



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

CHARAKTERISTIKA POSTUPOVÉHO STŘÍHÁNÍ

TYPICAL FEATURES OF PROGRESSIVE SHEARING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Žanda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Štroner, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Žanda**
Studijní program: Základy strojírenského inženýrství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Marek Štroner, 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 bakalářské práce:

Charakteristika postupového stříhání

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rešerši k dané problematice postupového stříhání. Uvést konstrukční složení těchto nástrojů a aplikace ve strojírenské praxi.

Cíle bakalářské práce:

Porovnání postupového stříhání s ostatními technologiemi tváření.

Konstrukční řešení nástrojů.

Rozbor materiálových požadavků na nástroj.

Zhodnocení a přínos postupového stříhání.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan., GAJDOŠ, František., NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 5. vyd. Brno : CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

DVOŘÁK, Milan et al. Technologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.

FOREJT, Milan. Teorie tváření. 1. vyd. Brno: VUT-FSI, 1992, 167 s. ISBN 80-214-0415-9.

MACHÁČEK Zdeněk a Karel NOVOTNÝ. Speciální technologie I. -Plošné a objemové tváření. 1.vyd. Brno: VUT-FSI, 1986, 168 s. 55-552/1-86.

NOVOTNÝ Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Praha: SNTL, 1980, 214 s. 04-234-80.

Termín odevzdání bakalářské 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

Bakalářská práce se nejprve zabývá základní teorií o technologii stříhání, jejího procesu a kvalitě střížné plochy. Dále se zaměřuje na technologii postupového stříhání. Jsou důkladně popsány její výhody a nevýhody, přičemž je dále porovnává s dalšími způsoby stříhání ve stříhadlech. Následuje popis jednotlivých součástí stříhadla, uvedení jejich funkce a využití. Je proveden rozbor materiálových požadavků na nástroje a uvedení jejich tepelného zpracování. Poslední část je zaměřena na zhodnocení a přínos této technologie.

Klíčová slova

postupový střížný nástroj, střížník, střížnice, konstrukce nástroje, materiál nástroje

ABSTRACT

The bachelor thesis first covers the basic theory of shearing technology, its process and the quality of the shearing surface. Then it focuses on the technology of progressive shearing. Its advantages and disadvantages are thoroughly described, and furthermore it is compared with other shearing methods in cutting dies. This is followed by a description of the individual components of the die and an explanation of their function and use. The material requirements of the tools are discussed and their heat treatment is presented. The last part is focused on the evaluation and contribution of this technology.

Keywords

progressive cutting die, punch, die block, die design, die material

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽANDA, Jakub. *Charakteristika postupového stříhání* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149231>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marek Štroner.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Charakteristika postupového stříhání vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Jakub Žanda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Také děkuji rodině a kamarádům za podporu při studiu.

OBSAH

Zadání práce
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE STRÍHÁNÍ	10
1.1 Kvalita střížné plochy	11
1.2 Síly působící během střížného procesu	13
1.3 Způsoby stříhání	15
2 TECHNOLOGIE POSTUPOVÉHO STRÍHÁNÍ	17
2.1 Porovnání s ostatními technologiemi stříhání ve stříhadlech	18
2.2 Konstrukce postupového střížného nástroje	18
2.3 Materiály	27
3 ZHODNOCENÍ A PŘÍNOS	31
ZÁVĚR.....	32

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk

ÚVOD

Strojírenství je jedním z nejvíce rozšířených průmyslových odvětví na celém světě. V současnosti se strojní součásti (obr. 1) dají vyrábět různými technologiemi. Patří mezi ně například obrábění, slévání, tváření, svařování a mnohé další. Jednou z nejvýznamnějších je tváření.

Podílí se na celosvětové produkci součástí splňujících nejnáročnější požadavky na přesnost, mechanické vlastnosti, ale i na tvarovou složitost, které by nebyly dosažitelné pomocí jiných technologií. Umožňuje dosáhnout vysoké produktivity v malosériové i velkosériové výrobě, při zachování vysoké jakosti a nízkých materiálových nákladů. Tváření materiálů se dělí podle charakteru působící síly na dynamické (kování) a statické (válcování). Dále se dělí podle teploty, při které zpracováváme materiál, na tváření za tepla (obr. 3) a za studena. Poslední dělení je podle geometrické charakteristiky na objemové a plošné tváření. Plošné tváření, mimo jiné, zahrnuje technologii stříhání, již se zabývá tato práce.

Úkolem bylo udělat rešerši na téma postupového stříhání (obr. 4). Jednotlivými cíli pak bylo porovnat tuto metodu s jinými technologiemi, popsat konstrukci těchto nástrojů a udělat rozbor materiálových požadavků.



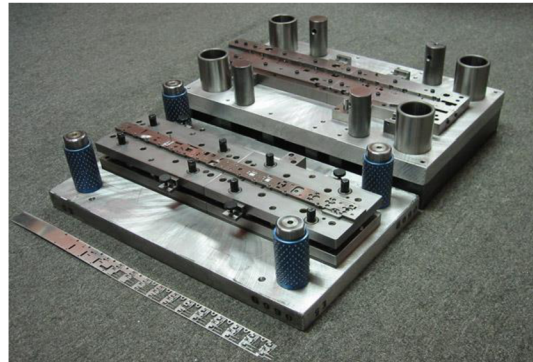
Obr. 1 Strojní součásti [2].



Obr. 2 Technologie tváření [3].



Obr. 3 Tváření za tepla [4].

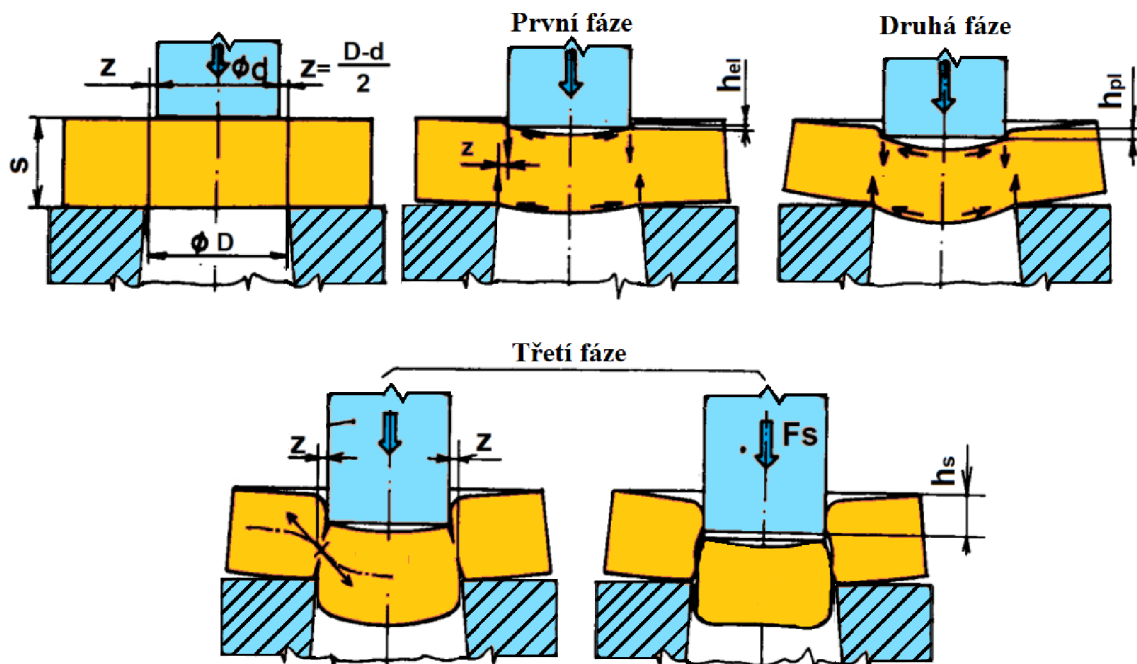


Obr. 4 Postupové stříhání [5].

1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších technologií pro zpracování plechů ve strojírenské výrobě. Jedná se o nejlevnější a nejvýkonnější způsob dělení. Dělí se zejména tabule plechů, ale i tyče kruhových a nekruhových průřezů. Stříhání se provádí většinou za studena, ale u součástí větších průřezů nebo vyšší meze pevnosti se stříhá i za tepla. Touto metodou lze zhotovit finální výrobek nebo polotovár, který je určený k dalšímu zpracování jinými technologiemi. [6; 7]

Podstatou je oddělení materiálu v určité ploše vhodně upravenými protilehlými nástroji. Těmi jsou různé typy břitů nebo nůžek upevněnými ve speciálních strojích, poháněných mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky. Střížný proces (obr. 5) obvykle probíhá vniknutím horního pohyblivého nože do materiálu a prochází těsně kolem spodního, nepohyblivého nože. Proces stříhání se velmi podobá čistému smyku a lze ho rozdělit do třech fází [1; 6; 8; 9]:

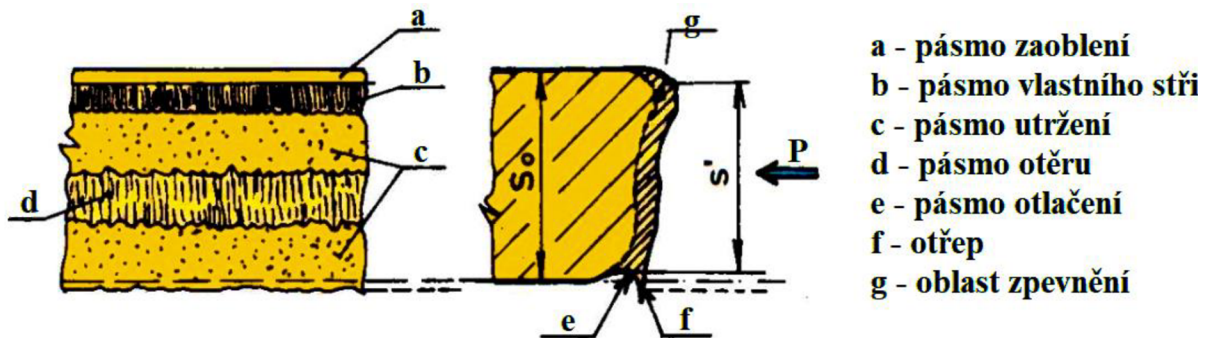


Obr. 5 Průběh stříhání s normální střížnou vřtí [1].

- První fáze – vlivem působení nožů dochází k pružnému vnikání do materiálu. Hloubka vniknutí je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a pohybuje se v rozmezí 5 až 8 % tloušťky plechu. Důsledkem dvojice sil od horního a spodního břítu v materiálu vzniká ohybové napětí, které je menší než mez kluzu – vzniká elastická (pružná) deformace. To znamená, že po odlehčení se materiál vrátí do původního stavu.
- Druhá fáze – napětí v materiálu je větší než mez kluzu, takže dochází k trvalým (plastickým) deformacím. Jejich velikost je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a velikosti dosaženého napětí. Na konci této fáze dosahuje napětí meze pevnosti ve stříhu. Hloubka vniknutí dosahuje 10 až 25 % tloušťky plechu.
- Třetí fáze – následkem překročení meze pevnosti ve stříhu, dochází k oddělení. Nejprve vzniká takzvaný nástřih, při kterém vznikají malé trhlinky u hran střížnice a střížníku. Nerovnoměrné působení tlaku má za následek změnu směru tahových normálových vláken. Obdobně se mění i směr trhlinek a dochází k jejich šíření a následnému oddělení materiálu. Rychlost šíření trhlin je závislá na jeho mechanických vlastnostech.

U tvrdého a křehkého materiálu dojde k oddělení téměř okamžitě, avšak u měkkého a houževnatého je tento proces pomalý. Trhliny se pak zejména šíří ve směru největšího smykového napětí, v úhlu 45° ke směru tahových vláken. Proto má střížná plocha na konci procesu tvar písmene S. Zde hloubka vniknutí nabývá až 60 % tloušťky materiálu.

Po oddělení materiálu vzniká střížná plocha, viz obrázek 6. Skládá se z několika částí. V první fázi stříhání vzniká pásmo zaoblení, následně pásmo vlastního stříhu, které slouží jako ukazatel tvrdosti. Za předpokladu, že vůle mezi noži a tloušťka materiálu jsou konstantní, platí, že čím je materiál měkčí, tím širší je pásmo stříhu. V poslední třetí fázi vzniká pásmo utržení, které tvoří největší část. Proto se využívá k posouzení kvality stříhu. Trhliny vznikají u obou nožů současně a svým postupováním se většinou setkají uprostřed, čímž vytvoří střížnou plochu. Nemusí se však vždy setkat přesně svými čely. To má za následek vznik třísky nebo zátrhu na povrchu střížné plochy. Ty se poté mohou nashromáždit pod místem stříhu a mohou tak způsobit problémy, např. při přesném děrování, když se dostanou mezi pohybující se části nástroje. Dalším místem pro posouzení kvality plochy je pásmo otláčení od spodního nože. V této malé oblasti může dojít ke vzniku nežádoucího otřepu v důsledku vytažení materiálu tahovými složkami napětí. [6; 9; 10]

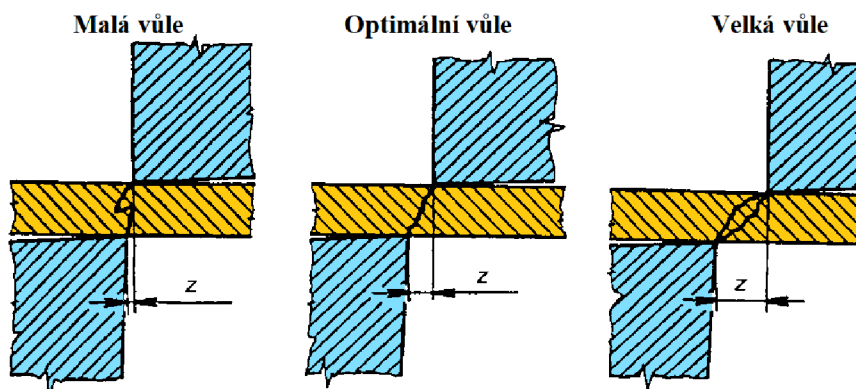


Obr. 6 Střížná plocha [1]

1.1 Kvalita střížné plochy

Abychom dosáhli kvalitního stříhu, tzn. bez ostřin, je nutné zachovat určité podmínky, mezi které například patří kvalita ostří nožů a vůle mezi nimi, způsob stříhání, vlastnosti stříhaného materiálu a další. To klade určité požadavky na obsluhu stroje a jeho údržbu. Následkem nesplnění těchto požadavků může být vznik nekvalitní střížné plochy nebo dokonce zničení břitů, popřípadě celého stroje. Proto je nutné, aby obsluha před použitím těchto strojů byla s požadavky obeznámena. [1; 8; 10]

Největším faktorem ovlivňujícím kvalitu je střížná mezera neboli vůle mezi noži (obr. 7). Její velikost je závislá na materiálových charakteristikách materiálu ale také na jeho tloušťce. Správná střížná mezera by měla být stanovena tak, aby při stříhu vznikali trhlinky současně u obou nožů a spojili se v jednotnou střížnou plochu. Při příliš nadměrné vůli vzniká působením nožů na horní hraně materiálu zaoblení a na spodní hraně vzniká otřep. Tyto jevy jsou zpravidla výraznější u měkkých materiálů. [6; 7; 8; 9]



Obr. 7 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy [8].

Optimální vůle se volí v závislosti na funkci střížného nástroje. Při otupených nebo zaoblených břitech nástroje se zpravidla volí hodnota větší. Vůle se obvykle vyjadřuje v procentech tloušťky materiálu, nebo jako absolutní hodnota v závislosti na typu a tloušťce materiálu (tab. 1). Lze ji také vypočítat pomocí následujících vztahů [8; 9]:

$$z = \frac{k \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}}{6,32} \text{ pro } s \leq 3 \text{ mm} \quad (1.1)$$

kde: k – koeficient závisící na typu lisu, volí se v rozmezí 0,005 až 0,035 [-],
 s – tloušťka plechu [mm],
 τ_s – pevnost ve stříhu [MPa].

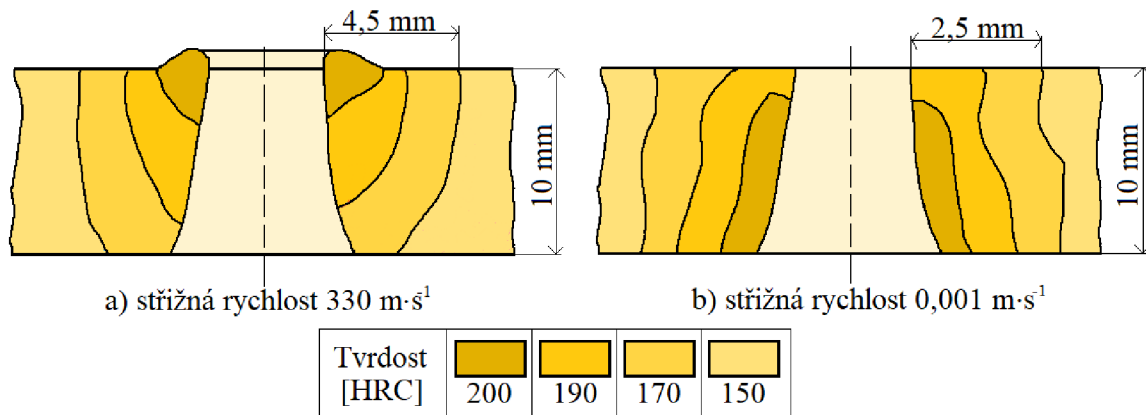
$$z = \frac{(k \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s}}{6,32} \text{ pro } s > 3 \text{ mm} \quad (1.2)$$

kde: k – koeficient závisící na typu lisu, volí se v rozmezí 0,005 až 0,035 [-],
 s – tloušťka plechu [mm],
 τ_s – pevnost ve stříhu [MPa].

Tab. 1 Absolutní hodnota vůle v závislosti na typu a tloušťce materiálu [9].

Tloušťka materiálu s [mm]	Materiál			
	Nízkouhliková ocel, měď a mosaz	Ocel s obsahem uhlíku od 0,20 % do 0,25 %	Ocel s obsahem uhlíku od 0,40 % do 0,60 %	Hliník
0,25	0,01	0,015	0,02	0,01
0,5	0,025	0,03	0,035	0,05
1	0,05	0,06	0,07	0,1
1,50	0,09	0,09	0,1	0,15
2	0,1	0,12	0,14	0,2
2,5	0,13	0,15	0,18	0,25
3	0,15	0,18	0,21	0,28
3,5	0,18	0,21	0,25	0,35
4	0,2	0,24	0,28	0,4
4,5	0,23	0,27	0,32	0,45
4,8	0,24	0,29	0,34	0,48
5	0,25	0,3	0,36	0,5

Dalším faktorem ovlivňujícím kvalitu je střížná rychlost. Se zvyšující se rychlostí se zlepšuje drsnost povrchu pásma vlastního stříhu a pásma utržení. Zároveň se také mění rozložení zpevnění materiálu (obr. 8), potřebná střížná práce a životnost nástrojů [10].

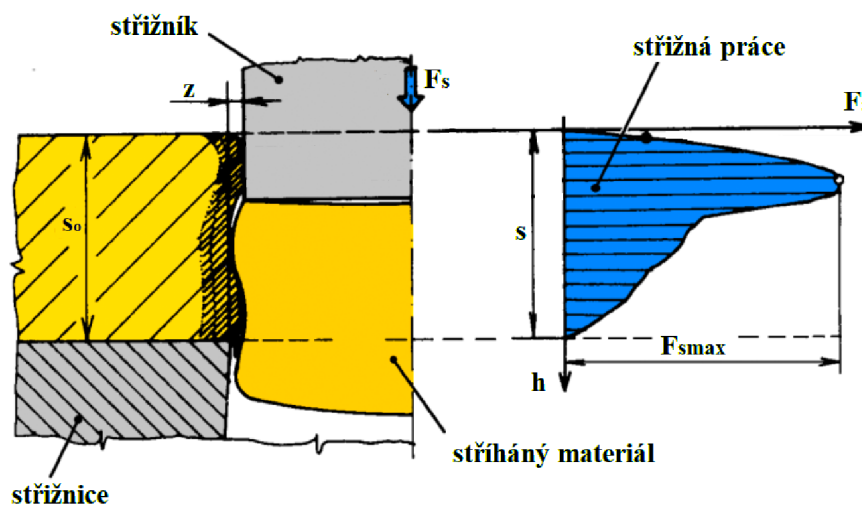


Obr. 8 Rozložení zpevnění v okolí stříhu při různých rychlostech [10].

Jak již bylo zmíněno, v blízkosti střížné plochy dochází k trvalé deformaci. S rostoucím stupněm deformace zde proto dochází ke zpevnění stříhaného materiálu a poklesu jeho tvárnosti. Maximálních hodnot přetvoření, tudíž i maximálního zpevnění, je dosaženo v těsné blízkosti střížné plochy. Zpevnění se projevuje rostoucím odporem materiálu proti přetvoření a je ovlivněno kromě střížné rychlosti také teplotou. Překročením kritické meze kluzu vzniká plastická deformace volným pohybem dislokací. Zpevnění vzniká zastavením a nashromážděním dislokací před překážkami. Následky zpevnění lze odstranit vyžiháním nebo obrobením. [1; 10]

1.2 Síly působící během střížného procesu

Při stříhání paralelními noži působíme na plech protilehlými silami, které dosahují určitého maxima (obr. 9). Dosáhnou ho v okamžiku, kdy v materiálu začnou vznikat trhlinky, následně začnou klesat. Po oddělení materiálu v celé ploše pozvolně klesnou síly na nulovou hodnotu. Důvodem pozvolného poklesu je protlačování výstřížku otvorem střížnice. Profil průběhu střížné síly není příhodný. Prudký vzrůst síly a její náhlý pokles má za následek vznik rázů v mechanismech stroje, což může vést až k jeho poškození. [6; 8; 10]



Obr. 9 Průběh střížné síly [1].

Při reálném procesu stříhání nevzniká čistý smyk, nýbrž kombinované namáhání. Částečným ohybem plechu vzniklým působením sil, se zvětšuje jeho průřez. Významnou roli také hraje kvalita ostří nožů. Z těchto důvodů je skutečná maximální síla zvětšena o 15 až 30 % a je určena vztahem [6]:

$$F_{smax} = S \cdot \tau_{ps} \cdot (1,15 - 1,30), \quad (1.3)$$

kde: S – obsah střížné plochy [mm^2],
 τ_{ps} – pevnost ve stříhu [MPa].

Pomocí síly lze získat potřebnou práci k ustřížení plechu. Vypočte se jako integrál plochy (obr. 9), znázorňující průběh síly v závislosti na hloubce vniku nože. Pro reálný průběh ale neexistuje žádné matematické vyjádření funkce, proto se nahrazuje vztahem pro výpočet poloviny plochy elipsy [8]:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot F_{smax} \cdot h, \quad (1.4)$$

kde: F_{smax} – maximální střížná síla [N],
 h – hloubka vniku nože [mm].

Působením dvojicí sil na stříhaný materiál dochází k naklonění plechu ve směru působení momentu dvojice sil o úhel α . Zároveň se nože, které přenášejí tyto síly, zatlačují do materiálu, jak je znázorněno na obrázku 10. Moment sil F lze odstranit momentem přidržovače nebo silami T působícími na hřbetu nožů, a platí vztah [10]:

$$F \cdot a = T \cdot t, \text{ bude } T = F \cdot \frac{a}{t}, \quad (1.5)$$

kde: F – síla nože [N],
 T – síla na hřbetu nože [N],
 a – vzdálenost působišť sil nožů [mm],
 t – vzdálenost sil na hřbetu nožů [mm].

Bude-li použito přidržovače, síla F_p bude zabraňovat natáčení na rameni p , a dostaneme vztah [10]:

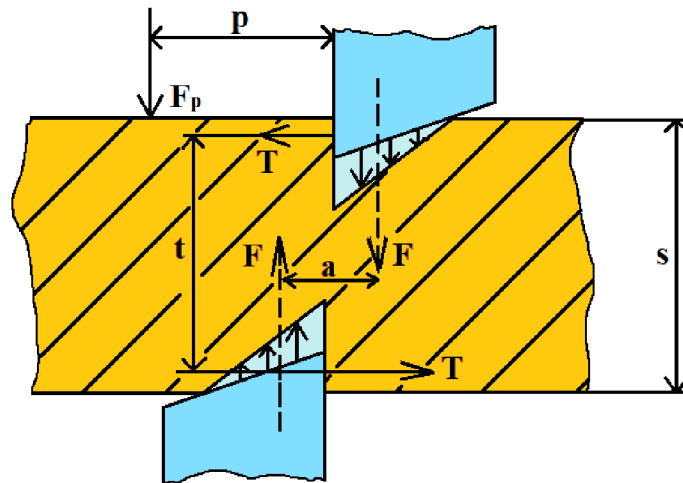
$$F \cdot a = F_p \cdot p, \quad (1.6)$$

kde: F – síla nože [N],
 F_p – síla přidržovače [N],
 a – vzdálenost působišť sil nožů [mm],
 p – vzdálenost působišť síly přidržovače od nože [mm],
 $p = 10 \cdot a$. (1.7)

Z předchozího vztahu lze vyjádřit a vypočítat velikost síly F_p [10]:

$$F_p = \frac{F}{10}, \quad (1.8)$$

kde: F – síla nože [N],
 F_p – síla přidržovače [N],
 a – vzdálenost působišť sil nožů [mm],
 p – vzdálenost působišť síly přidržovače od nože [mm].



Obr. 10 Síly při stříhání [10].

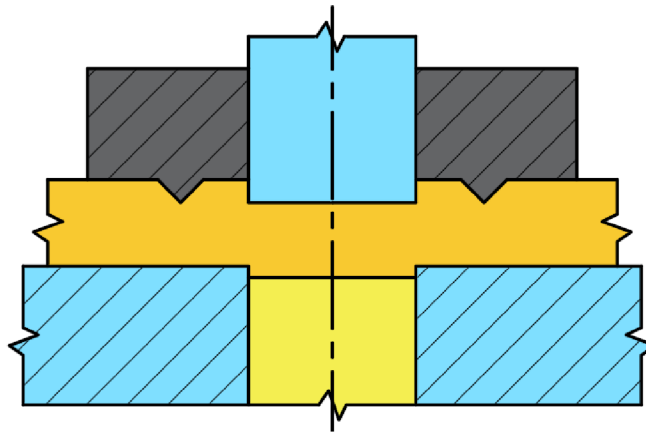
Přidržovač se běžně používá pouze na jedné straně stříhané součásti. To může mít za následek vzniku nekvalitní střížné plochy. Tomuto efektu lze zabránit použitím přidržovače (či podložky) i na straně druhé. [10]

1.3 Způsoby stříhání

Jak již bylo zmíněno, při plošném stříhání působíme na materiál vhodně upravenými nástroji tak, aby se materiál ustříhl v požadované ploše. Stříhání je možné z hlediska konstrukce strojů, nožů a jejich pohybu dělit na [6; 8]:

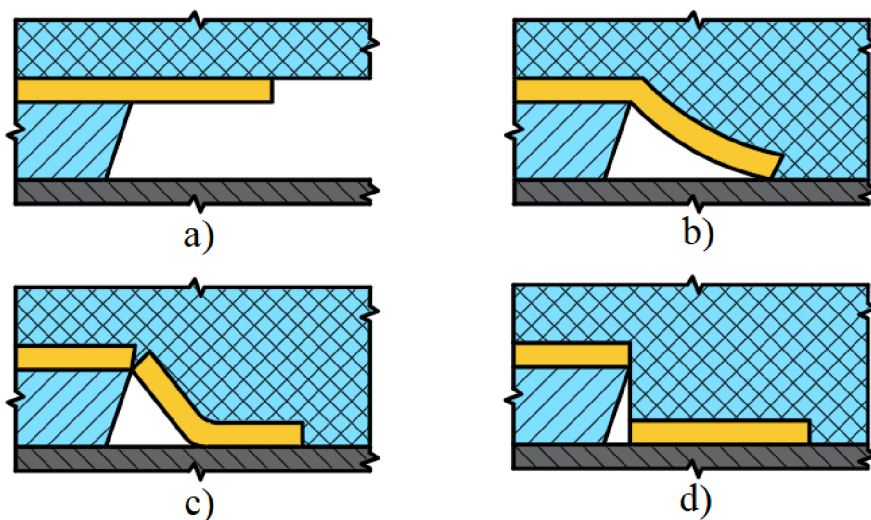
- Stříhání na nůžkách s paralelními noži – plech je oddělován naráz v celé své šířce, což má za následek rychlý nárůst a pokles síly. Tento jev je nepříznivý, jelikož způsobuje v mechanismech stroje rázy.
- Stříhání na nůžkách se skloněnými noži – odstraňuje nedostatky metody s paralelními noži, použitím nožů skloněnými pod určitým úhlem. Plech poté není stříhán v celé své šířce naráz, ale postupně. Pracovní zdvih potřebný pro ustřížení plechu je oproti předešlé metodě větší a je přímo úměrný úhlu sklonění nože. Dochází ke značnému snížení střížné síly, ale ke zvýšení celkové práce o práci deformační, nutnou pro ohyb materiálu. Určitou nevýhodou je deformace ustřížené části, která vzniká postupným ohýbáním při působení nožů. Využívá se k dělení tyčí kruhového, čtvercového a obdélníkového průřezu, profilů tvaru U, I a tenkostěnných trubek.
- Stříhání kruhovými noži – probíhá plynule bez rázů, ale prodlužuje se doba stříhání. Mezi hlavní výhody patří téměř bodový styk nožů, což dává možnost pro manipulaci s plechem v jeho rovině. Umožňují tedy stříhat i tvarově složité součásti, a proto se jim také někdy přezdíívá křivkové nůžky.
- Stříhání ve stříhadlech – je jednou z nejrozšířenějších metod pro výrobu plechových součástí. Lze jí vyrábět finální výstřížky nebo polotovary, které jsou určené k dalšímu zpracování jinými technologiemi. Mezi základní operace patří děrování, vystříhování obvodu nebo nastříhování. V zásadě se neliší od stříhání na nůžkách, jedinou rozdílností je tvar břitu, který ve většině případů tvoří uzavřenou křivku. Výchozím materiálem jsou pruhy plechu nastříhané z tabulí, nebo pásy plechu odvíjené ze svitků, které jsou z hlediska automatizace provozu výhodnější. Podle složitosti, tvaru a rozměrů výstřížku, velikosti série, životnosti nástroje a dalších parametrů, lze stříhadla rozdělit na jednoduchá, vícenásobná, postupová, sloučená a sdružená.

- Přesné stříhání – principem je ovlivnění tečení a utržení materiálu během procesu tak, aby se odehrálo v požadovaném místě a ne tam, kde se vlivem nepříznivého stavu napjatosti odděluje sám. Snahou je rozšířit oblast vlastního stříhu na celou tloušťku plechu. Toho je možné dosáhnout vytvořením stavu trojosé napjatosti, nebo použitím metody, která dodatečně přistřihuje malou část konce střížné plochy. Přesné výstřížky lze zhotovit buď v jedné operaci, do které spadá například stříhání se zápornou vůlí, reverzní stříhání a další, nebo ve dvou operacích. V první operaci se vystřihne součástka v rozměru větším, než je konečný rozměr. Ve druhé, se tento přídavek z polotovaru následně odstříhuje. Další možností je využití přidržovače (obr. 11). V počáteční fázi je materiál sevřen mezi přidržovač a střížnici, takže tlačná hrana je zatlačena do plechu ještě před samotným stříhem.



Obr. 11 Přesné stříhání [10].

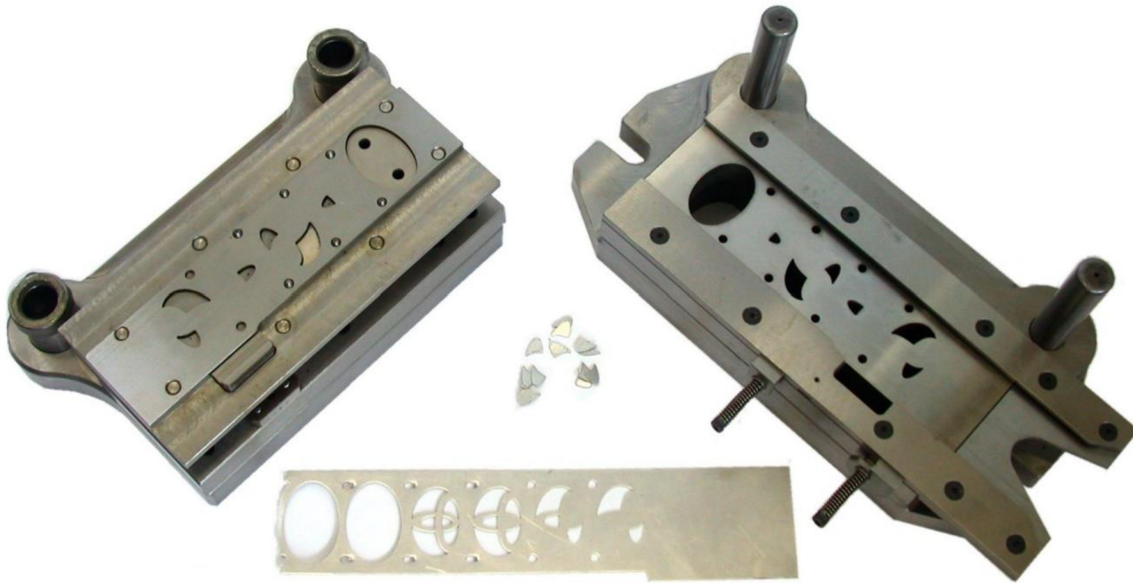
- Stříhání pružným prostředím (obr. 12) – využívá se zejména v kusové nebo malosériové výrobě. Pro odstřížení plechu se používá speciálně upravený nástroj, jehož střížnice je nahrazena pryžovými deskami. Nedochozí zde ke klasickému odstřížení, nýbrž k utržení plechu. Mezi hlavní výhody patří zejména jednoduchost nástroje, nízké pořizovací náklady, rychlá příprava výroby a možnost stříhat několik různých součástí zároveň. Nevýhodou je velký odpad, menší výkon a malá životnost pryže.



Obr. 12 Stříhání pružným prostředím [10].

2 TECHNOLOGIE POSTUPOVÉHO STŘÍHÁNÍ

Stříhadla patří k nástrojům pro tváření za studena a jsou zařazeny mezi lisovací nástroje. Mezi hlavní části stroje patří zejména střížník a střížnice. Materiál, v podobě plechu, se vkládá mezi ně a je nejčastěji veden vodícími lištami. Jeho posuv mezi jednotlivými kroky (zdvihy) je řízen dorazy. Při postupovém stříhání (obr. 13) se součástka zhotovuje postupně na více kroků. V prvním kroku se obvykle děruje a v dalších se vystřihuje samotný obvod. K vymezení správné polohy nového plechu, která nám zajistí požadovanou přesnost, slouží takzvaný načínací doraz. Další kroky jsou řízeny pomocí pevných koncových dorazů. [6]



Obr. 13 Postupové stříhání [11]

Postupové stříhání je díky vysoké opakovatelnosti ideální pro velkosériovou výrobu. Využitím plechových svitků zajistíme kontinuální dodávku materiálu do stroje, což umožňuje delší výrobní série bez přerušení a výroby většího počtu dílů za kratší dobu. Proto je metoda ideální pro rychlou a cenově efektivní výrobu tvarově složitých součástí při zachování vysoké opakovatelnosti mezi jednotlivými výstřižky. [12]

Jakmile je pracovní stanice zprovozněna, k obsluze je zapotřebí pouze jedna osoba, která dohlídí na samotný proces. Snížení počtu pracovníků dále zvyšuje cenovou efektivitu a snižuje celkové výrobní náklady. Implementací elektronického monitorovacího zařízení není k dohledu nad procesem zapotřebí žádná fyzická osoba. Stroj může být tedy ponechán bez dozoru a výrobci nemusí platit za další pracovní sílu. [13; 14]

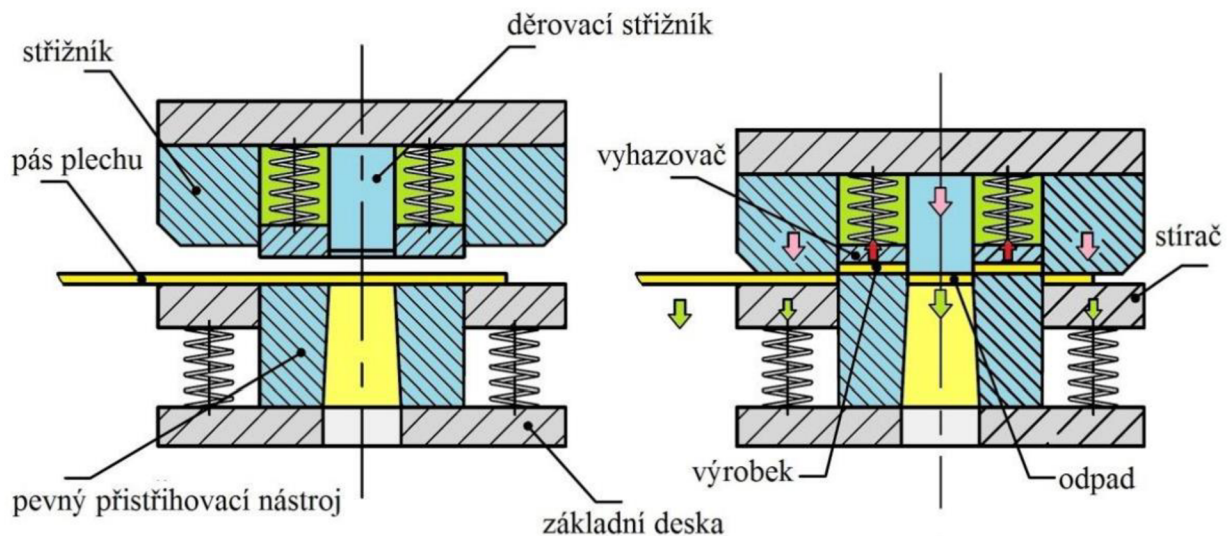
Ve srovnání s ostatními metodami je z hlediska využití materiálu postupové stříhání velmi ekonomické. Díky několika postupným operacím v jednom cyklu a dobrému nástřihovému plánu, lze využít téměř veškerý materiál a zůstává tak jen minimální množství odpadu. To je ještě umocněno využitím kontinuální dodávky materiálu v podobě plechových svitků. [13; 15]

Další výhodou postupového stříhání je možnost vyrábět tvarově velmi složité a propracované geometrie s relativně vysokou přesností. Nevýhodou může být vysoká pořizovací cena celého zařízení, a proto se spíše hodí pro velkosériovou výrobu. Metoda zároveň není úplně vhodná k výrobě rozměrných součástí. [12; 16; 17]

2.1 Porovnání s ostatními technologiemi stříhání ve stříhadlech

Stříhání ve stříhadlech lze rozdělit na několik typů [6, 12; 18; 19; 20]:

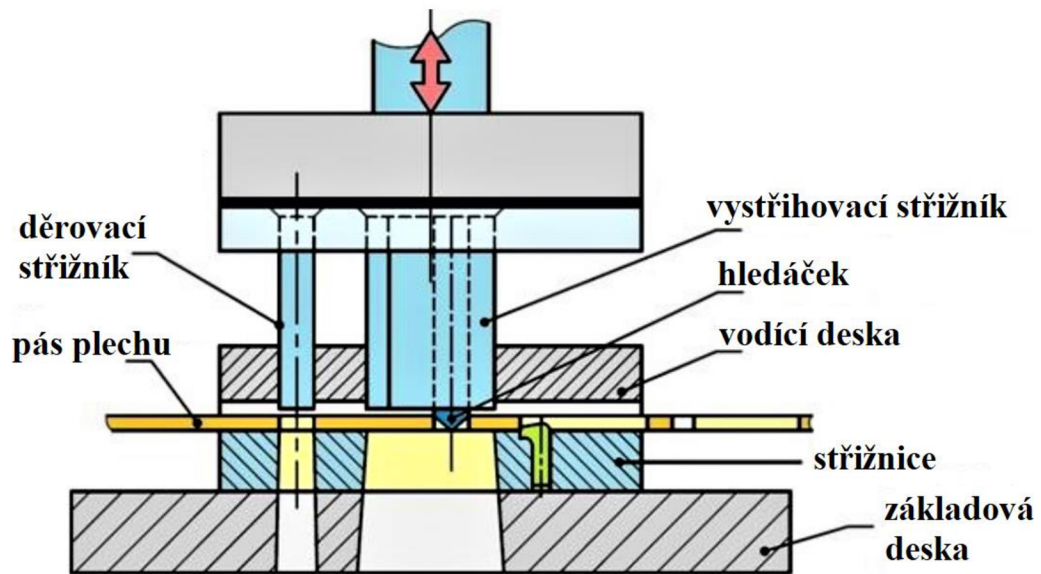
- Jednoduché – výstřížek se zhotovuje na jeden zdvih. Slouží pro výrobu tvarově jednoduchých součástí a není vhodné pro hromadnou výrobu.
- Vícenásobné – funguje na stejném principu jako jednoduché stříhadlo, přičemž se na jeden zdvih vyrobí více stejných součástí, proto nalézá uplatnění i v hromadné výrobě.
- Sloučené (obr. 14) – na jeden pracovní zdvih provádí více střížných operací. Metoda je ideální pro výrobu plochých součástí, ve střední až velkosériové výrobě. Důležitým faktorem u sloučeného stříhání je rychlost. Ta je ovlivněna zejména velikostí výstřížku. Větší součásti opouštějí střížný nástroj pomaleji a zpomalují tak celkovou výrobu. Proto je metoda vhodná spíše pro výrobu menších, jednodušších součástí. Mezi hlavní výhody patří menší náklady na střížné části nástroje než u postupového stříhání a díky výrobě na jeden zdvih, jsou součásti rovnější. Proto nachází uplatnění i u technologie přesného stříhání. Pro výrobu tvarově složitějších součástí kvůli složité konstrukci nástroje není sloučené stříhání nejvhodnější.
- Sdružené – konstruuje se jako postupové, kdy je výlisek zhotoven na více zdvihů, nebo jako sloučené, kdy se provádí více operací na jeden zdvih. Kromě stříhání lze na strojích provádět další tvářecí operace jako je ohýbání, protahování, nebo jiné. Díky kombinaci technologií je možné vytvořit finální výrobek na jednom stroji. Tím se snižuje potřeba instalovat více pracovních stanic, což má za následek menší náklady. S dobrým návrhem stroje lze dosáhnout vysokých přesností a malého odpadu. Pro velkosériovou výrobu je metoda cenově velmi efektivní.



Obr. 14 Sloučené stříhadlo [21].

2.2 Konstrukce postupového střížného nástroje

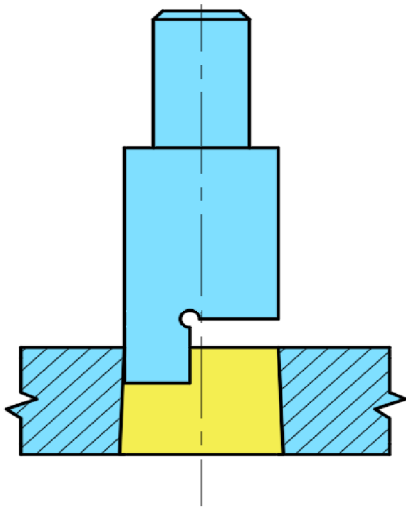
Při určování konkrétní konstrukce postupového střížného nástroje (obr. 15) je třeba vzít v úvahu 2 hlavní faktory. Jak složitý bude vyráběný díl a jak velká bude série. Zároveň je nutné při návrhu soustředit pozornost na správné ustavení a výrobní přesnost jednotlivých dílů nástroje. [10; 22]



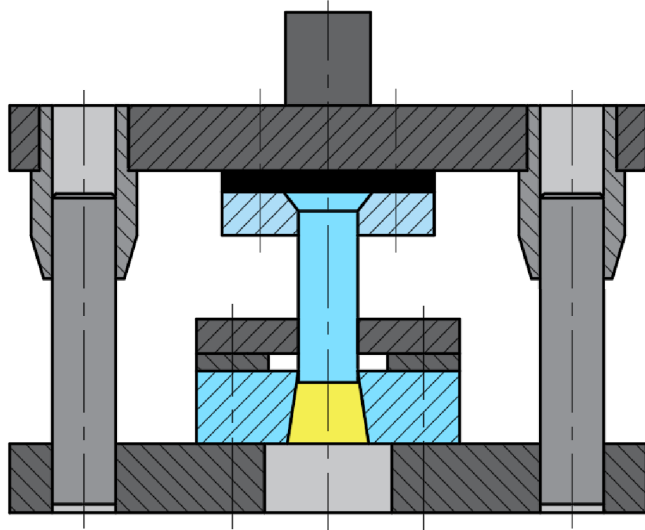
Obr. 15 Konstrukce postupového střížného nástroje [21].

Jedním z nejdůležitějších faktorů, který ovlivňuje kvalitu výstřížku je způsob vedení. Střížné nástroje proto dělíme do těchto skupin [23]:

- Otevřené – skládají se z větší dolní části nazývané střížná skříň. Je upnuta k lisu a je složena ze základové desky, střížnice a upínacího kroužku. Charakteristickým znakem je, že nemá žádné vedení pohyblivé (horní) části. Následkem je nerovnoměrná a měnící se střížná mezera (vůle) a to značně ovlivňuje životnost nástroje a kvalitu výstřížku. Produktivita je nízká a náklady na konstrukci jsou také minimální. Využívá se pro stříhání s velmi nízkými požadavky na přesnost a kvalitu střížné plochy.
- S vedením ve vodící desce (obr. 15) – střížná skříň se skládá ze základové desky, střížnice a vodící desky. Jejich poloha a spojení je zabezpečena pomocí šroubů a válcových kolíků. Funkční části nástroje jsou vedeny pomocí vodící desky, čímž se eliminuje vliv vůle a pružných deformací lisu. Zároveň deska slouží i jako stírač. Životnost je oproti otevřenému nástroji značně vyšší. Taktéž je vyšší produktivita a kvalita výstřížku. Nachází uplatnění v malosériové, sériové i hromadné výrobě.
- S vedením vodícími sloupky – vedení horní pohyblivé části nástroje proti spodní, je realizováno pomocí sloupků a pouzder, které jsou upevněny v základové, respektive upínací desce. Celý tento systém se nazývá vodící stojan. Zaručuje nám velmi dobrou přesnost vedení střížníku proti střížnici a tím zvyšuje i životnost celého nástroje. Zároveň má velmi vysokou tuhost a je schopen eliminovat boční vnější síly. Využívá se u velkosériové a hromadné výrobě.
- Vedení s vodícím válcem – funguje na stejném principu jako předchozí typ. Rozdíl je pouze v tom, že pohyblivá část (střížník) je upnuta ve válci, který je uložen v pouzdře. V praxi se ale tento typ vedení často nepoužívá.
- S vedením ve střížnici (obr. 16) – nepotřebuje další konstrukční prvky, jelikož konec střížníku je upravený tak, aby ani v horní úvratí neopustil otvor střížnice. Tato zasunutá část zároveň funguje jako doraz. Využívá se jako poslední operace u postupových nástrojů k bezodpadovému dělení pásu.
- Kombinované vedení (obr. 17) – využívá kombinaci několika zmíněných metod. Nejčastěji vedení pomocí sloupků a vodící desky. Tím se zajistí maximální přesnost a životnost nástroje.



Obr. 16 Vedení střížníku ve střížnici [23].

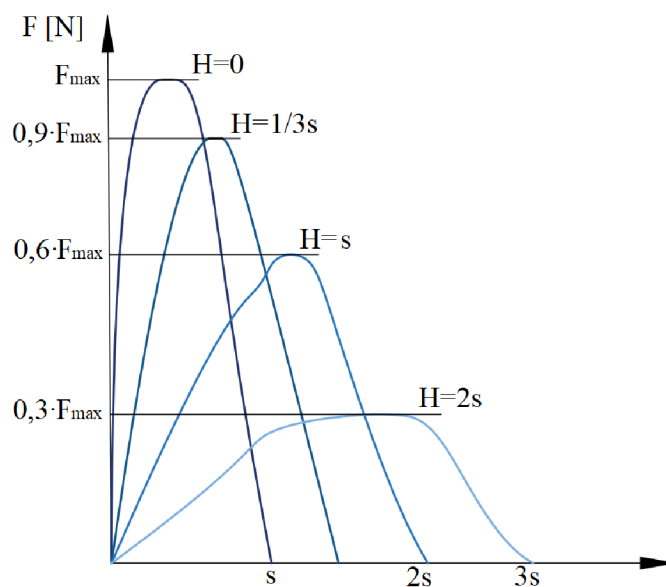


Obr. 17 Kombinované vedení [23].

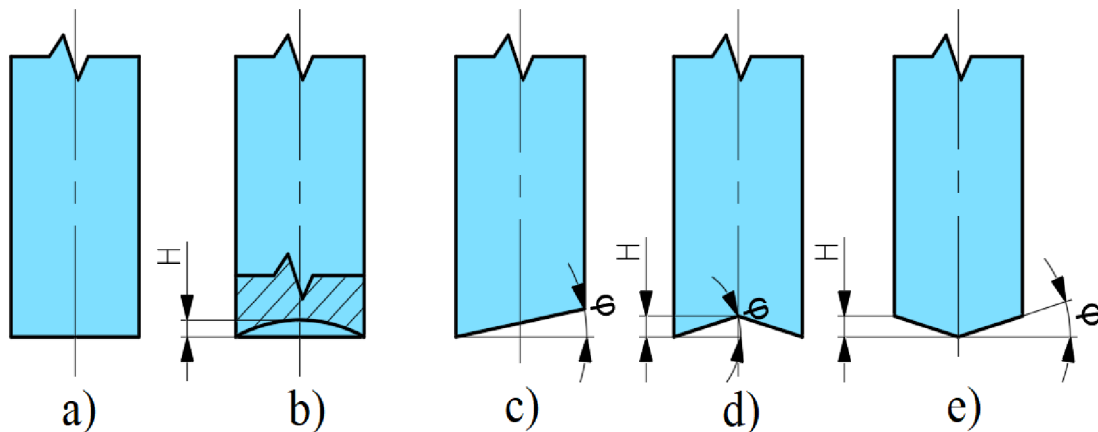
Jednou z nejdůležitějších součástí celého nástroje je střížník, který tvoří pohyblivou funkční část nástroje. Vyrábí se standardní střížníky určené pro stříhání kulatých, obdélníkových a čtvercových otvorů, které jsou normalizovány. Z ekonomického hlediska jsou výhodnější, ale ne vždy mohou být pro výrobu dostatečné. Lze také objednat nástroje s konkrétním požadovaným tvarem, které jsou ale naopak dražší. Při návrhu střížníku je nutné dbát především na konstrukci s ohledem na to, aby se neprohýbal, aby byl dostatečně pevný a vydržel stírací sílu, a také aby se během provozu nemohl otáčet. [9; 23]

Během střížného procesu na něj působí velké síly. Příčinou je jeho rovná plocha, které má za následek, že se celý obvod výstřížku stříhá najednou. Vhodnou úpravou geometrie lze tuto sílu snížit (obr. 18). Další výhodou je lepší středění nástroje, kdy se břit zatlačí do plechu a nemůže po něm klouzat. Možné úpravy střížníků jsou zobrazeny na obrázku 19. [9; 10]

Dle určitých společných znaků se střížníky dělí do dvou skupin. Podle způsobu upínání a podle celistvosti. Způsob upínání hraje hlavní roli v zabezpečení správné polohy, dodržení minimální odchylky od kolmosti vedení a zachycení stírací síly po odstřížení materiálu. [23]



Obr. 18 Závislost střížné síly na úpravě střížníku [10].



Obr. 19 Úprava střížníku [9].

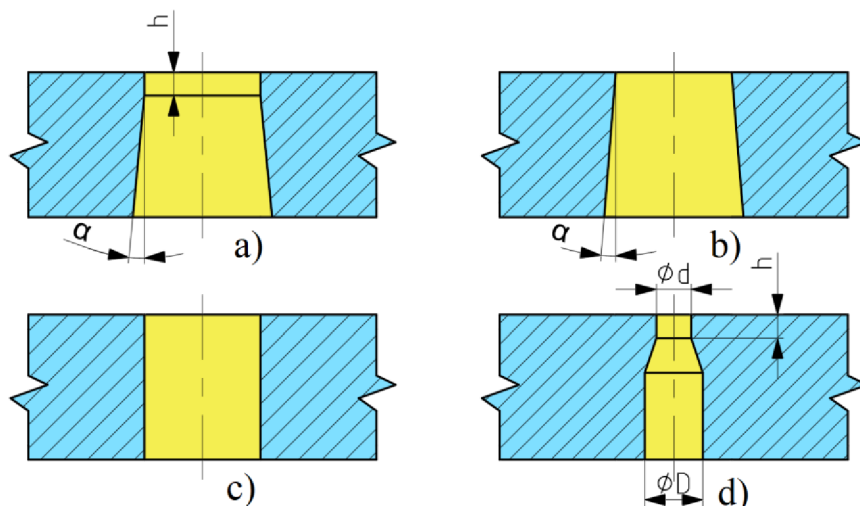
Mezi upínací způsoby patří [23]:

- Roznýtování horní části – nejčastější a nejjednodušší způsob. Z pevnostního hlediska tento způsob úpravy není možno uplatnit u tenkých a dlouhých střížníků. Další nevýhodou je malá přesnost upínací a opěrné plochy.
- Válcové nebo kuželové osazení – zajišťují nám lepší přesnost uložení. Výroba je sice nákladnější, přičemž může dojít ke vzniku napětí v přechodové oblasti vlivem tepelného zpracování, ale přesnější tvar nám zajistí správné uložení a spolehlivost provozu.
- Za přírubu – pomocí šroubů lze upínat střížníky větších rozměrů podle velikosti zatížení přímo do upínací desky, nebo s využitím opěrné desky.
- V pouzdře – jsou zajištěné bez vůle vyměnitelné střížníky, které slouží pro stříhání malých otvorů. Výhodou je zkrácení funkční části střížníku, čímž dodržíme štíhlostní poměr, aby vyhovoval na vzpěr. Další výhodou je snadná a rychlá vyměnitelnost.
- Rychloupínací ukončení – pomocí kuličky a šroubu nebo kuličky a pružiny. Využívá se zejména u častého vyměňování nástrojů.

Dále můžeme rozdělit střížníky podle celistvosti [23]:

- Celistvé – jsou od funkční části až po upínací část z jednoho kusu materiálu. Tímto způsobem je řešena většina střížníků malých a středních rozměrů a jednoduchých tvarů.
- Vložkované – u středních a velkých střížníků se střížné hrany vložkují z nástrojové oceli (spékaných karbidů atd), které jsou rozebíratelně upnuté za nosnou část z běžné konstrukční oceli. Ulehčí se tak výměna funkční části a její ostření, sníží náklady na výrobu a údržbu nástroje.
- Skládané – složitých tvarů střížníků se nástroj skládá z více jednoduchých částí a vzniká tak skládaný střížník.

Protikusem ke střížníku je střížnice, která tvoří nepohyblivou funkční část nástroje. Kvůli vysokým požadavkům na její kvalitu je nejdražší součástí celého nástroje. Mezi hlavními požadavky je, že musí být vyrobena bez přechodů a broušená, popřípadě vyjiskřená. Musí být také zalícována se správným předpětím, v zesláblých místech podepřena tvarovými vložkami a vyrobena s tlačnými hranami odpovídající technologickým směrnicím, s ochrannými ploškami proti jejím poškozením. Její tvar a rozměry jsou závislé na tvaru a rozměru výstřížku. Ve střížnici jsou zhotovené funkční díry tvořící břit. Jejich profily (obr. 20) jsou závislé na účelu a požadované toleranci výstřížku. [10; 23]



Obr. 20 Úprava střížnic [9].

Na obrázku 20a je znázorněn profil s fazetkou. Zaručuje nám nejkvalitnější výstřížek, proto je také nejdražší. Její životnost je dána počtem broušení až do odbroušení celé fazetky, tedy znehodnocení střížnice. Aby bylo možné hranu brousit vícekrát, musí být její výška větší, než je tloušťka samotného plechu. Rozměry se volí podle tabulky 2. Typ b se používá zejména pro vystřihování menších součástí s malou přesností nebo pro plechy o větších tloušťkách. Je charakteristický svým úhlem podbroušení, který se volí v závislosti na tloušťce plechu dle tabulky 3. Nejjednodušším profilem je typ c, který se zejména využívá pro vystřihování větších součástí. Po vystřihnutí součástka nepropadá skrz střížnici, ale vrací se zpět. Poslední typ je určen pro stříhání malých otvorů do průměru 5 milimetrů. [9; 23]

Tab. 2 Výška fazetky v závislosti na tloušťce materiálu [9].

Tloušťka materiálu s [mm]	<0,5	0,5 až 5,0	5,1 až 10,0
Výška h_f [mm]	3,0 až 5,0	5,1 až 10,0	10,1 až 15,0

Tab. 3 Úhel podbroušení v závislosti na tloušťce materiálu [23].

Tloušťka materiálu s [mm]	Úhel podbroušení α
0,1 až 0,5	10' až 15'
0,5 až 1,0	15' až 20'
1,0 až 2,0	20' až 30'
2,0 až 4,0	30' až 40'
4,0 až 6,0	40' až 1°

Podle velikosti a složitosti výstřížku, se střížnice dělí na [23]:

- Celistvé – vyrábějí se z jednoho kusu materiálu a využívají se pro malé a jednoduché výstřížky. Z hlediska montáže a údržby se zhotovují otvory pro hlavy šroubů v horní části vodící desky a závit v základové.
- Skládané – dělí se na více tvarově jednodušších částí, které jsou zalisované do ocelové desky. Ta obepíná všechny části s přesahem. Kromě zalisování lze jednotlivé části smontovat také pomocí šroubů a kolíků. Skládané střížnice jsou jednodušší na výrobu, ale složitější na montáž. Umožňují snížit spotřebu nástrojových ocelí, rozdělit složité tvary a zabránit nežádoucím deformacím.
- Vložkové – mají podobné výhody jako střížnice skládané. Využívají se zejména ve velkosériové a hromadné výrobě, kde se vyžadují větší nároky na přesnost a odolnost

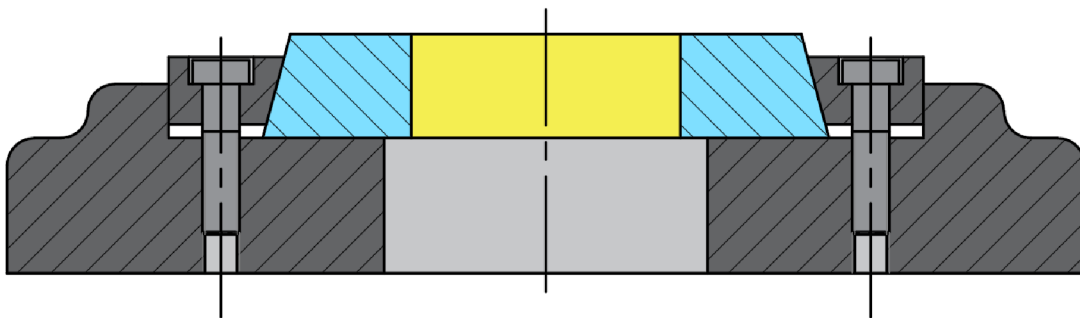
proti opotřebení. Proto se nejčastěji využívají pro postupové střížné nástroje. Vložky mají obvykle jednoduchý vnější tvar, nejčastěji válcový, pro přesné a jednoduché ustavení do desky střížnice. Ta je obvykle vyráběna z nástrojové oceli, přičemž vložky jsou ze spékaných karbidů, nebo je vyrobena z konstrukční oceli a vložky z nástrojové oceli nebo spékaných karbidů. Vložky jsou upevněny pomocí šroubů, přírubou nebo jsou zalisovány.

Střížnice jsou součástí celku zvaného střížná skříň. Jedná se o celou nepohyblivou dolní část nástroje, upevněnou na stole lisu. Dělí se podle tvaru a uspořádání na kruhové nebo pravoúhlé. [23]

Kruhové obvykle nemají vodící desku a jejich součástí jsou jednoduché obyčejné nástroje pro tvorbu větších kruhových výstřížků. Jsou složeny ze základní desky, střížnice a upínacího kroužku, které jsou pomocí šroubů smontovány v jeden celek. Upínací plocha skříňe je obvykle provedena jako kuželová (obr. 21) nebo válcová s osazením. [23]

Pravoúhlé skříňe mohou být s vedením nebo bez. Bez vedení jsou určeny pro malosériovou výrobu s většími rozměrovými tolerancemi. Spolu se základní deskou představují jednoduché, laciné nástroje. Jelikož není střížník nijak vedený do střížnice, má stříhadlo jisté nevýhody, které poté ovlivňují jeho použití. [23]

Častěji se proto používají pravoúhlé skříňe s vedením (obr. 15). Skládají se ze základové desky, na které je usazena střížnice a vodící lišty. Skříň je uzavřena vodící deskou, která je upevněna pomocí šroubů a válcových kolíků, a slouží k vedení střížníků. [23]

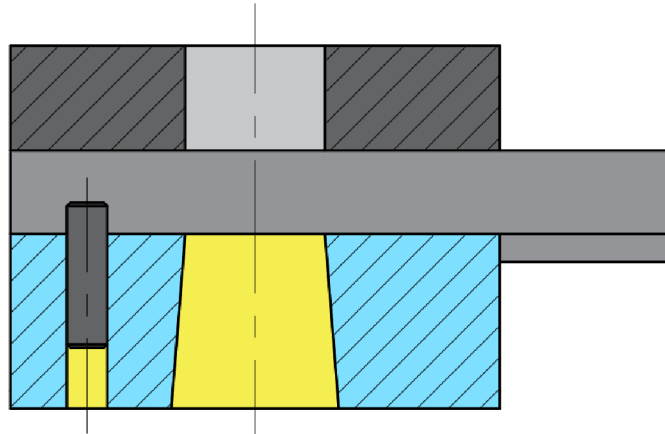


Obr. 21 Střížná skříň s upínací kuželovou plochou [23].

V postupových nástrojích a obecně u výstřížků které se zhotovují na více operací, je potřeba k dosažení správné tvarové a rozměrové návaznosti dobré ustavení pásu plechu, a to jak na začátku procesu, tak i v jeho průběhu. V automatizovaném provozu nám tuto přesnost zajistí podavač plechu, jehož pohyb je vázaný na pohyb lisu. Při ručním podávání se dosáhne požadované přesnosti pomocí dorazů. [23]

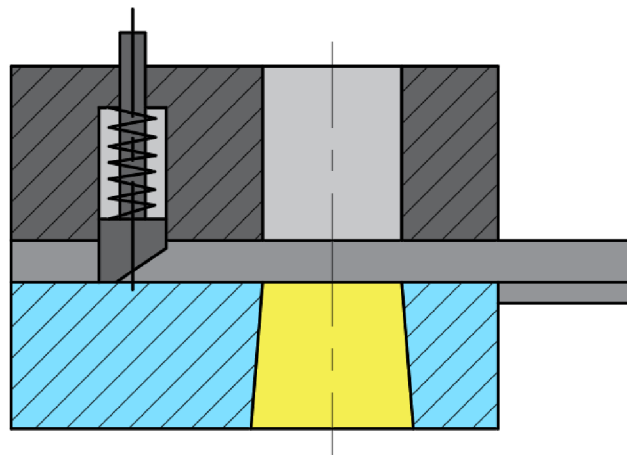
Doraz je součástka, která přichází do styku se stříhaným materiálem a zajišťuje jeho správné ustavení. Správně zvolený a zkonstruovaný doraz nám značně přispívá k správnému a hladkému chodu celého stroje a také prodlužuje jeho životnost. Při kusové nebo malosériové výrobě se nemusí z ekonomického hlediska vyplatit doraz konstruovat a lze lisovat i bez něj. Většinou se ale využívají a dělí se na [23]:

- Pevné – určené pro výrobu malých sérií. Nejčastěji v podobě kolíku zalisovaného do střížnice (obr. 22) nebo vodící desky. Vyrábí se i jako kolíky s osazením. Zde ale hrozí k odlomení hlavy vlivem posunutí plechu, proto se součástka zušlechťuje. Tím se sníží riziko na minimum. Při konstrukci je třeba mít na paměti, že po vykonání operace se pás musí uvolnit, aby mohlo dojít k posunutí o další krok.



Obr. 22 Pevný doraz [23].

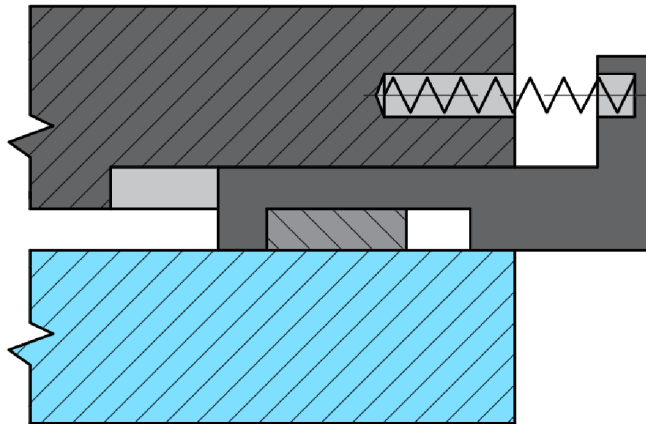
- Zpětné – využívají se při případech, kdy je příliš malá tloušťka vodících lišt, tedy je malá mezera i mezi střížnicí a vodící deskou. To nastává při stříhání tlustých plechů, u kterých zároveň hrozí zlomení pevného dorazu. Po provedení operace se pás posune o trochu více než jeden krok a následně se vrátí na funkční plochu dorazu, čímž dojde k ustavení. Je nutné, aby byl doraz dostatečně zajištěn v uložení proti pootočení. Lze ho realizovat jako pevný nebo s odpružením (obr. 23), buď ve střížnici nebo vodící desce. Vždy má zhotoven úkos na náběhové straně, který musí zasahovat až pod čelní rovinu střížnice.



Obr. 23 Zpětný doraz [23].

- Pro stříhání bez odpadu – patří k automatickým typům. Mají malou přesnost, jelikož deformace odstříhované části na počátku procesu způsobuje ztrátu kontaktu výstřížku s dorazem. Přesnost se dá ale zvýšit vhodnou úpravou čela střížníku. Vložka tvořící doraz se vkládá do otvoru ve vodící desce, přičemž zasahuje až pod čelo střížnice. Slouží zároveň jako vedení střížníku. Lze ho také realizovat jako součást skládaného střížníku, kdy slouží jako opěrná i vodící část současně (obr. 16).
- Vnější – využívá se pro stříhání dlouhých výstřížků bez odpadu tam, kde by jiné řešení zbytečně prodloužilo konstrukční řešení nástroje a zároveň se nekladou vysoké požadavky na přesnost.
- Načínací – slouží pro zajištění polohy pásu plechu při jeho zavedení do nástroje před vykonáním prvního pracovního zdvihu. Využívají se u postupových nástrojů a podle počtu kroků se používá jeden nebo více dorazů. Po provedení počáteční operace, jsou další kroky řízeny pomocí pevných dorazů, přičemž načínací se vyřadí z provozu. Proto

se při jejich konstrukci využívá pružin (obr. 24). Stlačením se doraz uvede do pracovní polohy a tím v určitém místě zastaví posuv materiálu.



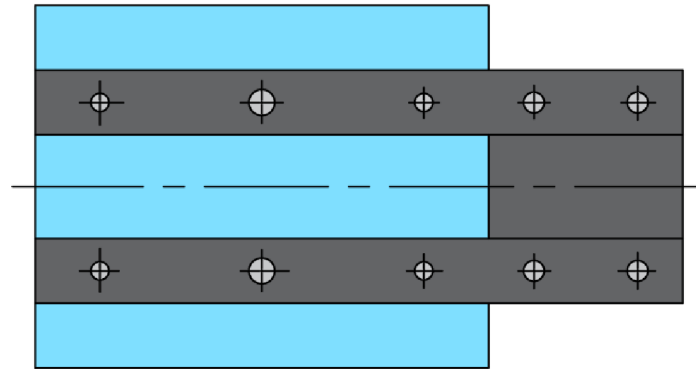
Obr. 24 Načínací doraz [23].

- S přestřihováním mostíku odpadu – používá se pro oddělení pásu plechu po vykonání požadovaných operací. Je uložen jako samostatná součást ve střížníku tak, aby zasahoval do vystřiženého otvoru z předešlé operace.
- Boční nastříhovací – jsou určené pro přesné podávání materiálu v postupových nástrojích. Nastříhovací střížník oddělí úzký proužek z okraje pásu plechu s délkou rovnou velikosti kroku. Tímto způsobem vznikne na plechu dorazová plocha kolmá na směr posuvu, která se po posunutí dostane na hranu dorazu vloženého do vodící lišty. Využívají se u plechů do tloušťky 2 mm.
- Automatické – svojí funkcí jsou kvalitnější než přechozí a nevyžadují zvýšenou spotřebu materiálu. Pracuje na principu, kdy se pás buď tlačení nebo tažením dostane do kontaktu s pomocným dorazovým kolíkem. Ten je poté na začátku zdvihu celý zatlačen do otvoru střížnice.

U postupových nástrojů je nutné, aby děrované otvory byly přesně polohované proti vystřihovanému vnějšímu obvodu. Tuto přesnost nám s určitou tolerancí zajistí dorazy ve směru podávání plechu. Z boku nám ji pak zabezpečí vodící lišty (obr. 25). [23]

Slouží k tomu, aby nám zajistili správné ustavení a vedení plechu napříč jednotlivými pracovními polohami. Vzdálenost mezi lištami musí odpovídat šířce plechu a jeho toleranci. Kvůli tolerancím vzniká mezi plechem a lištami malá vůle, a proto je nutné pro upřesnění polohy využít dalších prvků, například hledáček. Vedení pásu se obvykle řeší dotlačením na základovou (pravou) lištu a tím se vůle vymezi jednostranně. [23]

Při použití pevných vodících lišt tuto úlohu plní obsluha a nelze tak vyloučit vliv na přesnost výroby. Proto se jedna z lišt upravuje pomocí pružných konstrukčních součástí, která ji odpruží buď celou, nebo jen některou její část tak, aby ji vždy dotlačovala na základovou lištu. Vedení se vycentruje a zaručí opakovatelnost i při různých šířkách pásu plechu. [23]



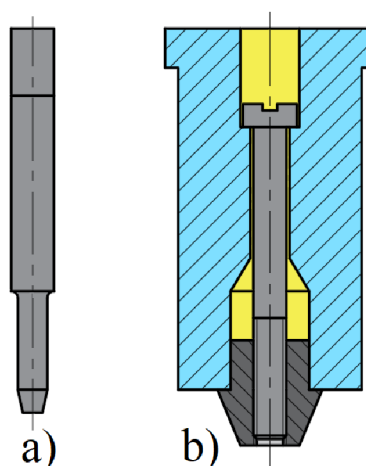
Obr. 25 Vodící lišty [23].

Jsou-li požadavky na přesnost vyšší, než to umožní dorazy a lišty, tak se obvykle použijí hledáčky. Jedná se o pomocné polohovací součástky střížníků, které před stříháním zpřesní polohu výstřížku a udrží ji i během procesu. Zaručují správnou vzájemnou polohu děrovaného otvoru proti vystřihovanému obvodu. Při procesu se hledáček dotkne nejprve svojí kuželovou náběhovou částí povrchu děrovaného otvoru. Poté se bočním posuvem plech vycentruje a hledáček se zasune až po válcovou plochu. Celý proces se musí provést ještě před samotným dotykem funkčních ploch střížníku. [23]

Centrování výstřížku lze rozdělit na [23]:

- Přímé – využívají se funkční otvory výstřížku. Používají se tam, kde je nebezpečí vzniku deformace otvoru při zasunutí hledáčku. Proto metoda není vhodná pro tenké hliníkové nebo měděné plechy.
- Nepřímé – využívá se tam, kde není možné centrovat pomocí otvorů výstřížku. Ať už kvůli malým rozměrům, nebo velké blízkosti. Z tohoto důvodu se otvory pro centrování děrují mimo obrys výstřížku, v odpadové části jako technologické otvory.

V případě přímého centrování se hledáčky konstruují jako součást vystřihovacího střížníku. Pro díry do průměru 10 mm se využívají hledáčky na obrázku 26a, které se nejčastěji ustavují roznytováním jeho opěrného konce. Díry, které mají průměr větší, se centrují pomocí hledáček se závitem (obr. 26b). [23]



Obr. 26 Hledáček [23].

Základová deska je hlavním stavebním dílem celého nástroje. Z hlediska rozměrů se jedná o největší dílec, který slouží k upnutí ke stolu lisu. Jejím účelem je zabezpečit tuhost celého systému, který je na ní uložen. Konstruuje se v podobně kruhových nebo pravoúhlých desek

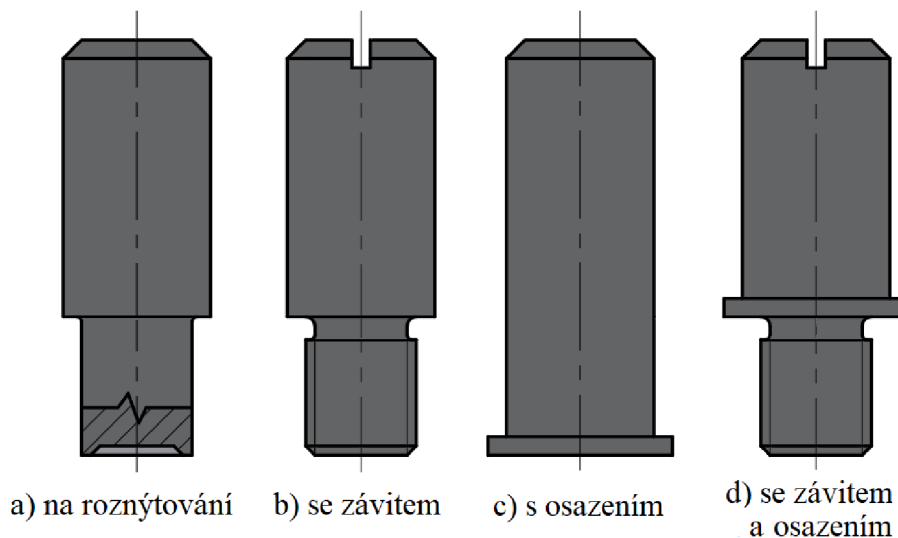
s otvory, vybráními a osazeními pro zabezpečení polohy dalších prvků. Mohou být konstruovány samostatně nebo součástí vodících stojánků. V takovém případě jsou v nich obvykle nalisovány vodící sloupky. [23]

Upínací deska je základní součást pohyblivé horní části nástroje, ke které se upínají další prvky, zejména střížníky. Podobně jako základová deska, se může konstruovat samostatně nebo jako součást vodícího stojanu, do níž jsou nalisovány vodící pouzdra. [23]

Kotevní deska slouží k uložení funkčních částí a pomocí ní se upevňují k upínací desce. Je nutné, aby v ní byl dostatečný prostor pro kotevní prvky jako jsou například kotevní kolíky, osazení střížníků nebo pouzdra pro uložení malých střížníků. K upínací desce je přidělena buď přímo nebo je ještě podložena opěrnou deskou. [23]

Ty jsou v přímém kontaktu s opěrnými plochami funkčních částí a slouží k rozložení zatížení na větší plochu, čímž zabráňují jejich otlacení v upínací desce. Většinou se jedná o tvrdé zušlechtnuté desky. Jejich tloušťka bývá od 4 mm do 10 mm. [23]

Upínací stopky se využívají pro upnutí horní části malých a středních nástrojů do lisu. Jsou normalizované a nejčastěji se používají základní typy zobrazené na obrázku 27. Při konstrukci je nutné dodržet geometrickou toleranci kolmosti válcové plochy stopky na horní rovinu upínací desky. Zároveň je také potřeba, by byla upevněna v nástroji v místě těžiště všech jeho sil, čímž se zabrání vzniku momentů. Pokud nebudou tyto podmínky dodrženy, naruší se funkčnost stroje a sníží se tak jeho životnost. [23]



Obr. 27 Typy upínacích stopek [23].

2.3 Materiály

Vhodná volba materiálu jednotlivých součástí postupového střížného nástroje je z hlediska správné funkce, spolehlivosti a životnosti zásadní. Zároveň má také velký vliv na hospodárnost. Výběr materiálu a jeho tepelné zpracování je závislé především na typu nástroje, způsobu namáhání, druhu zpracovávaného materiálu a také na velikosti série. [10; 24]

Mezi nejčastěji využívané patří zejména [9; 10; 24]:

- Konstruktivní oceli – volba je závislá na způsobu a velikosti namáhání, předpokládaným tvarem a technologií výroby. V dnešní době vývoj směřuje k používání co nejmenších rozměrů s co nejlepšími technologickými vlastnostmi, avšak to nemusí být z hlediska

hospodárnosti nejvýhodnější. Proto se častěji používají běžné nástrojové oceli, které jsou levnější, dostupnější a dají se lépe obrábět. U konstrukčních ocelí jsou rozhodujícím faktorem mechanické vlastnosti. Obvykle používané jsou uvedeny v tabulce 4. Využívají se nejčastěji pro nefunkční méně namáhané díly, u kterých je ale kladen důraz na mechanické vlastnosti. Mohou také ale nalézt uplatnění jako funkční díly sloužící pro menší série.

Tab. 4 Přehled konstrukčních ocelí pro výrobu střížných nástrojů [24].

Ocel		Vhodnost použití	Tepelné zpracování	
Typ	Onačení		Tvrдость [HRC]	
Neušlechtilé	11 107, 11 110	Na drobné součásti nástrojů.		
	11 340, 11 370	Pro méně namáhané součásti, opěrné desky.		
	11 373, 11 375, 11 353, 11 423, 11 523	Pro svařování konstrukčních dílů nástrojů.		
	11 500, 11 600	Pro klíny, pera, upínací a kotevní desky.		
Zušlechťované	12 060, 12 061	Stírače, upínací hlavice, stopky, opěrné vložky.	Zušlechťeno	50 až 58
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	Šroubové, talířové, listové pružiny.		43 až 48
	14 260, 14 220	Talířové, nejvíce namáhané pružinové součásti.		45 až 46
	42 6450.2	Pružiny.	Popouštěno	
Cementační	12 010, 12 020	Pro klíny, pera, upínací a kotevní desky.	Cementováno	60 až 62
	14 120, 14 220	Stírače, upínací hlavice, stopky, opěrné vložky.		61 až 63
Na odlitky	42 2640, 42 1650	Šroubové, talířové, listové pružiny.		

- Nástrojové oceli – jsou slitinou železa a dalších prvků, které nám příznivě ovlivňují vlastnosti jako jsou prokalitelnost, zvýšení odolnosti proti opotřebení nebo zjemnění zrna. Dělí se na nelegované, středně a vysoce legované, a určené k cementování. Legující prvky v oceli zvyšují výkon a životnost až po tepelné úpravě. Špatně provedená úprava může mít za následek přesně opačné účinky. Pro výrobu funkčních částí nástroje, jimiž jsou například střížníky, střížnice, opěrné a kotvicí desky, se nejčastěji používají chromované oceli, méně pak manganové nebo uhlíkové. Přehled používaných ocelí je zobrazen v tabulce 5.

Tab. 5 Přehled nástrojových ocelí pro výrobu střížných nástrojů [24].

Typ	Značení dle ČSN	Vhodnost použití
Ledeburitické a subledeburitické	19 436, 19 437, 19 438, 19 571, 19 572, 19 581	Pro střížné nástroje s nízkými nároky na houževnatost a dobrými střížnými podmínkami.
Nízkolegované	19 312, 19 713, 19 422, 14 200	Pro výrobu střížníků kvůli dobré rozměrové stálosti.
Pro velké tlaky	19 655, 19 614, 19 662	Pro střížné nástroje náchylné na vylamování břitů z důvodu velkých střížných sil.
Odolné proti rázu	19 256, 19 421	Pro součásti náchylné na velké rázy.
Uhlíkové oceli	19 221, 19 191, 19 222, 19 192, 19 152, 19 132	Pro méně namáhané střížné nástroje.
Odolné proti rázu a ohybu	19 733, 19 732, 19 740, 19 452	Pro střížné nástroje namáhané na ohyb, tlak a vystavené rázům.

- Litiny – u větších, méně namáhaných součástí lze použít litiny. Oproti ocelím jsou lehčí a lze snížit kapacitu třískového obrábění. Použití je proto ekonomicky výhodné. U dílů namáhaných malým tahovým nebo ohybovým napětím je dostačující i šedá litina. Využívá se zejména u vodících součástí, kde grafit ve struktuře slouží jako mazivo. Dále se používá také očkovaná litina, která má díky jemnému lamelárnímu perlitu velmi dobré mechanické vlastnosti. Tepelným zpracováním lze také zlepšit pevnost a houževnatost. Dalším zástupcem je tvárná litina, která je z ekonomického hlediska výhodná díky mnohostrannosti kombinací mechanických vlastností. Tepelným zpracováním je lze dále upravovat a dosáhnout tak požadovaných vlastností. Z uvedených litin se vyrábí základové desky, stírače, vodící pouzdra a jiné větší součásti. Nejvhodnější litiny jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Přehled litin pro výrobu střížných nástrojů [24].

Typ	Značení dle ČSN	Vhodnost použití
Šedá	42 2430, 42 2425	Více namáhané tlustostěnné součásti, stojánky.
Očkovaná	42 2456	Součásti, u kterých se vyžadují dobré kluzné vlastnosti, ložiska.
Tvárná	42 2304, 42 2305, 42 2303	Desky namáhané dynamicky, vyšší tlaky.

- Slinuté karbidy – se stále se zvyšujícími nároky na vlastnosti nejen střížných nástrojů byly vyvinuty slinuté karbidy. Jsou tvořeny z karbidu wolframu a kobaltu, který slouží jako pojivo, případně jsou ještě doplněny dalšími karbidy (titanu, tantalu, niobu). Vyznačují se vysokou pevností a oteruvzdorností, při zachování dobré houževnatosti. Využívají se při výrobě střížníků a střížnic nebo jen jejich částí.
- Neželezné kovy – Mnoho neželezných kovů se používá při konstrukci nástrojů, přípravků a upínacích přípravků. Mezi ně patří zejména slitiny hliníku, hořčíku, mosazi

a bronzu. Přestože jsou neželezné kovy a slitiny dražší než železné kovy, mají důležité využití díky mnoha pozitivním vlastnostem, jako je nízká hustota, odolnost proti korozi a snadná výroba. Slitiny hliníku se využívají kvůli vysokému poměru pevnosti a hmotnosti, snadné obrobitelnosti a odolnosti proti korozi. Slouží jako dočasné střížnice, omezené výrobní série, tělesa přípravků nebo jiné speciální účely. Slitiny mědi jsou výhodné pro aplikace, kde je zapotřebí pevnost, odolnost proti korozi, tepelná vodivost a odolnost proti opotřebení. Nejběžněji používané jsou slitiny mědi a cínu, tedy bronzu. Existují i jiné bronzy, například hliníkový bronz, což je slitina mědi a hliníku, který se nejčastěji používá pro výrobu vodících pouzder. Slitiny na bázi zinku se často používají při tlakovém lití. Lze je rychle odlévat jako střížníky a střížnice pro krátkou, dočasnou výrobu nebo pro experimentální účely malých sérií.

Kromě samotných materiálů je také velmi důležité jejich tepelné zpracování. Vhodně zvolenou úpravou povrchu nástroje je možné dosáhnout lepší tvrdosti, pevnosti, odolnosti proti únavě a otláčení a další. Použité zpracování musí ale zaručovat dobrou přilnavost povrchové vrstvy na základní materiál. Nejčastěji používané metody zpracování povrchu jsou v tabulce 7. Nejžádanější úpravou je zvýšení tvrdosti povrchu. V tabulce 8 jsou uvedené dosažitelné tvrdosti konkrétních zpracování. [23]

Tab. 7 Přehled metod zpracování povrchu [23].

Chemicko-tepelné	Cementování, nitridování, nitrocementování, karbonitridování, boridování, chromátování
Tepelné postupy	Povrchové kalení, návary
Povlakování	Povlaky PVD, CVD, iónové plátování
Elektro-chemické úpravy	Chromování, niklování, kadmiování, zinkování, černění
Mechanické úpravy	Válečkování, kuličkování, lapování, leštění

Tab. 8 Tvrdosti povrchu [23].

Úpravy povrchu	Tvrdost [HV]
Povlaky PVD, CVD	1800-4000
Boridované vrstvy	1200-2000
Nitridované vrstvy ocelí legovaných Al, antikoročních a rychlořezných ocelí	800-1400
Nitridační vrstvy ocelí legovaných Cr	600-1100
Nitridační vrstvy nelegovaných ocelí	300-500
Povrchově kalené oceli	500-750
Cementované kalené vrstvy	600-800
Tvrdě chromované povrchy	750-1000

3 ZHODNOCENÍ A PŘÍNOS

V současné době se lisovací technologie podílí na celosvětové výrobě většiny kovových součástí. Jednou z nich je i postupové stříhání. Technologie je často využívána, jelikož představuje ekonomický a rychlý způsob výroby tvarově složitých prvků velkého množství, přičemž je schopna si udržet relativně dobrou přesnost. Stříhání probíhá postupně na několik zdvihů, čímž je možné zhotovit tvarově velmi složitý výrobek, který by nebylo možné vyrobit jinou technologií. [25]

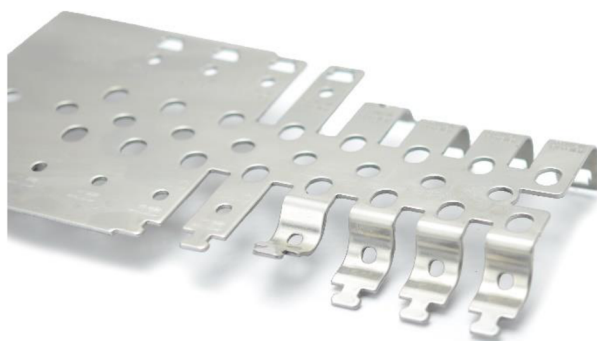
Celý proces je také možné plně automatizovat pomocí počítačových řídicích programů. V současné době je ve většině větších firem proces plně automatizován a monitorován pomocí počítačů. Díky tomu lze zlepšit výrobu a zvýšit tak produktivitu. [26]

Postupové stříhání nachází uplatnění v různých průmyslových odvětvích, jako je například automobilový, letecký, stavební a elektrotechnický průmysl. Největším koncovým uživatelem je automobilní průmysl. Se stále rostoucí poptávkou po nových vozidlech z lehkých a odolných materiálů roste poptávka i po jejich zpracování. Využívá se pro vnější i vnitřní díly automobilu jako jsou panely karosérie, pláště, kryty, vložky, lamely atd. Dalším významným spotřebitelem je elektrotechnický průmysl, kdy tato technologie nachází využití při výrobě rámu a krytů chytrých telefonů, tabletů a notebooků. [26; 27]

I přes to, že je tato technologie velmi efektivní, stále častěji se spíše využívají místo postupových střížných nástrojů nástroje postupové sdružené. Díky kombinaci více tvářecích operací, ji lze uplatnit pro širší škálu výrobků. Oproti postupovému, který vyrábí většinou pouze polotovary, díly určené pro další zpracování, je hlavní výhodou sdruženého to, že se v jednom stroji zhotoví finální součástka. To má za následek kratší výrobní časy a lepší ekonomičnost. Příklady výrobků zhotovených pomocí postupových sdružených nástrojů jsou na obrázku 28 a 29. [27]



Obr. 28 Výrobky zhotovené v postupovém sdruženém nástroji. [28]



Obr. 29 Výrobek zhotovený v postupovém sdruženém nástroji. [29]

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá literární rešerší o postupovém stříhání, konstrukci nástrojů a jejich materiálových požadavků. V první části práce je vysvětlena technologie stříhání a důkladně popsán střížný proces. Jsou popsány síly působící během procesu a vlivy na kvalitu střížné plochy. Následuje rozdělení stříhání z hlediska konstrukce nástrojů a jejich pohybu. Druhá část je zaměřena na samotné postupové stříhání. Jsou v ní shrnuty výhody a nevýhody této technologie, přičemž je dále porovnána s dalšími technologiemi stříhání ve stříhadlech. Jejich použití je závislé na konkrétních situacích a parametrech jako je velikost série, složitost výrobku a další. Postupně jsou pak dopodrobna popsány jednotlivé části nástroje, jejich konstrukce, rozdělení a funkce, které se rovněž odvíjí od použití v praxi. Dále se práce zabývá materiálovými požadavky na nástroje a jejich tepelné zpracování. V poslední části je shrnuto uplatnění v praxi a zhodnocení této technologie.

Postupové stříhání má pořád ve světě své místo. Díky neustálé poptávce po plechových součástech ve všech průmyslových odvětvích, bude nadále využívána i v budoucnu. Technologie je využívána kvůli své přesnosti, možnosti vyrábět složité tvary, rychlosti a ekonomičnosti při velkosériové výrobě. Nutno však podotknout, že se stále častěji využívají postupové sdružené nástroje, které kromě stříhání mohou provádět i další tvářecí operace jako je například ohýbání, a zhotovit tak finální výrobek v jednom stroji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: VUT, 1992, 167 s. ISBN 80-214-0415-9.
 2. Strojní součásti a díly pro průmysl. *Evropská databanka* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/firma-109979-agrozem-opava-opava-vavrovice/strojni-soucasti-a-dily-pro-prumysl-remeny-loziska-retezy-hydraulika-opava>
 3. 6 Common Sheet Metal Forming Processes. Quest tech [online]. 2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://questtech.ca/blog/6-common-sheet-metal-forming-process-techniques/>
 4. Tepelné tváření. *Bohemia rings* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://bohemiaring.com/index.php/tepelne-tvareni/>
 5. Stamping Tool and Die. *Ultra Stamping & Assembly, Inc.* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <http://www.ultrastamping.com/stamping-tool-and-die.html>
 6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001, 238 s.: il. ISBN 80-214-2032-4.
 7. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření. Ústav strojírenské technologie FSI* [online]. Brno, 2006 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
 8. MACHÁČEK, Zdeněk a Karel NOVOTNÝ. *Speciální technologie I: plošné a objemové tváření*. Brno: VUT Brno, 1986, 168 s.
 9. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2014. ISBN 9780831134921.
 10. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Strhávání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
 11. Progressive stamping. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Progressive_stamping#/media/File:ProgressiveDieToyota-strip-scrap.jpg
 12. BHANDARI, Ujjwal. Progressive Die vs. Compound Die: Differences and Advantages. *Eigen engineering* [online]. © Eigen, May 24 2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.eigenengineering.com/progressive-die-vs-compound-die/>
 13. WALTERS, Jeff. 3 ADVANTAGES OF PROGRESSIVE METAL STAMPING SERVICES. *Master Products* [online]. © Master Products, August 03 2021 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.masterproducts.com/manufacturing-industry-news/2021/8/3/3-advantages-of-progressive-metal-stamping-services>
 14. Progressive Metal Stamping and Why It's a Superior Choice. *Mekoprint* [online]. © Mekoprint, 10. June 2021 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://mekoprint.com/news/progressive-metal-stamping-and-why-its-a-superior-choice/>
 15. BHANDARI, Ujjwal. Types of Progressive Tools That You Should Know About. *Eigen engineering* [online]. © Eigen, Jan 3 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.eigenengineering.com/types-of-progressive-tools-that-you-should-know-about/>
 16. Difference Between Progressive Die Stamping And Transfer Press Stamping Processes. *Piping Mart* [online]. © Piping Mart, November 24 2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://blog.thepipingmart.com/other/difference-between-progressive-die-stamping-and-transfer-press-stamping-processes/>
 17. BHANDARI, Ujjwal. What You Need to Know About Progressive Die Stamping. *Eigen engineering* [online]. © Eigen, Oct 9 2019 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.eigenengineering.com/need-to-know-about-progressive-die-stamping/>
-

-
18. Compound vs. Progressive vs. Transfer Die. *Keats Manufacturing* [online]. © Keats Manufacturing Co. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.keatsmfg.com/blog/compound-progressive-transfer-die/>
 19. BHANDARI, Ujwall. Benefits of Using Combination Die For Your Metal Stamping Project: Jan 22 2020. *Eigen engineering* [online]. © Eigen [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.eigenengineering.com/combination-die-for-your-metal-stamping-project/>
 20. Types of Metal Stamping Dies. *Premier Products of Racine* [online]. © Premier Products of Racine, April 27 2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.customrollform.com/blog/types-metal-stamping-dies/>
 21. BRDEČKOVÁ, Zuzana. *Výroba těsnicí lišty k provzdušňovacímu systému*. Brno, 2012. Dostupné také z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53098. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.
 22. Progressive Die Stamping. *Keats Manufacturing* [online]. © Keats Manufacturing Co. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.keatsmfg.com/progressive-die-stamping/>
 23. MORAVEC, Ján a Elena KANTORÍKOVÁ. *Tepelné spracovanie dielov tvárniacich nástrojov: (vybrané kapitoly)*. v Žiline: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS - vydavateľstvo UNIZA, 2022, 140 stran : ilustrace, grafy. ISBN 978-80-554-1883-4.
 24. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s. : il., tabulky, grafy.
 25. CHEOK, B.T. a Andrew NEE. Trends and developments in the automation of design and manufacture of tools for metal stampings. *Journal of Materials Processing Technology*. 1998, **75**(1), 240-252. ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00370-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00370-1)
 26. Metal Stamping Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028. *IMARC Group* [online]. © IMARC Services [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.imarcgroup.com/metal-stamping-market>
 27. TOPE, Ashutosh. Global Metal Stamping Technology Market Industry. *Linkedin* [online]. © Kingsresearch, 23. 1. 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.linkedin.com/pulse/global-metal-stamping-technology-market-industry-covers-ashutosh-tope?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card
 28. Custom Fourslide and Multislide Tooling, Progressive Die Tooling Design and Build. *Franklin Fastener* [online]. © Franklin Fastener [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://franklinfastener.com/processes/tooling/#tab_progressiveDies
 29. High Volume Progressive Die Stamping. *ESI Engineering Specialties* [online]. © ESI Engineering Specialties [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.esict.com/production-metal-stamping/progressive-die/>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	střížná práce	[J]
a	vzdálenost působišť sil nožů	[mm]
D	průměr střížnice	[mm]
d	průměr střížníku	[mm]
F	síla nože	[N]
F _p	síla přidržovače	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _{smax}	maximální střížná síla	[N]
H	výška vybrání střížníku	[mm]
h	hloubka vniku nože	[mm]
h _{el}	hloubka vniku v první fázi stříhu	[mm]
h _f	výška fazetky	[mm]
h _{pl}	hloubka vniku ve druhé fázi stříhu	[mm]
h _s	hloubka vniku v poslední fázi stříhu	[mm]
k	koeficient závisící na typu lisu	[-]
p	vzdálenost působišť síly přidržovače od nože	[mm]
S	obsah střížné plochy	[mm ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
s ₀	původní tloušťka materiálu	[mm]
T	síla na hřbetu nože	[N]
t	vzdálenost sil na hřbetu nožů	
z	vůle	[mm]
α	úhel podbroušení	[°]
τ_s	Pevnost ve stříhu	[MPa]
φ	úhel zkosení střížníku	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
CVD	Chemical Vapor Deposition
HRC	tvrdost dle Rockwella
HV	tvrdost dle Vickerse
PVD	Physical Vapor Deposition