do procesu vstupují. Na základě jejich počtů případně opakování jsou síly v následujícím vzorci násobeny:

$$\begin{aligned}
 F_s &= \sum_{i=1}^6 F_{si} = 2 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + 2 \cdot F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + 2 \cdot F_{s5} + F_{s6} = & (4.1) \\
 &= 2 \cdot 33757,293 + 2 \cdot 25719,84 + 2 \cdot 42093,6 + \\
 &\quad + 2 \cdot 408075,034 + 2 \cdot 228055,776 + 51168 = \\
 &= 1\,526\,571,086 \text{ N.}
 \end{aligned}$$

Dále je nutností stanovit velikosti protlačovací a stírací síly, které se dále započítají do výsledku celkové střižné síly.

Výpočet protlačovací síly dle (2.6):

$$\begin{aligned}
 F_{pr} &= c_2 \cdot F_s = 0,05 \cdot 1\,526\,571,086 = 76\,328,554 \text{ N,} \\
 \text{kde: } c_2 &\text{ – součinitel protlačení [-], volen 0,05 pro ocel.}
 \end{aligned}$$

Výpočet stírací síly dle (2.7):

$$\begin{aligned}
 F_{st} &= c_{st} \cdot F_s = 0,1 \cdot 1\,526\,571,086 = 152\,657,109 \text{ N,} \\
 \text{kde: } c_{st} &\text{ – součinitel stírání [-], volen 0,1 podle Tab. 6.}
 \end{aligned}$$

Celková střižná síla je stanovena dle (2.8):

$$\begin{aligned}
 F_{sc} &= F_s + F_{pr} + F_{st} = 1\,526\,571,086 + 76\,328,554 + 152\,657,109 = \\
 &= 1\,755\,556,749 \text{ N.}
 \end{aligned}$$

Velikost celkové střižné práce je vypočítána dle (2.9):

$$A_{sc} = \frac{s \cdot \lambda \cdot F_{sc}}{1000} = \frac{3 \cdot 0,55 \cdot 1\,755\,556,749}{1000} = 2\,896,669 \text{ J.}$$

4.1.2 Kontrolní výpočty

Při působení nástroji dochází vlivem vysokých sil k namáhání střižníku a střižnice, a proto je potřeba provést kontrolu funkčnosti a další kontrolní výpočty, pomocí kterých je možné a předejít potenciálnímu riziku. Na základě výsledku je možné části nástroje vhodně upravovat.

Jako první je potřeba zkontrolovat střižník s nejmenším rozměrem na otláčení. Do vzorce (2.11) je tedy dosazena dosedací plocha průřezu střižníku $\varnothing 6,4$ mm:

$$\sigma = \frac{F_{s2}}{S_2} \leq \sigma_{dov} \Rightarrow \frac{25\,719,84}{\frac{\pi \cdot 12^2}{4}} \leq 180 \Rightarrow 227,4 \text{ MPa} \not\leq 180 \text{ MPa.}$$

Na základě výsledku je možné usoudit, že by bez použití vyztužení došlo k deformaci upínací desky. Proto je nutné použít kalenou desku, aby k tomu v celém nástroji nedošlo. Další kontroly na otláčení nejsou nutné.

Další výpočet, který je zapotřebí provést, je kontrola střižníků na vzpěr. To je přednostně provedeno u nejmenšího střižníku, jelikož ten má největší tendenci ztrácet vzpěrnou stabilitu. Výpočet kontroly na vzpěr pro střižník $\varnothing 6,4$ mm dle (2.13):

$$L_{krit2} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_2}{k_b \cdot F_{s2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 82,35}{1,5 \cdot 25\,719,84}} = 133,03 \text{ mm,}$$

$$\text{kde: } I_2 \text{ – moment setrvačnosti, } I_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6,4^4}{64} = 82,35 \text{ mm}^4. \quad (4.2)$$

Délka nástroje nesmí tedy překročit 133,03 mm, aby byla zajištěna jeho bezproblémová funkčnost.

Dále je ještě proveden výpočet na vzpěr pro střížník, který prostřihává díly, jelikož je úzký a dlouhý. U něj je vhodně dimenzované zesílení. Provádí se pouze kontrola vzpěrné stability u nezesílené části nástroje. Pro výpočet je použita pouze délková část střížníku. Velikosti stran průřezu činí $a = 5$ mm a délka $b = 141,65$ mm. Pro tuto novou plochu by bylo potřeba vypočítat novou střížnou sílu $F_{s4'}$:

$$F_{s4'} = S_{4'} \cdot \tau_s \cdot n = l_{4'} \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = (293,3) \cdot 3 \cdot 328 \cdot 1,3 = 375\,189 \text{ N}.$$

Moment setrvačnosti průřezu je zde vyjádřen pomocí vzorce [54]:

$$I_{4'} = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{141,65 \cdot 5^3}{12} = 1\,475,52 \text{ mm}^4. \quad (4.3)$$

Výpočet kontroly střížníku na vzpěr:

$$L_{krit4'} = \sqrt{\frac{4 \cdot \Pi^2 \cdot E \cdot I_{4'}}{k_b \cdot F_{s4'}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \Pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1\,475,52}{1,5 \cdot 375\,189}} = 147,432 \text{ mm}.$$

Délka nástroje pro prostřih plechu mezi součástmi musí být menší než 147,432 mm. To je při návrhu střížníku dodrženo.

Pro samotnou výrobu střížného nástroje je podstatnou informací znalost výšky střížnice. Vyrobila-li by se výška, resp. tloušťka střížnice menší, než je požadovaná na základě výpočtu, hrozila by její možná deformace. Minimální výška střížnice je vypočítána dle (2.18):

$$H = \sqrt[3]{F_{sc}} = \sqrt[3]{1\,755\,556,749} = 120,63 \text{ mm}.$$

Nejmenší možná tloušťka střížnice činí 120,63 mm. Jelikož se předpokládá, že bude tato část nástroje ležet na základové desce, je možné tento rozměr tedy zmenšit.

4.2 Výpočty pro technologii ohýbání

Druhá část výpočtů patří technologii ohýbání, která je prováděna ve druhé a třetí fázi výrobního postupu. V obou případech se jedná o U ohyb, který je pokaždé proveden na jeden zdvih. Před samotnými výpočty je vhodné vyjádřit velikost ohybové vůle a následně i odpružení, které svým zastoupením může značně ovlivnit hodnotu celkové ohybové síly.

Výpočet ohybové vůle pro „U“ ohyb dle (2.24):

$$v_0 = s + s \cdot c_1 = 3 + 3 \cdot 0,1 = 3,3 \text{ mm}.$$

Velikost odpružení pro „U“ ohyb v 2. kroku výrobního procesu je vyjádřena dle (2.20):

$$\begin{aligned} \beta &= \arctg 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = \arctg 0,75 \cdot \frac{12,6}{0,58 \cdot 3} \cdot \frac{280}{2,1 \cdot 10^5} = 0,4149 \\ &= 0^\circ 24' 53'', \end{aligned}$$

kde: R_e – mez kluzu plechu volen z Tab. 1,

l_u – rameno ohybu dle (2.21), hodnoty určeny pomocí přílohy 1,

$$l_u = r_m + r_p + 1,2s = 3 + 6 + 1,2 \cdot 3 = 12,6 \text{ mm}.$$

Velikost odpružení pro „U“ ohyb v 3. kroku určena:

$$\begin{aligned}\beta &= \arctg 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = \arctg 0,75 \cdot \frac{18,6}{0,58 \cdot 3} \cdot \frac{280}{2,1 \cdot 10^5} = 0,6125 \\ &= 0^\circ 36' 44''.\end{aligned}$$

Na základě získaných hodnot odpružení je možné usoudit, že vypočtené hodnoty dosahují relativně nízkých hodnot. Jelikož obě ohnuté části budou sloužit pouze k zafixování posuvné brány, není na nich vyžadována nijak vysoká přesnost výroby. Pro hodnotu $0^\circ 36' 44''$ by pro zpřesnění mohlo být využito kalibrace. Ta je ale z hlediska konstrukce 3. kroku, kde bude využit vyhazovač s pružinami, zamítnuta. Proto je vznikající odpružení považováno za přijatelné a do výpočtů ohybových sil kalibrační síla nevstupuje.

4.2.1 Ohýbací síly a ohybová práce

Pro určení celkové ohýbací síly a práce je zapotřebí zjistit silové účinky jednotlivých nástrojů, které v postupovém sdruženém nástroji zastupují svou roli. Sečtením vypočtených sil v 2. a 3. kroku je možné určit celkovou práci, již je potřeba vykonat pro bezchybný průběh ohybových operací.

Ohybová síla v 2. kroku pro ohyb pacek stanovena dle (2.26):

$$F_{oU2} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{r_0 + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{55 \cdot 3^2 \cdot 280}{3 + 3} = 24\,255 \text{ N},$$

kde: f – součinitel tření pro ocel a ocel [65].

Potřebná přidržovací síla vypočtena dle (2.28):

$$F_{p2} = (0,25 \div 0,30) \cdot F_{oU2} = 0,25 \cdot 24\,255 = 6\,063,75 \text{ N}.$$

Výpočet celkové ohybové síly pro „U“ ohyb v 2. kroku dle (2.29):

$$F_{oC2} = F_{oU2} \cdot F_k \cdot F_{p2} = 24\,255 + 6\,063,75 = 30\,318,75 \text{ N}.$$

Ohybová síla v 3. kroku pro výsledný „U“ ohyb kapsy určena:

$$F_{oU3} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{r_0 + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{110 \cdot 3^2 \cdot 280}{3 + 3} = 94\,710 \text{ N}.$$

Výpočet potřebné přidržovací síly:

$$F_{p3} = (0,25 \div 0,30) \cdot F_{oU3} = 0,25 \cdot 94\,710 = 23\,677,5 \text{ N}.$$

Celková ohybová síla pro „U“ ohyb v 3. kroku vypočtena:

$$F_{oC3} = F_{oU3} \cdot F_k \cdot F_{p3} = 94\,710 + 23\,677,5 = 118\,387,5 \text{ N}.$$

Celková ohybová síla potřebná k výrobě dojezdové kapsy je opět vyjádřena součtem jednotlivých sil. V 2. kroku probíhá ohyb obou pacek zároveň, což znamená potřebu dvou ohybníků. Proto bude váha F_{oC2} zdvojnásobena.

Celková ohybová síla v 2. a 3. kroku se vyjádří:

$$\begin{aligned}F_{oC} &= \sum_{i=2}^3 F_{oi} = 2 \cdot F_{oC2} + F_{oC3} = 2 \cdot 30\,318,75 + 118\,387,5 = \\ &= 179\,023,5 \text{ N}.\end{aligned}\tag{4.4}$$

Dále je potřeba zajistit výpočet jednotlivých prací. Na základě vzorce (2.30) jsou určeny velikosti sil zvláště pro každý krok, a následně pak sečteny do celkové ohybové práce při výrobním procesu.

Výpočet ohybové práce v 2. kroku:

$$A_{o2} = \frac{F_{oc2} \cdot h_{U2} \cdot \Psi}{1000} = \frac{30\,318,75 \cdot 26 \cdot 0,55}{1000} = 433,56 \text{ J},$$

kde: h_{U2} – dráha zdvihu ohybníku, volena dostatečně podle délky packy.

Výpočet ohybové práce v 3. kroku:

$$A_{o3} = \frac{F_{oc3} \cdot h_{U3} \cdot \Psi}{1000} = \frac{118\,387,5 \cdot 49 \cdot 0,55}{1000} = 3\,190,543 \text{ J},$$

kde: h_{U3} – dráha zdvihu ohybníku, viz příloha 1,

$$h_{U3} = l_o + 2 \cdot r_0 + s = 40 + 2 \cdot 3 + 3 = 49 \text{ mm}. \quad (4.5)$$

Celková ohybová práce v nástroji:

$$A_{oc} = \sum_{i=2}^3 A_{oci} = 2 \cdot A_{oc2} + A_{oc3} = 867,12 + 3\,190,543 = 4\,057,663 \text{ J}. \quad (4.6)$$

4.3 Síla a práce pružin

Celková tvářecí síla je nepatrně ovlivněna i pružnými elementy. Ty se v tomto nástroji nachází na jednom místě a to konkrétně v 3. kroku u „U“ ohybu. Plní zde jak přidržovací funkci, tak i vyhazovací, což zapříčiní finální vyhození součásti. Byly zvoleny dvě speciální šroubové pružiny, jejichž bližší informace jsou v příloze 4 [66].

Výpočet síly pružiny [66]:

$$F_{pruž} = R \cdot h_{pruž} = R \cdot (L_{pr0} - L_{pr1}) = 15,8 \cdot (102 - 53) = 774,2 \text{ N}, \quad (4.7)$$

kde: R – tuhost pružiny [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$], voleno z přílohy 4,

L_{pr0} – délka nestlačené pružiny [mm], viz příloha 4,

L_{pr1} – délka pružiny po stlačení o $h_{U3} = 49 \text{ mm}$ [mm].

Síla potřebná ke stlačení pružiny o požadovanou zdvihovou délku 49 mm je 774,2 N, což je nutné zdvojnásobit, protože dochází k využití 4 stejných pružin. Proto je celková síla pružin zvětšena na 3 096,8 N.

Práce pružin je vyjádřena stejně jako u ohybu a to:

$$A_{pruž} = \frac{h_{pruž} \cdot F_{pruž} \cdot \Psi}{1000} = \frac{49 \cdot 3\,096,8 \cdot 0,55}{1000} = 83,46 \text{ J}. \quad (4.8)$$

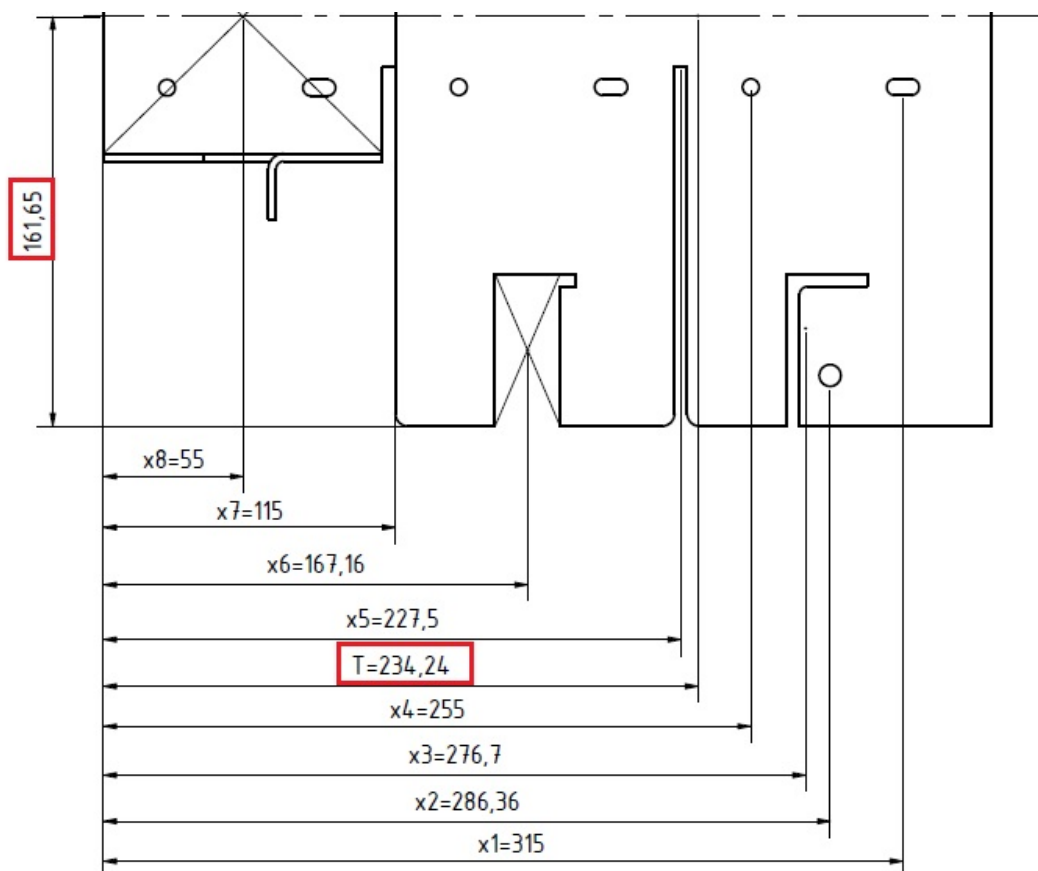
4.4 Těžiště sil

Pro zajištění bezchybné výroby musí být vyjádřena a vypočítána výslednice sil od všech střížníků a ohybníků, které vstupují do samotného procesu. V místě, kde se tedy nachází těžiště všech sil, bývá standartně umístěna stopka, která je upnuta v beranu lisu. Ta se u větších tvářecích nástrojů nevyužívá, ale její těžiště je přeci jen počítáno, aby mohlo dojít k přesnému

založení nástroje do zvoleného stroje. Tedy aby výslednice všech sil byla přímo v ose stroje. Výpočet proběhne pouze v podélném směru pásu s nulovým bodem v levém rohu, jelikož v příčném směru se těžiště nachází přímo uprostřed. [54]

Výpočet těžiště v podélném směru [54]:

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + \dots + F_n \cdot x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{F_{s2} \cdot x_1 + F_{s3} \cdot x_1 + 2 \cdot F_{s1} \cdot x_2 +}{F_s + F_{oc}} & (4.9) \\
 &+ \frac{2 \cdot F_{s5} \cdot x_3 + F_{s2} \cdot x_4 + F_{s3} \cdot x_4 + 2 \cdot F_{s4} \cdot x_5 + 2 \cdot F_{oc2} \cdot x_6 + F_{s6} \cdot x_7 +}{F_s + F_{oc}} \\
 &+ \frac{F_{oc3} \cdot x_8}{F_s + F_{oc}} = \frac{25\,719,84 \cdot 315 + 42\,093,6 \cdot 315 +}{1\,526\,571,086 + 148\,706,25} \\
 &+ \frac{2 \cdot 33\,757,293 \cdot 286,36 + 2 \cdot 228\,055,776 \cdot 276,7 + 25\,719,84 \cdot 255 +}{1\,526\,571,086 + 148\,706,25} \\
 &+ \frac{42\,093,6 \cdot 255 + 2 \cdot 408\,075,034 \cdot 227,5 + 2 \cdot 30\,318,75 \cdot 167,16 +}{1\,526\,571,086 + 148\,706,25} \\
 &+ \frac{51\,168 \cdot 115 + 118\,387,5 \cdot 55}{1\,526\,571,086 + 148\,706,25} = 234,237 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$



Obr. 46 Poloha těžiště.

Z výpočtu a obr. 46 je patrné, že těžiště se nachází 234,237 mm od levého okraje a 161,65 mm od shora ve směru příčném. Nástroj je tedy potřeba do stroje situovat tak, aby bylo jeho těžiště pokud možno přímo v ose lisu.

4.5 Výrobní tolerance funkčních částí nástroje

Posledním výpočetním krokem je stanovení výrobních rozměrů střížníků a střížnice, jelikož v průběhu tváření bude docházet k jejich opotřebení. Pro stanovení délkových mezních úchylek se využívá normy ČSN ISO 2768-1, kde je využita třída přesnosti m, viz Tab. 10.

Tab. 10 Mezní úchylky délkových rozměrů (třída přesnosti m) [67].

Oblast rozměru [mm]	Mezní úchylky [mm]
0,5 – 3	± 0,1
3 – 6	± 0,1
6 – 30	± 0,2
30 - 120	± 0,3
120 - 400	± 0,5
400 - 1000	± 0,8
1000 - 2000	± 1,2

Jelikož je v součásti hned několik střížníků, které zastupují roli děrování, je nutností pro ně vypočítat funkční rozměry. Jako ukázkový výpočet je vybrán rozměr $\varnothing 8,4$, pro který budou využity vzorce (2.16) a (2.17). Pro zaručení vyrobitelnosti nástrojů jsou výsledky zaokrouhleny na setiny, což nijak negativně neovlivní přesnost procesu.

Výpočet rozměru střížnice $\varnothing 8,4$ – děrování:

$$A_e = A_j + \Delta + 2 \cdot z_{min} + \delta_e = \left(A_j + \frac{P}{2} + v \right)^{+\delta_e} = \left(8,4 + \frac{0,310}{2} + 0,87 \right)^{+0,120} = 9,255^{+0,120} = 9,26^{+0,12} \text{ mm},$$

kde: P - přípustná míra opotřebení [mm], voleno z přílohy 5,

δ_e – výrobní tolerance střížnice [mm], voleno z přílohy 5.

Výpočet rozměru střížníku $\varnothing 8,4$ – děrování:

$$A_k = A_j + \Delta - \delta_k = \left(A_j + \frac{P}{2} \right)_{-\delta_k} = \left(8,4 + \frac{0,310}{2} \right)_{-0,074} = 8,555_{-0,074} = 8,56_{-0,07} \text{ mm}.$$

Dále je v průběhu výroby využíváno vystřihování, kdy pro ukázkou výpočtu byla vybrána délka šířky packy 70 mm. Opět jsou výsledné rozměry zaokrouhleny na setiny a výpočty ostatních funkčních částí střížníků a střížnic proběhnou úplně stejně, jen s jinými hodnotami.

Výpočet rozměru střížnice při nastřihování pacek dle (2.14):

$$A_e = A_j - \Delta + \delta_e = \left(A_j - \frac{P}{2} \right)^{+\delta_e} = \left(70 - \frac{0,460}{2} \right)^{+0,190} = 69,77^{+0,190} = 69,77^{+0,19} \text{ mm}.$$

Výpočet rozměru střížníku při nastřihování pacek dle (2.15):

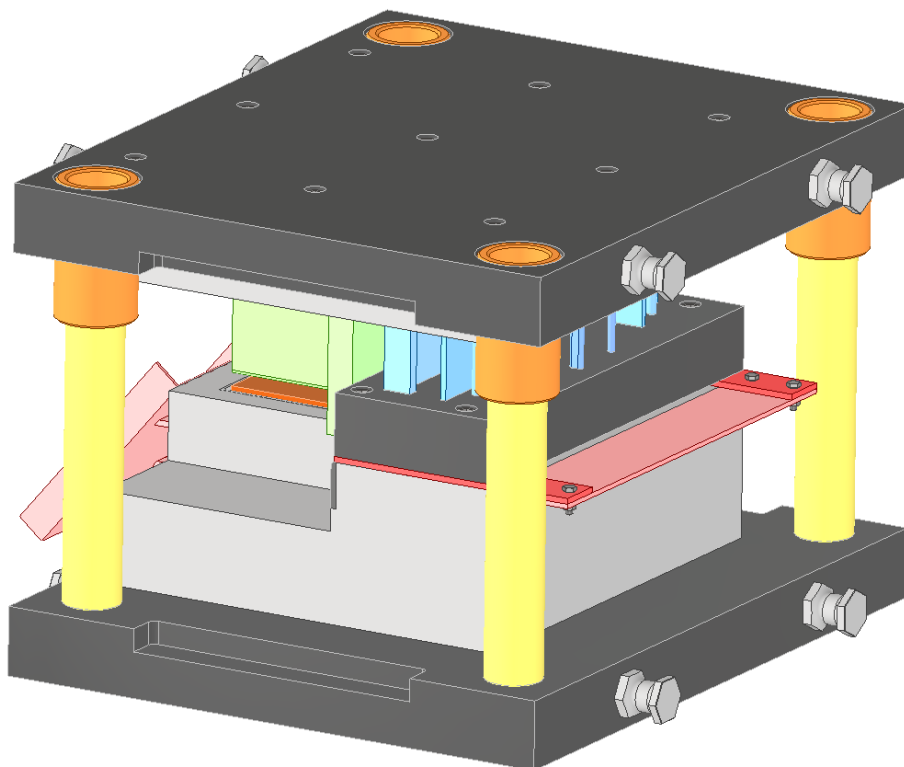
$$A_k = A_j - \Delta - 2 \cdot z_{min} - \delta_k = \left(A_j - \frac{P}{2} - v \right)_{-\delta_k} = \left(70 - \frac{0,460}{2} - 0,87 \right)_{-0,120} = 68,9_{-0,120} = 68,9_{-0,12} \text{ mm}.$$

5 POPIS NÁSTROJE A VOLBA STROJE

Na základě získaných informací, dat a hodnot může být navržen a vytvořen model tvářecího nástroje, který je plně schopný plnit předem dané požadavky. V následující kapitole je proveden rozbor takového nástroje s detailním popisem jednotlivých částí a jejich funkcí. Poté je zbytek kapitoly věnován výběru vhodného stroje, který disponuje potřebnou tvářecí silou a pracovní plochou.

5.1 Popis nástroje

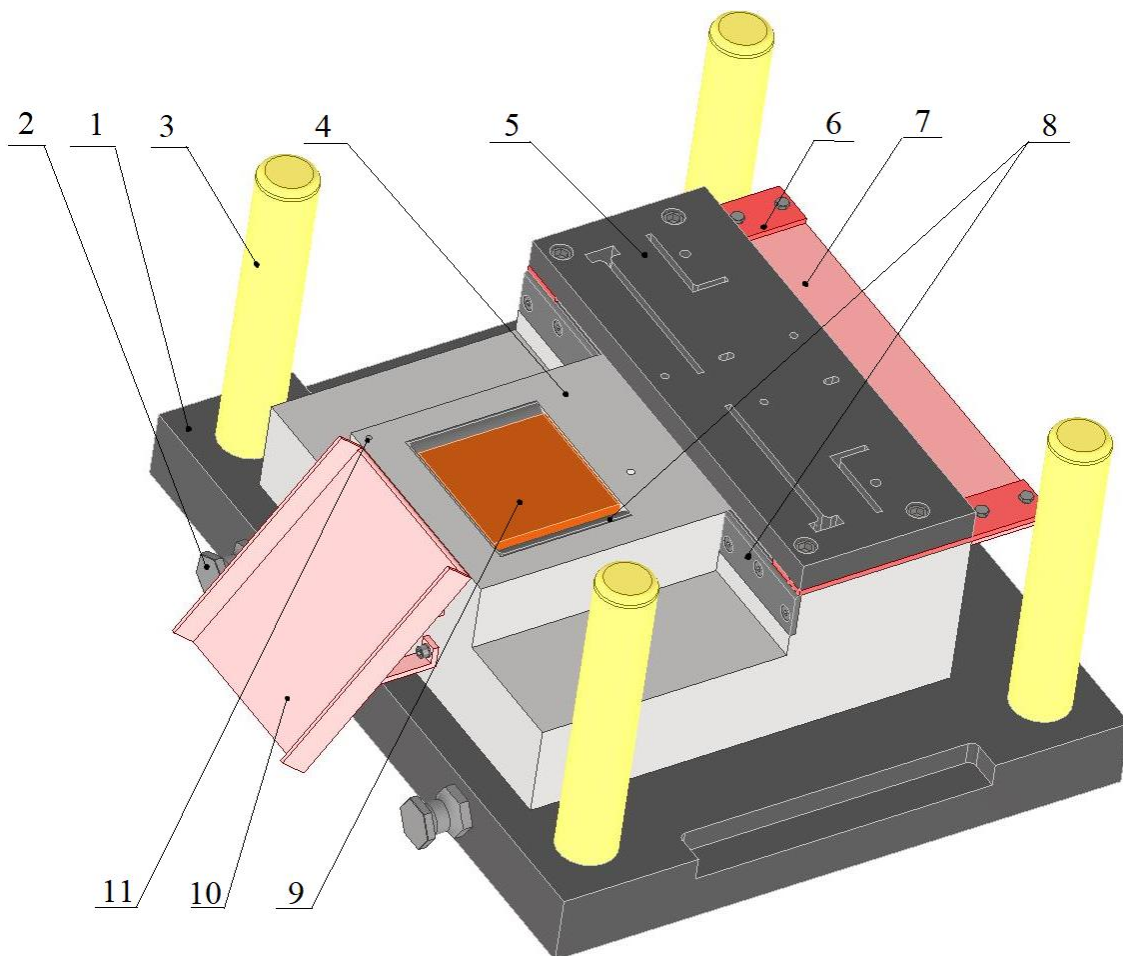
Pro výrobu spodní dojezdové kapsy posuvných bran byl navržen a zkonstruován postupový sdužený nástroj, který umožňuje kombinaci stříhu a ohybu, viz obr. 47. Nástroj byl konstruován v CAD programu Autodesk Inventor 2022 a jednotlivé výkresy jsou obsaženy v přílohách této práce. Během samotného návrhu byl brán zřetel jak na funkční a technologickou stránku, tak i na vlivy ekonomické. Celková konstrukce nástroje je na míru vytvářena dle tvaru a rozměrů vyráběné součásti. Taktéž sled jednotlivých tvářecích operací vychází z předem vypracovaného pracovního postupu. Navržený postupový nástroj se skládá z dvou hlavních částí, spodní a horní. Ty budou pevně upnuty pomocí upínek ke stolu a beranu tvářecího stroje. Jejich vzájemný pohyb je kontrolován a vedený díky vodícím sloupkům, které se v axiálním směru pohybují ve vodícím pouzdru. Jelikož se nástroj vyznačuje nemalou hmotností, jsou na boku obou částí nástroje namontovány nosné šrouby, které slouží k jeho manipulaci.



Obr. 47 Postupově sdužený nástroj pro výrobu kapsy.

Spodní část nástroje (obr. 48) je celá situována na základové desce (1), která má na sobě obsažené vybrání pro upnutí ke stolu za pomoci zmiňovaných upínek. Na okraj desky jsou montovány čtyři nosné šrouby (2) pro manipulaci a v každém ze čtyř rohů základny jsou zalisovány vodící sloupky (3).

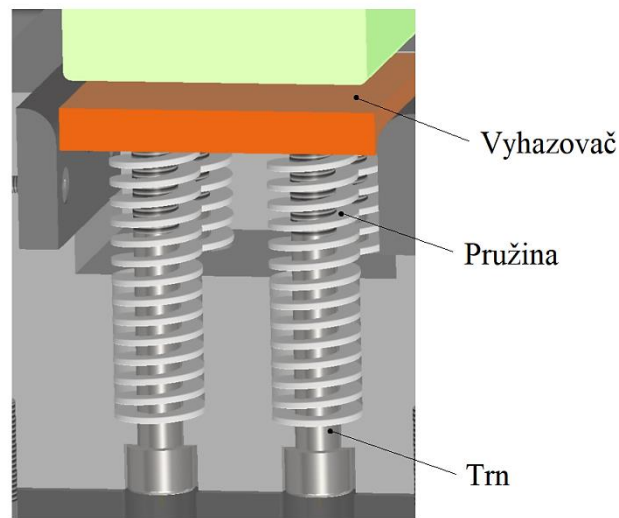
Hlavní část, střížnice (4), je vytvářena z jednoho kusu kvůli zjednodušení výroby a zachování přesnosti celkové výroby kapes. Střížnice je zesponu spojena se základovou deskou pomocí šroubů s válcovou hlavou. Vznikající odpad v průběhu procesu stříhání propadáva zvětšenými otvory v základové desce. K samotné střížnici je pro zlepšení přesnosti přišroubována vodící deska (5), která je podepřena vodícími lištami (6) s podpěrným plechem (7), jenž slouží k přesnému zavedení plechu do samotného nástroje. V místech, kde bude probíhat ohyb, bude taktéž docházet k nadměrnému opotřebení materiálu nástroje. Proto jsou v obou místech, kde vzniká ohyb pavec pro rolny a výsledný U ohyb kapsy, šroubovány vyměnitelné kalené vložky (8) s patřičným rádiusem pro ohyb. Uchycení je zajištěno pomocí šroubů se zápusťou hlavou, aby nedocházelo k jejich otláčení do výsledné součásti.



Obr. 48 Spodní část nástroje.

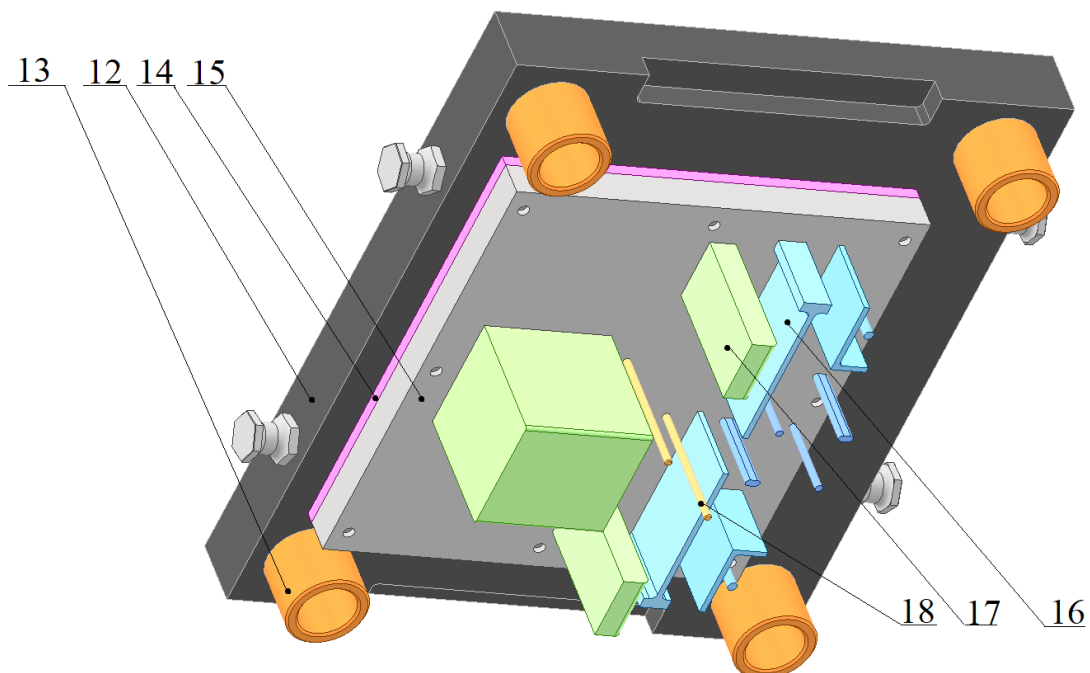
Druhá polovina střížnice je z technologického hlediska zúžena. Musí tak být uskutečněno, aby byl umožněn posun plechu z kroku druhého do kroku třetího. V druhém kroku totiž dochází k vyhnutí packy směrem dolů a střížnice by dále neumožňovala pohyb ohnutého plechu. Finální U ohyb je podpořen odpruženým vyhazovačem (9) (obr. 49), protože se při této operaci součást dostává pod úroveň střížnice a ohybových vložek. Stlačené pružiny pak mají tu funkci, že ohnutou součást vracejí nad úroveň střížnice a při dalším posunu pásu je hotový dílec přesouván na skluz (10). Skluz je v tomto případě svařenec, šroubovaný přímo do střížnice,

který slouží k nasměrování hotových kapes do jejich finální lokace. V levém horním a současně i v pravém dolním rohu střížnice, případně vodící desky, je předem připraven otvor se závitem (11), pro snadné namontování dosedacích čepů, které slouží jako ochrana před kontaktem mezi vrchní s spodní částí nástroje při jeho neaktivitě.



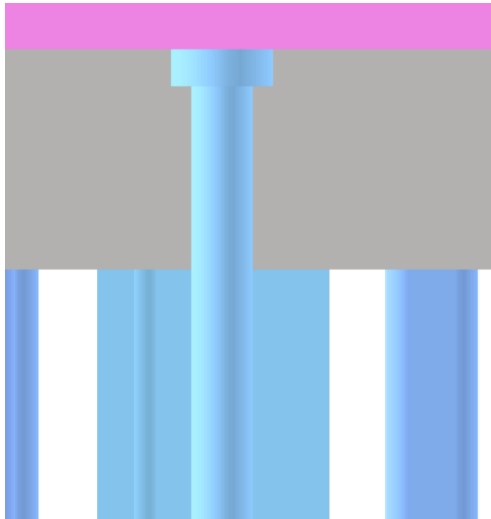
Obr. 49 Odpružený vyhozovač.

Vrchní část nástroje (obr. 50) je umístěna opět na jedné desce s nosnými šrouby, která je během zakládání do stroje znovu upínána upínkami k beranu lisu. Tentokrát se jedná o desku upínací (12) a jednotlivé komponenty nástroje jsou k ní svrchu přišroubovány šrouby s válcovou hlavou. Ta má v každém ze svých rohů zabudované vodící pouzdro (13), jež umožňuje vzájemný pohyb obou dvou částí nástroje. Jelikož by na základě vypočtených hodnot mohlo docházet k otlacení nástrojů do desky, musí být k jeho zamezení použita kalená opěrná deska (14), která se montuje mezi desku upínací a kotevní (15).

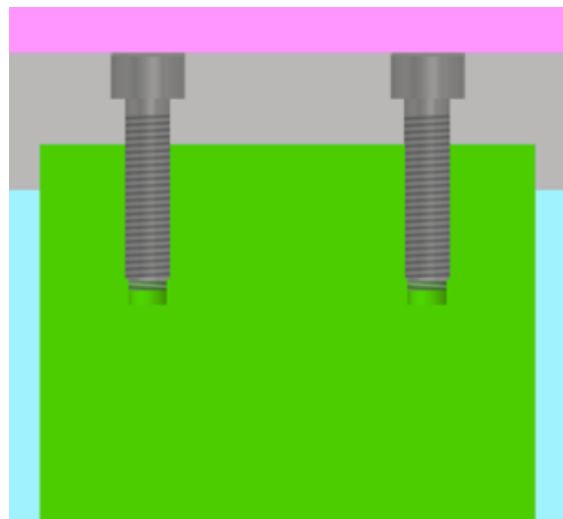


Obr. 50 Horní část nástroje.

Všechny střižníky (16), ohybníky (17) a hledáčky (18) jsou mezi opěrnou a kotevní deskou upevněny za pomoci osazení, viz obr. 51. Jediný ohybník, který provádí finální U ohyb současně s odstřížením, je napřímo přišroubovaný metrickými šrouby do již zmíněné vybrané kotevní desky (obr. 52). Při konečném odstřížení se nabízelo využití zabudovaného odpruženého přidržovače, který by dosedal na plech taktéž shora. Nakonec jeho konstrukce byla zamítnuta, jelikož kvůli většímu zdvihu by musely být vybrány příliš dlouhé pružiny s vyšší tuhostí, které by mohly ještě navýšit celkový rozměr horní části nástroje. To by se jak z hlediska konstrukčního, tak i ekonomického komplikovalo a je možné konstatovat, že k přidržení plechu v menší míře dochází během současného ohybu pacek v kroku druhém. Navíc se jedná o stříh můstku, u kterého není zapotřebí dosahování vysoké kvality, jelikož bude sloužit jako podpora při následujících svařovacích akcích.



Obr. 51 Osazení střižníku.



Obr. 52 Upnutí ohybníku.

5.2 Volba stroje

Posledním krokem je výběr vhodného tvářecího stroje, který bude schopný svou pracovní plochou, zdvihem a hlavně dostatečně velkou tvářecí silou zaručit výrobu spodní dojezdové kapsy v navrženém nástroji. Základní parametr, na který je potřeba při výběru přihlížet, je celková tvářecí síla a práce, které jsou zjištěny sečtením předešlých výsledků tvářecích sil a prací.

Výpočet celkové tvářecí síly:

$$F_{tv} = F_{sc} + F_{oc} + F_{pruž} = 1\,755\,556,749 + 179\,023,5 + 3\,096,8 = 1\,937\,677,048 \text{ N.} \quad (5.1)$$

Výpočet celkové tvářecí práce:

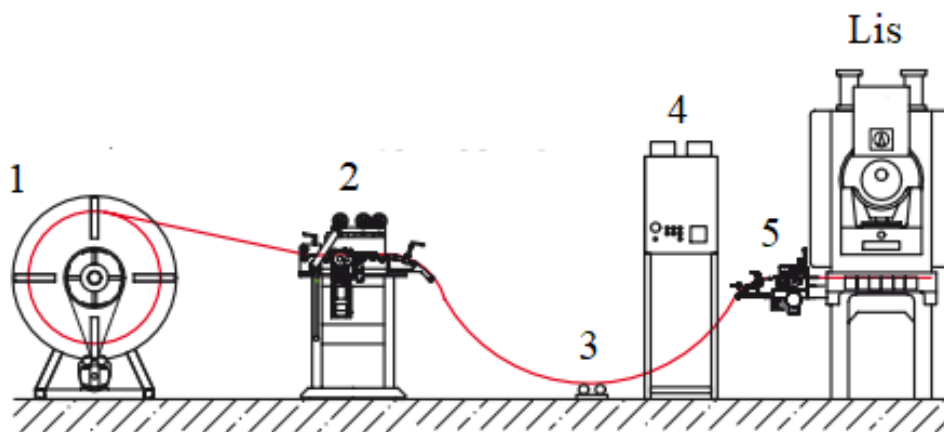
$$A_{tv} = A_{sc} + A_{oc} + A_{pruž} = 2\,896,669 + 4\,057,663 + 83,46 = 7\,037,792 \text{ J.} \quad (5.2)$$

Byla provedena analýza trhu, kdy jako vhodný stroj byl vybrán výstředníkový lis S 250 od firmy Šmeral Brno a. s., viz obr. 53. Jedná se o stroj vhodný ke zpracovávání pásů plechů nebo svitků. Obsahuje plně nastavitelný zdvih a stojan ve tvaru „C“. Disponuje tvářecí silou až 2 500 kN, což zaručuje dostatečnou silovou rezervu. Upínací plocha stolu a beranu taktéž naplno splňuje požadavky. Veškeré parametry a technická data jsou uvedeny níže v Tab. 11. [69]

Tab. 11 Technická data stroje S 250 [69].

Tvářecí síla	[kN]	2 500
Sevření	[mm]	600
Vyložení	[mm]	500
Upínací plocha stolu	[mm]	1 400 x 1 000
Upínací plocha beranu	[mm]	1 000 x 650
Zdvih beranu	[mm]	30 - 200
Počet zdvihů	[min ⁻¹]	50
Přestavování beranu	[mm]	125
Celkový instalovaný výkon	[kW]	25
Rozměry stroje v·š·h	[m]	3,9 x 1,6 x 2,9

Jako hlavní polotovary byl stanoven svitek plechu. Bylo tedy potřeba naplánovat před samotný stroj s nástrojem linku, která zajistí posuv plechu do nástroje po 115 mm dlouhých pracovních krocích, a jež bude po celou dobu procesu plech plynule odvíjet a rovnat. Na základě průzkumu trhu se jako ideální linka jeví zařízení od firmy Attl a spol. s.r.o. Jedná se o linku z řady APRL, a to konkrétně RAL 500 (obr. 54), která obsahuje odvíják (1), rovnačku (2), sledování smyčky (3), ovládací panel (4) a podavač (5). Detailní parametry jsou v příloze 6. [70]



Obr. 54 Schéma linky APRL RAL 500 [70].



Obr. 53 Zvolený výstředníkový Lis S 250[69].

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na návrh výroby spodní dojezdové kapsy pro posuvnou bránu, která slouží k jejímu zafixování a odlehčení. V první části proběhl rozbor samotné součásti a jako materiál byla vybrána ocel nesoucí označení DC01 o tloušťce 3 mm. Následovala rešerše zabývající se možnostmi výroby. Po zvážení sériovosti 100 000 ks/rok, náklonnosti k automatizaci, efektivity, využitelnosti materiálu apod., byla jako nejvhodnější metoda výroby zadané součásti zvolena metoda tváření s využitím postupového sdruženého nástroje, který kombinuje proces stříhání a ohýbání.

V souladu se zvolenými způsoby tváření zadané součásti byla další část diplomové práce zaměřena právě na problematiku procesu stříhání a ohýbání, přičemž získané informace ohledně zmíněných technologií byly aplikovány ve zbytku práce.

Praktická část se zaměřila na návrh technologie výroby. Došlo k představení celkových plánovaných rozměrů kapsy a jejímu rozvinutí, jelikož výchozí polotovár byl zvolen jako svitek plechu a bylo potřeba určit jeho uspořádání na páse. Volbou se stalo příčné uložení, a to primárně kvůli vhodnému umístění můstku pro posun plechu. Byly provedeny výpočty týkající se výběru velikosti svitku plechu, kdy po porovnání několika typů byl díky největší využitelnosti pro danou sérii vybrán svitek s vnějším průměrem 1600 mm, vnitřním průměrem 600 mm a šířkou $323,3 \pm 0,1$. K výrobě požadované série je potřeba 20 svitků, přičemž využitelnost dosáhne na 92,32 %. Následně byly navrženy tři varianty výrobních postupů, kdy vybrána byla varianta A, která má silnou výhodu zejména díky využití pouze tří postupových kroků a maximální využitelnosti vstupního materiálu.

V rámci řešení diplomové práce byly dále provedeny kontrolní a technologické výpočty, jež vycházely z volby výrobního postupu. Vyjádřeny byly celkové síly a práce způsobené stříháním, ohýbáním a zabudovanými pružinami. Jejich součet byl pak základním pilířem při volbě tvářecího stroje.

Poslední část práce byla věnována popisu modelu navrženého postupového nástroje, který byl proveden v programu Autodesk Inventor 2022, což vedlo i k tvorbě výkresové dokumentace. Jelikož nástroj vykazuje relativně vysokou celkovou tvářecí sílu 1 937 677,048 N a bylo potřeba myslet i na jeho větší celkové parametry, což je zapříčiněno velikostí tvářené dojezdové kapsy, musel být vhodně zvolen výrobní stroj s podávací a rovnací linkou. Do výroby byl tedy zvolen stroj S 250 od firmy Šmeral Brno s.r.o. a linka APRL RAL 500 od značky Attl a spol. s.r.o.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. : il. ; 25 cm. ISBN 978-80-227-3242-0.
 2. Customized Progressive Die Stamping Stainless Steel Nickel Plated Battery Terminals. *Alibaba* [online]. © 1999-2023 Alibaba.com [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Customized-Progressive-Die-Stamping-Stainless-Steel_60752742249.html?spm=a2700.7724857.0.0.4e6f2dd7gCBASG
 3. Sada pro výrobu bran: Sada pro posuvnou samonosnou bránu do šíře 4,5m - 400kg - C80Zn - Robus400kit. *I-POHONY* [online]. Copyright 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.i-pohony.cz/c-80x80mm-zn-4-5m-400kg/sada-pro-posuvnou-samonosnou-branu--do-sire-4-5m-400kg-c80zn-robust400kit>
 4. Gartenzaune aus aluminium: Nouveau - Der waagrechte lattenzaun aus alu - tore. *GUARDI* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.guardi.at/produkte/zaeune/aluzaeune/nouveau>
 5. Vjezdové brány: typy a pohony. *Univers Tech* [online]. © Univers Tech s.r.o. 1996-2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.univers.cz/pohony-bran/>
 6. Spodní dojezdová konzola. *Enespro* [online]. Ostrava, All rights reserved | 2019 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.eshop.enespro.cz/eshop/dily-pro-brany/posuvne/samonosne/spodni-dojezdova-konzola-detail>
 7. Vozík pro posuvnou bránu L 8m. *TRIDO s.r.o.* [online]. © 2013-2023 TRIDO, s.r.o. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://eshop.trido.cz/posuvne-brany-samonosne_c460867170729990/vozik-pro-posuvnou-branu-l-8m_p1838
 8. Dojezdové kapsy pro posuvné samonosné brány. *IPohony.cz* [online]. 2023 © [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.ipohony.cz/dojezdove-kapsy-pro-posuvne-samonosne-brany/>
 9. Třídy ocelí dle ČSN. *Ripra* [online]. 14.11.2012 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://pdms-help.webnode.cz/news/tridy-oceli-dle-csn/>
 10. DC01 (1.0330). *EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES* [online]. © 2011- 2023 All rights reserved [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199#1
 11. Značka ocelí DIN - EN - ČSN. *Salzgitter Mannesmann Stahlhandel* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.salzgitter.cz/index.php?page=33>
 12. DC01 Cold Rolled Steel Sheet Cold Rolled Steel Plate. *Shandong Gangpu Metal Materials Co.* [online]. Copyright © 2018-2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.sdgpmetal.com/product_26/109.html
 13. Ocelové plechy válcované za studena. *NYPRO hutní prodej* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
 14. EURO INOX. Co je korozivzdorná ocel ?. In: *Worldstainless* [online]. Belgium, s. 6 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_CZ.pdf
 15. Korozivzdorná ocel, nerezová ocel. *Oneindustry* [online]. 18.6.2019 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/korozivzdorna-ocel-nerezova-ocel/>
-

-
16. Charakteristika nerezových ocelí. *KÖNIGFRANKSTAHL* [online]. 2017 © [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.koenigfrankstahl.cz/?menu=234>
 17. Properties of Stainless Steel. *Thyssenkrupp Materials* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/properties-of-stainless-steel>
 18. EURO INOX. Vlastnosti korozivzdorných ocelí. In: *CEDINOX* [online]. Lucembursko, © Euro Inox 2002, s. 28 [cit. 2023-05-23]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: https://www.cedinox.es/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
 19. Grade 304 Stainless Steel: Properties, Fabrication and Applications. *AZO MATERIALS* [online]. 18.5.2005 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2867>
 20. BUSCHOW, K.H.J. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* [online]. Amsterdam, UK, 2001 [cit. 2023-05-23]. ISBN 978-0-08-043152-9. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/laser-cutting>
 21. OSIČKA, Karel a Milan KALIVODA. *Nekonvenční technologie obrábění: (vzdělávací a tréninkový modul)* [online]. Brno, VUT, 2012 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://opus.fme.vutbr.cz/dokumenty/moduly/Osicka.pdf>
 22. HECHT, Jeff. Laser. *Encyclopedia Britannica* [online]. 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/laser/Fundamental-principles>
 23. VAGHEESAN, Senthilkumar. Laser cutting process: A Review. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DARSHAN INSTITUTE ON ENGINEERING RESEARCH & EMERGING TECHNOLOGIES* [online]. India, 2014, 1-6 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Senthilkumar-Vagheesan/publication/305385939_Laser_cutting_process_-_A_Review/links/57fa48d108ae8da3ce5ba61d/Laser-cutting-process-A-Review.pdf
 24. Obrábění laserem. *ELUC* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1423>
 25. Vodní paprsek vs. jiné technologie. *Flow international corporation* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.flowwaterjet.cz/Prectete-si-vice/Srovnavaci-Rezani.aspx#waterjet>
 26. Řezání plazmou. *SIAD* [online]. Copyright © Gruppo SIAD 2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.siad.com/cs/odvetvi/svarovani-a-rezani/pouziti/rezani-plazmatem>
 27. Archiv: Obrábění plazmou. *Technický týdeník* [online]. 10.3.2015 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/obrabeni-plazmou_29259.html
 28. Jaký je nejlepší způsob řezání ocelového plechu?. *ESAB* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://esab.com/cz/eur_cs/esab-university/blogs/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate/
 29. Dokonale přesné pálení laserem. *KT MetSteel* [online]. 13.2.2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/dokonale-presne-paleni-laserem-1613197422>
 30. Pálení plazmou. *KT MetSteel* [online]. © copyright [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/paleni-plazmou>
-

-
31. Jak funguje vodní paprsek. *Flow international corporation* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.flowwaterjet.cz/Prectete-si-vice/Jak-funguje-vodni-paprsek.aspx#components>
 32. Řezání vodním paprskem. *Kovojuza* [online]. © 2015 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www.kovojuza.cz/vodni-paprsek/>
 33. Advantages and Disadvantages of Water Jet Machining. *Piping Mart* [online]. 18.1.2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://blog.thepipingmart.com/other/advantages-and-disadvantages-of-water-jet-machining/>
 34. Řezání vodním paprskem. *CNC Delfin* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.cncdelfin.cz/cnc-technologie>
 35. Řezání vodním paprskem. *KT MetSteel* [online]. 4.11.2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/rezani-vodnim-paprskem>
 36. LENFELD, Petr. Technologie tváření kovů: Stříhání. *Technická Univerzita Liberec* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#066
 37. ČADA, Radek. Stříhání plechu. In: *Technologie tváření a slévání - v příkladech* [online]. VŠB, Ostrava, 2013, s. 50-69 [cit. 2023-05-25]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/vy_01_005/
 38. Postupové sdružené nástroje. *FaM Tools* [online]. © 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
 39. DVOŘÁK, Roman. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 17.5.2010 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
 40. LENFELD, Petr. Technologie tváření kovů: Ohýbání. *Technická Univerzita Liberec* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm#077
 41. Ohýbačky. *MOSTR* [online]. © 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.mostr.cz/vyrobky/kategorie/ohybacky>
 42. Ohraňování plechu: CNC zpracování plechu v průmyslu. *Ohraňování Plechu* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.ohranovaniplechu.cz/>
 43. Způsoby ohýbání ohraňování plechu. *TOOLSCZ* [online]. 2017 © [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.tools.cz/2022/02/03/zpusoby-ohybani-ohranovani-plechu/>
 44. Press Brake Guide. *China Prima* [online]. 28.3.2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.prima-press.com/cs/press-brake-guide-101/#Advantages_And_Disadvantages_Of_The_Press_Brake
 45. Nástroje pro tváření. *KVLN* [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://klvn.cz/cz/produkty-sluzby/nastroje-pro-tvareni/>
 46. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
 47. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník* [online]. VUT, Brno, 2006 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
-

-
48. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
 49. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 103 s. : il., tabulky, grafy. ISBN 80-214-2881-3.
 50. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. : obr., tabulky, grafy, schémata ; 21 cm. ISBN 80-01-01003-1.
 51. BENEŠOVÁ, Soňa. *Technologie tváření* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
 52. ČADA, Radek. Plošné stříhání. In: *Technologie tváření a slévání: Teoretický základ* [online]. VŠB, Ostrava, 2013, s. 19 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/
 53. DVOŘÁK, Roman. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 19.12.2011 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologie-technologie-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>
 54. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
 55. Stříhání. *SPŠ Zergrova* [online]. Ostrava, 8 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT4_2-strihani_SPU.pdf
 56. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
 57. DVOŘÁK, Roman. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 3 s. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: http://fvtpovt2.wbl.sk/ohybanie_-_sucinitel_posunutia.pdf
 58. Ohýbání. *SPŠ Zergrova* [online]. Ostrava, 4 s. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT4_3-ohybani_SPU.pdf
 59. DVOŘÁK, Roman. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 11.4.2012 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologie-technologie-konstrukce-pri-ohybani>
 60. KRATINA, Jakub. Mechanické vlastnosti pevných látek. In: *E-konstrukter* [online]. 25.6.2013 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/mechanicke-vlastnosti-pevnych-latek>
 61. Elektrogalvanizované plechové svitky. *Chandong LiKe Metal Materials* [online]. © COPYRIGHT - 2019-2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://cs.sdlkstainlesssteel.com/galvanized-sheet-metal-coils-product/>
 62. MELICHAR, Ivo. *Výroba nosného ramene*. Brno, 2018. 46 s, 5 výkresů, 17 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
 63. Výrobní technologie: Podélné dělení. *Pásová ocel* [online]. Copyright © 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.pasovaocel.cz/sluzby/vyrobnitechnologie/podelne-deleni/>
-

64. Ocel. *Top-ArmyShop* [online]. Copyright © 2011 - 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.top-armyshop.cz/slovník-pojmu/ocel>
 65. BUREŠ, Jiří. Součinitel smykového tření. *ConVERTER* [online]. © 2002 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
 66. Speciální šroubová tlačná pružina. *FIBRO normálie* [online]. 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/778/#zoom=z
 67. ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance. Nepředešané mezní úchylky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.
 68. ČSN 22 6015. 1. Praha: ÚNM, 1977.
 69. Výstředníkové lisy: S 250. *ŠMERAL* [online]. Brno, © 2000 - 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/46/s-250>
 70. Linky na rovnání pásů ze sviteků. *Attl a spol.* [online]. Praha [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf
 71. *Citace PRO* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A_e	Rozměr střižnice	[mm]
A_j	Jmenovitý rozměr výstřižku/otvoru	[mm]
A_k	Rozměr střižníku	[mm]
a_k	Minimální vzdálenost mezi otvory	[mm]
A_o	Ohýbací práce	[J]
A_{oc}	Celková ohybová práce	[J]
$A_{pruž}$	Práce pružin	[J]
A_{sc}	Celková střižná práce	[J]
A_{tv}	Celková tvářecí práce	[J]
b	Šířka	[mm]
b_1	Šířka materiálu po ohybu	[mm]
b_r	Minimální délka ohýbaného ramene	[mm]
c	Součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
c_1	Součinitel tření mezi součásti a ohybníci	[-]
c_2	Součinitel protlačení	[-]
c_p	Součinitel pro minimální poloměr	[-]
c_{st}	Součinitel stírání	[-]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku plechu	[mm]
D_{sv}	Vnější průměr svitku plechu	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Šířka můstku	[mm]
f	Součinitel tření	[-]
F_0	Ohýbací síla	[N]
F_k	Kalibrační síla	[N]
f_o	Šířka bočního odpadu	[mm]
F_{oC}	Celková ohýbací síla	[N]
F_{oU}	Ohýbací síla do U	[N]
F_{oV}	Ohýbací síla do V	[N]
F_p	Přidržovací síla	[N]
F_{pr}	Protlačovací síla	[N]
$F_{pruž}$	Síla pro stlačení pružin	[N]
F_s	Střižná síla	[N]
F_{sc}	Celková střižná síla	[N]
F_{smax}	Maximální střižná síla	[N]
F_{st}	Stírací síla	[N]
F_{tv}	Celková tvářecí síla	[N]
H	Výška střižnice	[mm]
h	Dráha zdvihu ohybníku	[mm]
h_{el}	Hloubka elastického vniknutí	[mm]
h_{pl}	Hloubka plastického vniknutí	[mm]
$h_{pruž}$	Výška zdvihu pružiny	[mm]
h_s	Hloubka vniku	[mm]
I	Moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
k	Součinitel pro výpočet úhlu odpružení	[-]
K	Délka kroku	[mm]
k_b	Koeficient bezpečnosti	[-]
K_{po}	Délka kroku v podélném uložení	[mm]

$K_{př}$	Délka kroku v příčném uložení	[mm]
l	Délka křivky stříhu	[mm]
L	Celková délka polotovaru	[mm]
l_j	Délka jmenovitého úseku	[mm]
L_{krit}	Kritická délka střižníku	[mm]
l_o	Délka ohnuté části polotovaru	[mm]
L_{pr0}	Délka nestlačené pružiny	[mm]
L_{pr1}	Délka pružiny po stlačení	[mm]
L_{sv}	Délka svitku	[mm]
l_u	Rameno ohybu	[mm]
l_v	Vzdálenost mezi hranami ohybnice	[mm]
m_{sv}	Hmotnost svitku	[kg]
n	Součinitel otupení nástroje	[-]
N	Počet dílů	[-]
n_{sv}	Počet svitků pro danou sérii	[-]
n_{vsv}	Počet výstřižků z jednoho svitku	[-]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
R	Tuhost pružiny	[N·mm ⁻¹]
r_0	Poloměr ohybu	[mm]
R_a	Drsnost povrchu	[μm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
r_m	Poloměr ohybnice	[mm]
R_{max}	Maximální poloměr	[-]
R_{min}	Minimální poloměr	[mm]
r_p	Poloměr ohybníku	[mm]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
S	Střižná plocha	[mm ²]
s_1	Tloušťka materiálu po ohybu	[mm]
S_p	Plocha polotovaru	[mm ²]
S_s	Plocha průřezu střižníku	[mm ²]
S_{sv}	Plocha svitku	[mm ²]
S_v	Plocha výstřižku	[mm ²]
\check{S}	Šířka pásu plechu	[mm]
\check{S}_s	Šířka rozvinuté součásti	[mm]
v	Střižná vůle	[mm]
v_o	Ohybová vůle	[mm]
x	Součinitel posunu neutrální plochy	[-]
X	Těžiště	[mm]
z	Střižná mezera	[mm]
z_{min}	Zaručená střižná mezera	[mm]
z_r	Součinitel rozšíření průřezu	[-]
z_z	Součinitel ztenčení průřezu	[-]
Δ	Tolerance otvoru	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
α'	Úhel ohybu po odlehčení	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
δ_e	Výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_k	Výrobní tolerance střižníku	[mm]

ε	Poměrná deformace	[-]
ε_{tmax}	Trvalá proměnná deformace	[-]
λ	Součinitel plnosti	[-]
μ	Využití materiálu	[%]
μ_c	Využití svitků pro danou sérii	[%]
μ_{sv}	Využití jednoho svitku	[%]
ρ	Poloměr neutrální plochy	[mm]
ρ_{ocel}	Hustota oceli	[kg·mm ⁻³]
σ	Napětí	[MPa]
σ_{dov}	Dovolené namáhání v tlaku	[MPa]
σ_k	Kluzové napětí	[MPa]
σ_n	Normálové tahové napětí	[MPa]
τ_{max}	Maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	Pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]
φ	Úhel sklonu hrany	[°]
Ψ	Součinitel plnosti diagramu	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tabulka a schéma pro stanovení rozměrů l_0 , r_m a c_1 [54]
Příloha 2	Tabulka hodnoty koeficientu posunutí neutrální osy x [1]
Příloha 3	Stanovení velikosti můstku e a bočního odpadu f_o [37]
Příloha 4	Tlačná pružina 241.13.32.102 [66]
Příloha 5	Stanovení funkčních rozměrů v nástroji [68]
Příloha 6	Podávací a rovnací linka APRL [70]

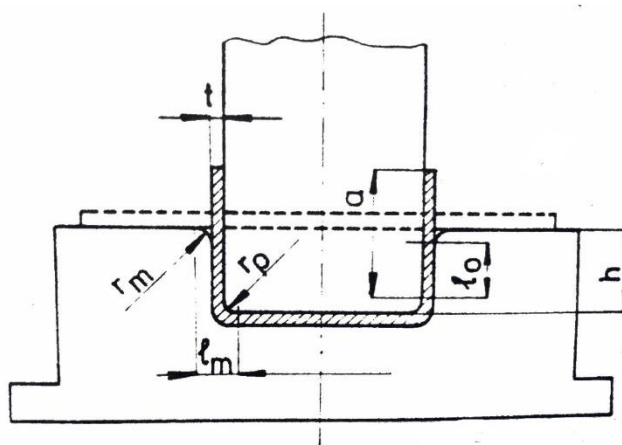
SEZNAM VÝKRESŮ

Dojezdová kapsa	2023-DP-200188-DK
Postupový nástroj	2023-DP-200188-S
Ohybník pacek	2023-DP-200188-10
Střížník L1	2023-DP-200188-16
Střížnice	2023-DP-200188-05
Kusovník	2023-DP-200188-K

Příloha 1

Tabulka a schéma pro stanovení rozměrů l_0 , r_m a c_1 [54]

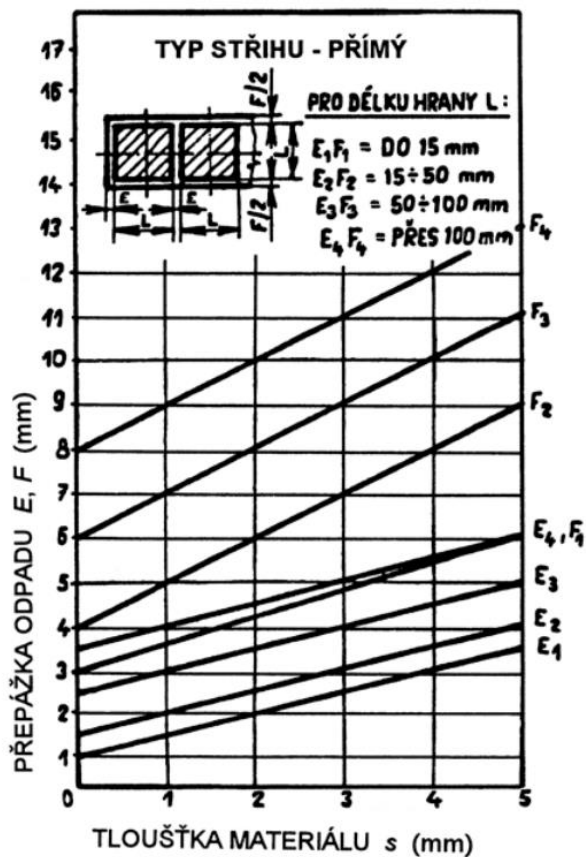
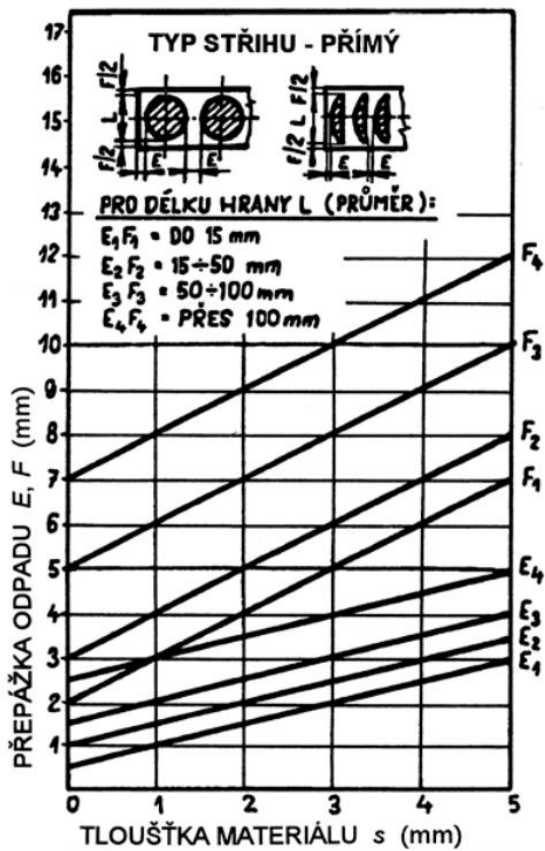
délka ramene a	Tloušťka materiálu t											
	do 0,5			0,5 až 2			2 až 4			4 až 7		
	l_0	r_m	c	l_0	r_m	c	l_0	r_m	c	l_0	r_m	c
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08	-	-	-
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1	30	10	0,08
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1	35	12	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1	40	15	0,1
150	-	-	-	35	12	0,2	40	15	0,15	50	20	0,1
200	-	-	-	45	15	0,2	55	20	0,15	65	25	0,15



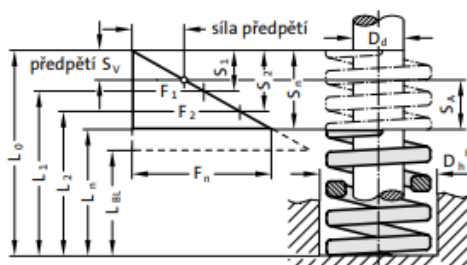
Tabulka hodnoty koeficientu posunutí neutrální osy x [1]

Medza pevnosti R_m [MPa]	pomer r_0/s											
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
do 400	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400	–	–	–	–	–	–	–	–	0,35	0,36	0,37	0,38
Medza pevnosti R_m [MPa]	pomer r_0/s											
	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
do 400	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
nad 400	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49

Stanovení velikosti můstku e a bočního odpadu f_0 [37]



SPECIÁLNÍ ŠROUBOVÁ TLAČNÁ PRUŽINA, XSF, IDENTIFIKAČNÍ BARVA "FIALOVÁ"



- D_n = průměr otvoru
- D_d = průměr trnu
- L_0 = délka nezatížené pružiny
- $L_1...L_n$ = délky zatížené pružiny, přiřazené síle pružiny $F_1...F_n$
- L_{Bl} = délka 100 % stlačené pružiny
- $F_1...F_n$ = síla pružiny v N přiřazené k délkám pružiny $L_1...L_n$
- $S_{v1}...S_{v7}$ = min. předpětí pružiny přiřazené k délce pružiny $S_1...S_7$
- $S_1...S_n$ = zdvihy pružiny přiřazené k síle pružiny $F_1...F_n$
- R = tuhost pružiny v N/mm
- $S_{A1}...S_{A7}$ = pracovní zdvih pružiny

241.13. Speciální šroubová tlačná pružina, XSF, Identifikační barva "fialová"

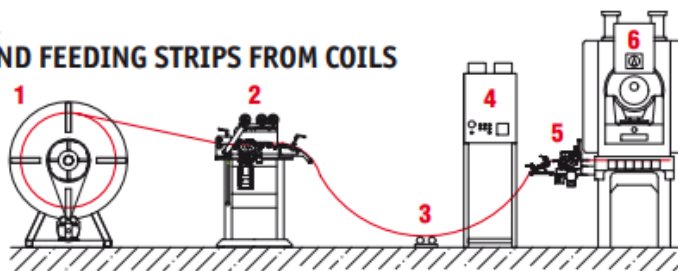
Objednací číslo	D_n	D_d	L_0	R	45% S_1	S_{v1}	S_{A1}	F_1	62% S_2	S_{v2}	S_{A2}	F_2	80% S_3	S_{v3}	S_{A3}	F_3	100% S_n	F_n
241.13.20.025	20	10	25	32,1	6,3	1,8	4,5	202	8,7	4,2	4,5	279	11,2	8,1	3,1	360	14	449
241.13.20.032	20	10	32	24,7	8,1	2,3	5,8	200	11,2	5,4	5,8	276	14,4	10,4	4	356	18	445
241.13.20.038	20	10	38	20,7	9,9	2,9	7	205	13,6	6,6	7	282	17,6	12,8	4,8	364	22	455
241.13.20.044	20	10	44	17,8	11,7	3,4	8,3	208	16,1	7,8	8,3	287	20,8	15,1	5,7	370	26	463
241.13.20.051	20	10	51	15,3	13,5	3,9	9,6	207	18,6	9	9,6	285	24	17,4	6,6	367	30	459
241.13.20.064	20	10	64	12,1	17,1	4,9	12,2	207	23,6	11,4	12,2	285	30,4	22	8,4	368	38	460
241.13.20.076	20	10	76	10,2	20,2	5,8	14,4	207	27,9	13,5	14,4	285	36	26,1	9,9	367	45	459
241.13.20.089	20	10	89	8,6	23,8	6,9	17	205	32,9	15,9	17	283	42,4	30,7	11,7	365	53	456
241.13.20.102	20	10	102	7,5	27,9	8,1	19,8	209	38,4	18,6	19,8	288	49,6	36	13,6	372	62	465
241.13.20.115	20	10	115	6,7	31,5	9,1	22,4	211	43,4	21	22,4	291	56	40,6	15,4	375	70	469
241.13.20.127	20	10	127	6,1	34,6	10	24,6	211	47,7	23,1	24,6	291	61,6	44,7	16,9	376	77	470
241.13.20.139	20	10	139	5,5	38,2	11	27,2	210	52,7	25,5	27,2	290	68	49,3	18,7	374	85	468
241.13.20.152	20	10	152	5,1	41,8	12,1	29,8	213	57,7	27,9	29,8	294	74,4	53,9	20,5	379	93	474
241.13.20.305	20	10	305	2,5	84,6	24,4	60,2	212	116,6	56,4	60,2	291	150,4	109	41,4	376	188	470
241.13.25.025	25	12	25	52,7	6,3	1,8	4,5	332	8,7	4,2	4,5	457	11,2	8,1	3,1	590	14	738
241.13.25.032	25	12	32	40	8,1	2,3	5,8	324	11,2	5,4	5,8	446	14,4	10,4	4	576	18	720
241.13.25.038	25	12	38	33,3	9,9	2,9	7	330	13,6	6,6	7	454	17,6	12,8	4,8	586	22	733
241.13.25.044	25	12	44	28,6	11,2	3,2	8	322	15,5	7,5	8	443	20	14,5	5,5	572	25	715
241.13.25.051	25	12	51	24,7	13,5	3,9	9,6	333	18,6	9	9,6	459	24	17,4	6,6	593	30	741
241.13.25.064	25	12	64	19,4	17,1	4,9	12,2	332	23,6	11,4	12,2	457	30,4	22	8,4	590	38	737
241.13.25.076	25	12	76	16,3	20,2	5,8	14,4	330	27,9	13,5	14,4	455	36	26,1	9,9	587	45	734
241.13.25.089	25	12	89	15,9	23,8	6,9	17	379	32,9	15,9	17	522	42,4	30,7	11,7	674	53	843
241.13.25.102	25	12	102	12,1	27,4	7,9	19,5	332	37,8	18,3	19,5	458	48,8	35,4	13,4	590	61	738
241.13.25.115	25	12	115	10,8	31,5	9,1	22,4	340	43,4	21	22,4	469	56	40,6	15,4	605	70	756
241.13.25.127	25	12	127	9,8	34,6	10	24,6	340	47,7	23,1	24,6	468	61,6	44,7	16,9	604	77	755
241.13.25.139	25	12	139	8,9	38,2	11	27,2	340	52,7	25,5	27,2	469	68	49,3	18,7	605	85	756
241.13.25.152	25	12	152	8,1	41,8	12,1	29,8	339	57,7	27,9	29,8	467	74,4	53,9	20,5	603	93	753
241.13.25.178	25	12	178	6,9	49	14,2	34,9	338	67,6	32,7	34,9	466	87,2	63,2	24	602	109	752
241.13.25.203	25	12	203	6,1	55,8	16,1	39,7	340	76,9	37,2	39,7	469	99,2	71,9	27,3	605	124	756
241.13.25.305	25	12	305	4	84,6	24,4	60,2	338	116,6	56,4	60,2	466	150,4	109	41,4	602	188	752
241.13.32.038	32	16	38	43,8	9,9	2,9	7	434	13,6	6,6	7	597	17,6	12,8	4,8	771	22	964
241.13.32.044	32	16	44	37,5	11,7	3,4	8,3	439	16,1	7,8	8,3	604	20,8	15,1	5,7	780	26	975
241.13.32.051	32	16	51	32,3	14	4	9,9	451	19,2	9,3	9,9	621	24,8	18	6,8	801	31	1001
241.13.32.064	32	16	64	25,4	17,6	5,1	12,5	446	24,2	11,7	12,5	614	31,2	22,6	8,6	792	39	991
241.13.32.076	32	16	76	21,3	21,2	6,1	15	450	29,1	14,1	15	621	37,6	27,3	10,3	801	47	1001
241.13.32.089	32	16	89	18,1	25,2	7,3	17,9	456	34,7	16,8	17,9	628	44,8	32,5	12,3	811	56	1014
241.13.32.102	32	16	102	15,8	28,8	8,3	20,5	455	39,7	19,2	20,5	627	51,2	37,1	14,1	809	64	1011
241.13.32.115	32	16	115	13,9	32,8	9,5	23,4	457	45,3	21,9	23,4	629	58,4	42,3	16,1	812	73	1015
241.13.32.127	32	16	127	12,6	36,4	10,5	25,9	459	50,2	24,3	25,9	633	64,8	47	17,8	816	81	1021
241.13.32.139	32	16	139	11,4	40	11,6	28,5	457	55,2	26,7	28,5	629	71,2	51,6	19,6	812	89	1015
241.13.32.152	32	16	152	10,5	43,6	12,6	31	458	60,1	29,1	31	631	77,6	56,3	21,3	815	97	1018
241.13.32.178	32	16	178	8,9	51,3	14,8	36,5	457	70,7	34,2	36,5	629	91,2	66,1	25,1	812	114	1015
241.13.32.203	32	16	203	7,8	59	17	41,9	460	81,2	39,3	41,9	634	104,8	76	28,8	817	131	1022
241.13.32.254	32	16	254	6,2	73,4	21,2	52,2	455	101,1	48,9	52,2	627	130,4	94,5	35,9	808	163	1011

Stanovení funkčních rozměrů v nástroji [68]

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice – TE	Střížníku – TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,016
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120

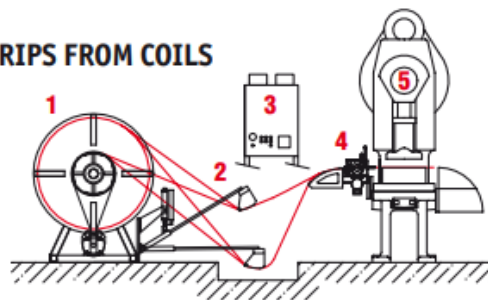
ROVNACÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL LINE ARPL FOR STRAIGHTENING AND FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler A0Z
- 2 - Rovnačka / Straightener ROA
- 3 - Sledování smyčky / Strip position sensor
- 4 - Ovládací panel / Control panel
- 5 - Podavač / Feeder PAL
- 6 - Lis / Press



PODÁVACÍ LINKA APL / LINE APL FOR FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler A0Z
- 2 - Kompenzátor / Compensator
- 3 - Ovládací panel / Control panel
- 4 - Podavač / Feeder PAL
- 5 - Lis / Press



TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

Řada odvíjáků A0Z / Uncoilers A0Z

Typ/Type	Nosnost Capacity (kN)	Vnitřní ø svítku Coil inner ø (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
A0Z 03	3 ÷ 8	480 ÷ 620	120	0,15 ÷ 1,2	80	ne / no	—
A0Z 08	8 ÷ 15	480 ÷ 620	250	0,3 ÷ 2,0	180	ano-ne / yes-no	1,5 ÷ 3,0
A0Z 15	15 ÷ 25	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 3,0	160	ano-ne / yes-no	2,2 ÷ 7,5
A0Z 25	15 ÷ 40	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 4,0	160	ano-ne / yes-no	7,5 ÷ 15,0
A0Z 40	40 ÷ 100	480 ÷ 620	580	0,5 ÷ 4,5	160	ano-ne / yes-no	11,0 ÷ 22,0

Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

Typ/Type	Počet válců Number of rollers	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
ROA 160	5	40	160	0,3 - 1,8	280	ne / no	7,5
ROA 250	5	60	250	0,3 - 2,5	320	ano-ne / yes-no	7,5
ROA 350	5	80	350	0,3 - 4,0	260	ano-ne / yes-no	11,0
ROA 580	5	100	580	1,0 - 4,5	260	ano-ne / yes-no	18,5

Řada podavačů PAL / Feeders PAL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
PAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	150	0,5 ÷ 3	100	3,0	3 000
PAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	250	0,5 ÷ 3,5	80	3,0	3 000
PAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3	80	3,0	6 000

Řada podávacích a rovnacích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
RAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	100	0,5 ÷ 3,0	40	7,5	3 000
RAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	200	0,5 ÷ 3,5	35	10,2	3 000
RAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3,0	35	10,2	6 000