

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI TECHNOLOGIÍ PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

FINEBLANKING COMPONENT AND ITS MANUFACTURING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV LATA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV ŠLAIS

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Lata Miroslav, Bc.

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

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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 součástí technologií přesného stříhání

v anglickém jazyce:

Fineblanking component and its manufacturing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o součást podélného tvaru, která bude stříhána z pásu plechu.

Cíle diplomové práce:

1. Provedení aktuální literární studie se zaměřením na stříhání
2. Zhodnocení současného stavu
3. Návrh technologie tváření a technicko-ekonomické zhodnocení
4. Závěry

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha, SNTL Praha, 1980. 216 s.
2. GUIDI A. Přistřihování a přesné stříhání. 1. vyd. Brno, SNTL Praha, 1969. 140 s.
3. FOREJT, Milan. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
4. FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Šlais

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 29.10.2009





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o návržení nové technologie výroby součástí s názvem „KULISA“ s č. v. 4-DP-05-10/01. Začátek práce je vypracován jako literární studie na téma stříhání. Jsou zde vysvětleny, některé základní pojmy potřebné pro uvedení do problematiky stříhání. Dále je v práci provedeno zhodnocení stávajícího stavu technologie volného stříhu, kterou je součást doposud tvářena. S ohledem na nedostatky dosavadní metody je navržena nová technologie přesné stříhání. V návrhu je zhodnocena technologičnost konstrukce výstřížků a jsou navrženy nástroje pro přesné stříhání včetně pevnostních výpočtů. Závěr práce se věnuje ekonomickému zhodnocení, kde se porovnává hospodárnost stávající a nové technologie.

Klíčová slova

Přesné stříhání, střížná vůle, nátlčná hrana, střížná síla, vystřihovací lis, troj-osý tlak, střížník, střížnice.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with a propose of a new manufacturing technology of component called „KULISA“ drawing number 4-DP-05-10/01. The beginning of this work is prepared as a literary study about blanking. There are explained some basic concepts necessary to introduce a blanking topic. Other interest of this work is an assessment of actual state of conventional blanking technology which is being currently used for component production. With regard to the deficiencies of the existing method is proposed new technology of fine blanking. In the proposal is evaluated technological site of component construction and blanking tools are proposed with stress analysis included. Last part of the work deals with the economic evaluation, where is being compared efficiency of existing and new technology.

Key words

Fine blanking, blanking clearance, impingement ring/stinger, blanking force, blanking press, triple action press, blanking punch, blanking die.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LATA, Miroslav. *Název: Výroba součástí technologií přesného stříhání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60str., 9 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Miroslav Šlais.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Výroba součástí technologií přesného stříhání* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum:

Miroslav Lata

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Miroslavovi Šlaisovi za vedení mé diplomové práce a cenné připomínky a rady při jejím vypracování.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
1 Úvod.....	7
2 ZÁKLADY TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ.....	8
2.1 Stříhání	8
2.1.1 Vznik trhliny	8
2.1.2 Kvalita střížné plochy	9
2.1.3 Výpočet síly a práce pro rovnoběžné nože	10
2.1.4 Výpočet síly a práce pro šikmé nože	12
2.1.5 Rozdělení a popis operací	13
2.1.6 Střih kruhovými noži.....	14
2.1.7 Stříhání profilu.....	14
2.1.8 Střih nepevným nástrojem	15
2.2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ	16
2.2.1 Metody přesného stříhání	16
2.2.2 Technologičnost konstrukce výstřížku	25
2.2.3 Kvalita výstřížků a jejich rozměrová přesnost.....	30
2.2.4 Mazání	31
2.2.5 Materiály vhodné pro přesné stříhání	31
2.2.6 Vady výstřížků a jejich korekce	32
2.2.7 Nástroje pro přesné stříhání	34
3 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	39
3.1 Parametry zadané součásti.....	39
3.2 Stávající technologický postup výroby.....	39
4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	40
4.1 Technologičnost zadané součásti	40
4.2 Konstrukční výpočty.....	41
4.2.1 Nástřihový plán	41
4.2.2 Výpočet celkové síly a práce při přesném stříhání	42
4.2.3 Určení těžiště působících střížných sil	44
4.2.4 Návrh hydraulického lisu	45
4.2.5 Návrh nástroje.....	46
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	49
5.1 Náklady na materiál	49
5.1.1 Výpočet ceny materiálu	49
5.2 Nákladová cena výstřížku	50
5.2.1 nákladová cena stávající technologie	51
5.2.2 nákladová cena nové technologie	53
6 ZÁVĚR.....	56
Seznam použitých zdrojů	57
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	58
Seznam příloh	60

1 ÚVOD

Procesní řetězec při zpracování plechů se za posledních 20 let výrazně změnil. Výrobní operace jako jsou přistřihování, ražení děr a výstřihů se musely provádět samostatně a na různých strojích. Nyní díky technologii přesného stříhání lze operace sloučit a zkrátit tak jejich počet na minimum. Díky používání lisů jako vysoce výkonných automatů výrazně vzrostla produktivita při velkosériové výrobě malých dílů. Dosahuje se lepší kvality střížných ploch a celkově nižších nákladů. Při přesném stříhání vznikají přesné, opakovatelné plechové díly, které lze ihned montovat. Investicí do této technologie se podstatně omezí počet operací až po montáž prvků. Prvotní větší investice do nových složitějších nástrojů a zařízení se později výrazně projeví na celkové hospodárnosti výroby. V praxi se úspora udává až okolo 70%. Technologie umožňuje vyrábět díly bez natržených nebo roztržených ploch a bez potřeby dalšího opracování. Třísilový princip v nářadí a lisu zaručuje také velmi vysokou rozměrovou přesnost. Tvarování vnějších a vnitřních hlavních obrysů plechového dílu pomocí přesného stříhání je možno také volitelně doplnit ohýbáním, ražením, hlubokým tahem a dalšími tvářecími metodami. Díly vyrobené touto technologií lze najít v oblastech od automobilové techniky až po domácnosti a vždy se technologie přesného stříhání stará o to, aby výkon, životnost, komfort a nízká údržba byly v souladu s poskytovanou hospodárností ve výrobě.

2 ZÁKLADY TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

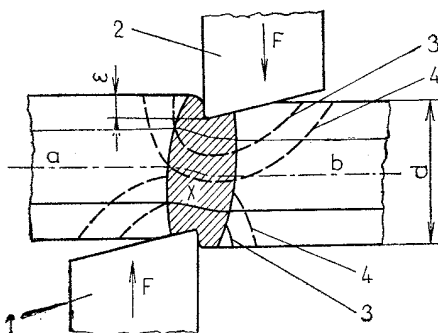
Stříhání je nejrozšířenější operace ve tváření. Své užití nachází při přípravě polotovarů, vystřihování součástek z plechu a to až už pro konečné užití nebo pro výrobky předurčené k dalšímu zpracování. Podle způsobu odstraňování materiálu rozlišujeme konkrétní operace stříhání na děrování, přistřihování, ostřihování a vystřihování. [4]

2.1 STŘÍHÁNÍ

Stříháním se rozumí postupné nebo současné oddělování materiálu. Materiál stříháme pomocí střížných nástrojů, a sice střížníkem a střížnicí. Jedná se o dvojici nástrojů vybavených horním a dolním střížným nožem, pomocí kterých působíme na materiál tak, aby se materiál ustříhl v námi požadované ploše. Materiál je tvářen působením protilehlých řezných hran způsobujících v řezné rovině smykové napětí. [1], [2], [4]

2.1.1 VZNIK TRHLINY

Zatlačením nožů do materiálu, působíme na materiál podél střížné roviny dvojicí sil. Díky těmto silám jsme pak schopni materiál oddělit přímo ve střížné rovině.



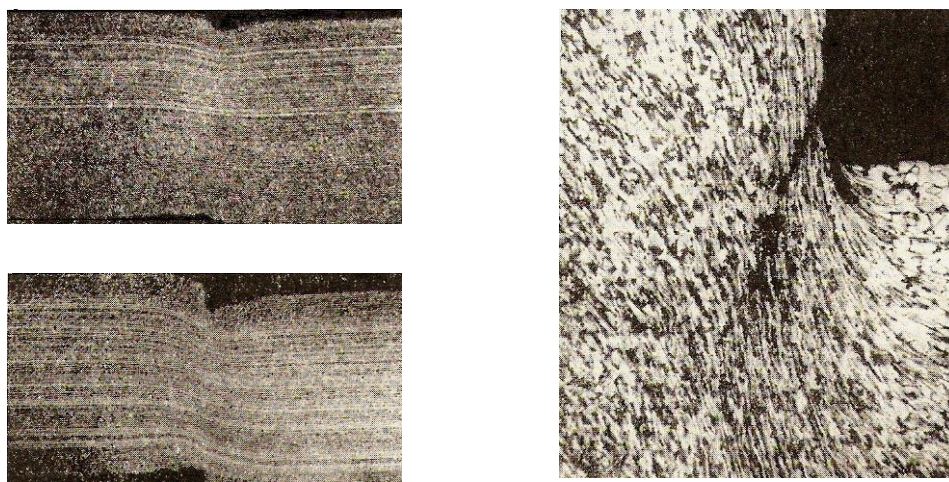
Obr. 1 Tlakové rozložení v okolí střížné roviny [2].

1 – pevný nůž; 2 – pohyblivý nůž; 3, 4 – izobary; a, b – části stříhaného materiálu; X – oblast přetvoření; ω – hloubka zatlačení nože

Oblast stříhu je v materiálu po obou stranách křivky stříhu a tvoří plochu stříhu, ve kterém při stříhání dochází k plastické deformaci. Křivkou stříhu se rozumí celková délka stříhaného tvaru materiálu. Celková zdeformovaná oblast závisí na hloubce, do níž nože zajely. Na deformační oblast má také vliv materiálu polotovaru. Působením protilehlých nožů vzniká ve stříhaném materiálu tlak. Nože podél střížné plochy přesouvají proti sobě části stříhaného materiálu, tudíž vzniká ve střížné ploše tahové napětí. Při zajetí nožů do určité hloubky charakteristické pro stříhaný materiál (10-25% tloušťky plechu), dosáhne tahové napětí mezních hodnot, tím dojde k porušení materiálu, které se projeví vznikem trhliny ve směru největšího smykového napětí. Rychlost šíření trhlin směrem ke střížné hraně nástroje závisí na mechanických vlastnostech materiálu a na velikosti střížné mezery. [1]

Pro křehké materiály je charakteristické téměř okamžité oddělení materiálu. Naopak pro měkké a houževnaté materiály jsou typické pomalý vznik a šíření trhlin. Průběh trhlin závisí převážně na velikosti střížné mezery. Jestliže je střížná mezera velká, dojde k setkání nástřihů od střížné hrany střížníku i střížnice a vystřížení výstřížku proběhne ještě dříve, než střížník dosáhne střížnice. [2]

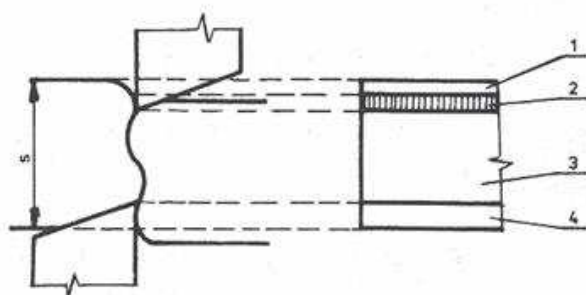
Naopak je-li mezera malá, nástřihy probíhají souběžně a s pokračujícím vnikáním střížníku do materiálu trhliny prodlužují. Materiál mezi střížnými hranami nástrojů je deformován a znova stříhán. [1]



Obr. 2 Průběh stříhu (vlevo) a detail vzniku střížné trhliny [2].

2.1.2 KVALITA STŘÍŽNÉ PLOCHY

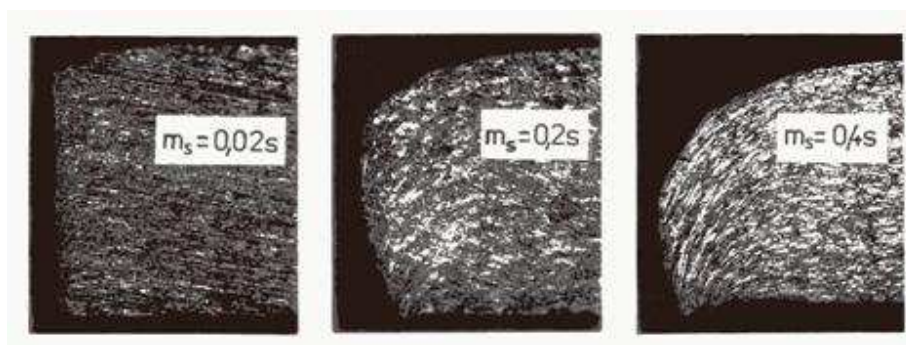
Stříhání je jedinou tvářecí operací, která směřuje k žádoucímu porušení materiálu. Pásmo plastické deformace tvoří u běžného stříhu cca 80% střížné plochy, proto právě toto pásmo slouží jako charakteristika pro posouzení kvality střížné plochy.



- 1 - pásmo zaoblení (elast. deformace)
- 2 - pásmo utžení (zatlačení nože)
- 3 - pásmo smyku (plast. deformace)
- 4 - pásmo odtlačení

Obr. 3. Kvalita střížné plochy [2].

Trhliny postupující od břitů nožů vytvářejí střížnou plochu. Nesetkají-li se přesně svými čely, vznikne tříška nebo zátrh. Třísky mají tendenci shromažďovat se pod místem stříhu a mohou se dostat i mezi pohybující se části nástroje a znepřesnit tak stříhání. [2]

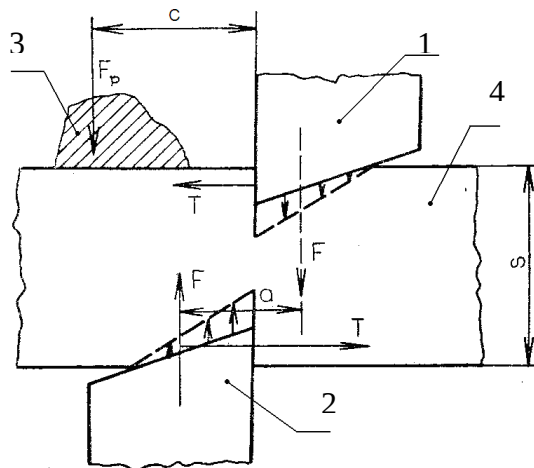


Obr. 4. Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [1].

Vůle mezi střížníkem a střížnicí má zásadní vliv na kvalitu výstřížku. Čím je menší mezera mezi nástroji, tím více omezujeme tahové složky od ohybového namáhání a napjatost se pak blíží čistému smyku a střížná plocha je kvalitnější.

2.1.3 VÝPOČET SÍLY A PRÁCE PRO ROVNOBĚŽNÉ NOŽE

Při skutečném střížném procesu, nepůsobí střížné síly, v jedné rovině, ale střížná síla F_s se rozkládá na složku třecí T a složku normálovou F . Působením složek střížné síly má za následek vznik ohybových momentů. Moment od normálové složky F působící na rameno a , má tendenci natáčet stříhaný plech. Tomuto nepříznivému jevu můžeme zabránit vhodným použitím přidržovače (viz obr. 5). [4]



Obr. 5. Silové působení u stříhu s rovnoběžnými noži [4].

1 – horní pohyblivý nůž, 2 – dolní pevný nůž, 3 – přidržovač, 4 – stříhaný plech

Velikost přitlačné síly F_p od přidržovače je pak dána vztahem:

$$F \cdot a = F_p \cdot c \quad (1)$$

$$F_p = \frac{F \cdot a}{c} \quad (2)$$

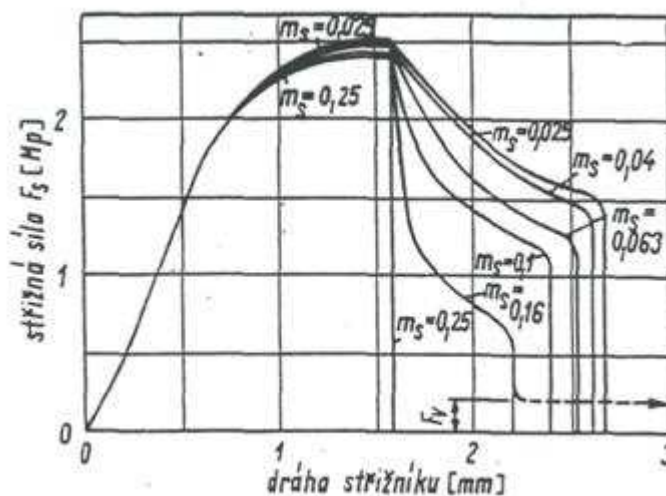
Velikost střížné síly při stříhu rovnoběžnými noži je dána vztahem:

$$F_s = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s \quad (3)$$

Kde

- F_s - střížná síla
- l - délka křivky stříhu
- s - tloušťka plechu
- τ_s - střížný odpor
- n - koeficient otupení nožů (navyšujeme sílu o 10 - 30%)

Jelikož stříhová pevnost a smykové napětí jsou hodnoty závislé na poměrném zasetí nožů do materiálu, vzorec pro velikost střížné síly nebude platit v celém střížném procesu. Velikost střížné síly stoupá od nuly do maxima a pak zpětně klesá na nulu. Pokles síly začíná v okamžiku vzniku trhliny. Při skutečném procesu stříhání dochází ke kombinovanému namáhání (nenastává tedy pouze čistý smyk). Nože se otupují a proto skutečnou hodnotu střížné síly navyšujeme o 10-30%. [4]



Obr. 6. Vliv střížné mezery na průběh střížné síly F_s . [6]

Střížná práce je závislá na velikosti střížné mezery a lze ji určit také jako obsah plochy pod křivkou, znázorňující průběh síly v závislosti na dráze (viz. Obr. 6). Velikost střížné práce je dána vztahem:

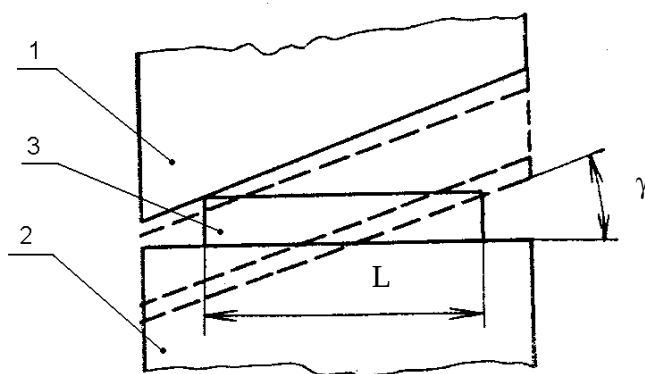
$$A = F_s \cdot k \cdot z_d \quad (4)$$

Kde

- F_s - střížná síla
- k - koeficient zaplnění plochy pod křivkou
- z_d - zdvih

2.1.4 VÝPOČET SÍLY A PRÁCE PRO ŠIKMÉ NOŽE

Jedná se o stříhání dvěma skloněnými noži, které mezi sebou svírají určitý úhel. Stříhání šikmými noži volíme zejména proto, že není potřeba vyvíjet tak velkou střížnou sílu, jako u nožů rovnoběžných, protože materiál je stříhán postupně. Rozhodujícím faktorem pro určení síly je tloušťka materiálu a velikost střížné mezery. [4]



Obr. 7. Schéma stříhu šikmými noži [2].

1 – horní pohyblivý nůž; 2 – dolní pevný nůž s nátláčnou hranou; 3 – stříhaný materiál;
 γ – úhel sklonu nožů; L – délka stříhaného materiálu.

Zvláštním případem stříhání šikmými noži je stříhání tažením, kde úhel stříhu je roven 2-10° a celková střížná síla se může snížit až o 20%. [4]

Rovnice pro výpočet střížné síly u šikmých nožů má tvar:

$$F_s = n \cdot s \cdot l \cdot \tau_s = n \cdot s^2 \cdot \frac{\tau_s}{\tan \gamma} \quad (5)$$

Kde

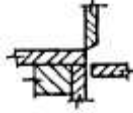
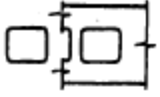
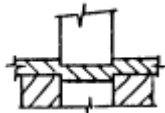
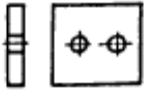
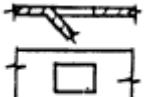
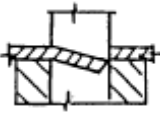
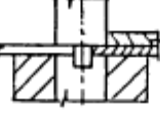
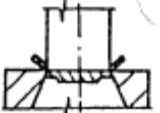
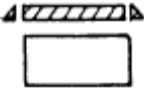
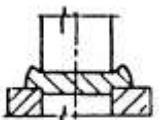
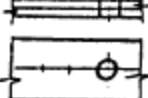
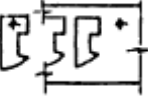
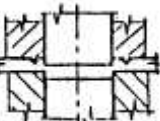
- l – délka křivky stříhu
- s – tloušťka plechu
- τ_s – střížný odpor
- γ – úhel stříhu, úhel sklonu nožů (2-6° tabulové nůžky, 7-20° pákové nůžky)
- n – koeficient otupění nožů (navyšujeme sílu o 10 - 30%)

Vztah pro výpočet práce u šikmých nožů:

$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot l \cdot \tan \gamma \quad (6)$$

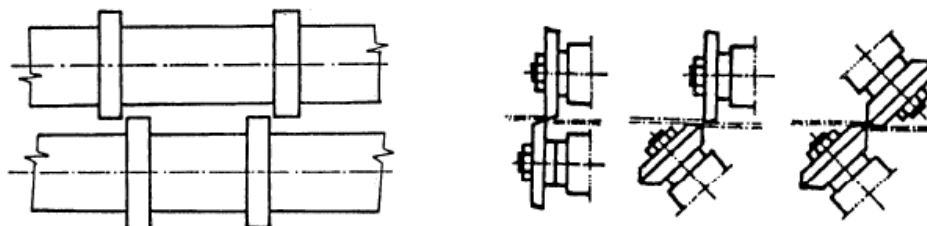
2.1.5 ROZDĚLENÍ A POPIS OPERACÍ

Tab. 1 Typy stříhacích operací a jejich charakteristika [5].

Název operace	Popis operace	Schéma operace	Schéma nástroje
Prosté stříhání	Rozdělování materiálu nebo polotovarů na části.		
Vystřihování	Vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výstřížek.		
Děrování	Prostřížení otvoru v materiálu nebo polotovaru. Vystřižená část tvoří odpad.		
Prostřihování	Částečné oddělení materiálu v určitém tvaru uvnitř dílce.		
Prosekávání	Postupné prosekávání vnějších tvarů a otvorů v materiálu.		
Ostřihování	Oddělení nerovného kraje nebo přebytečného materiálu plochých nebo dutých součástí.		
Přistřihování	Dosažení přesných rozměrů součástí, hladkého a kolmého povrchu stříhu. (odstraněním přídatku materiálu)		
Vysekávání	Oddělování součástí z nekovových materiálů podél uzavřené křivky na podložce.		
Přesné stříhání	Výroba přesných součástí s kvalitní střížnou plochou.		

2.1.6 STŘIH KRUHOVÝMI NOŽI

Metoda je vhodná pro podélné stříhání dlouhých pásů. Při stříhání používáme nástroj s odvalujícími se noži. U stříhu kruhovými noži se prodlužuje čas stříhu, ale zároveň výrazně snižují rázy při stříhání.



a) stříh pásů plechu

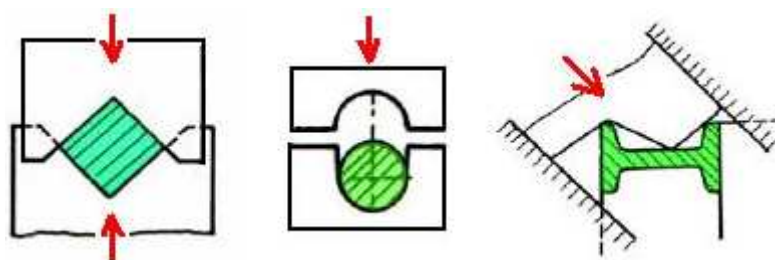
b) křivkové nůžky

Obr. 8 Příklady stříhání kruhovými noži [5].

Na obr. 8 můžeme vidět typické příklady užití stříhu kruhovými noži. Obr.8b znázorňuje dvojkuželové nože jež se používají při stříhu zakřivených tvarů. U křivkového stříhání volíme co nejmenší průměr nožů. Díky malým průměrům nožů lze pak konstruovat nůžky s dlouhými rameny, a tím docílíme snadnější manipulaci s materiálem. To nám umožňuje stříhat i tvarově náročnější součásti. Křivkové nůžky mohou mít různé uspořádání střížných nožů. [4]

2.1.7 STŘIHÁNÍ PROFILU

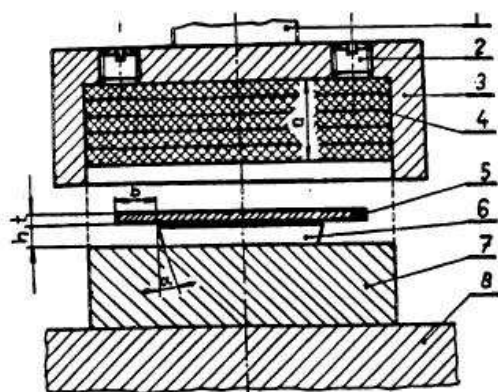
Pásovina z plechu není jediným polotovarem, který lze stříhat. Stříhat lze také profily (kruhový, čtvercový, aj.). Při stříhání profilů je nutné přizpůsobit obrys pohyblivého a pevného nože tak, abychom docílili, že stříhaná tloušťka bude v každém okamžiku téměř stejná. [1]



Obr. 9 Ukázka tvaru nástroje při stříhání různých profilů [4].

2.1.8 STŘÍH NEPEVNÝM NÁSTROJEM

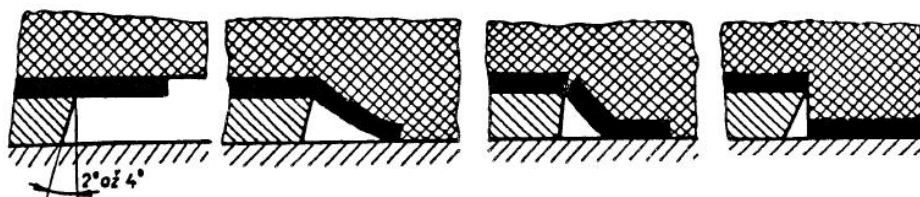
Jedná se o velmi jednoduchý a levný nástroj. Je to rovněž metoda umožňující stříhat i více součástí najednou. Mezi nevýhody bychom zařadili velký odpad a nízkou životnost pryže. Stříhání nepevným nástrojem se používá zejména ke stříhání výstřižků z tenkého plechu. Při stříhání nepevným nástrojem se jedná zpravidla o kombinaci pevné části - ocelové desky, jejíž obrys je shodný s obrysem konečného nástroje a nepevné části tvořené gumovými nebo pryžovými deskami. Tloušťka desek se pohybuje okolo 150 mm. Při stříhání používáme několik kusů desek umístěných na sobě. K jejich správnému umístění nám pomáhá ocelový rám, do kterého desky po vrstvách ukládáme (viz obr. 10).



- 1 – stopka
- 2 – zátky otvorů pro vyražení gumového polštáře
- 3 – ocelová objímka
- 4 – pryžové desky
- 5 – stříhaný plech
- 6 – střížník
- 7 – stolní deska
- 8 – podložka

Obr. 10 Schéma stříhu nepevným nástrojem [6].

Jak ocelová deska, tak i ocelový rám jsou velmi namáhány. Na ocelovou desku jsou kladeny nároky ohledně drsnosti povrchu. Hladká ocelová deska nám zaručí, že nedojde k zanechání stopy na výstřižku. Samotný průběh stříhu pružným médiem je zcela odlišný od klasického stříhu dvěma noži. Nedochází zde ke stříhu nýbrž k utržení stříhaného materiálu pod tlakem bloku pryžových desek. Na obr. 11 můžeme sledovat jednotlivé fáze stříhání nepevným nástrojem. Nejprve dojde k přitlačení stříhaného plechu pryžovými deskami k nástroji. Dalším krokem je pak přitlačení plechu až k ploše stolu. Okraj musí být dostatečně dlouhý, abychom docílili požadovaného upnutí. To nám umožní vyvodit mezi stolem a nástrojem tahové napětí o velikosti větší než mez pevnosti stříhaného plechu a dojde k utržení. Ostrá hrana nástroje zastává funkci vrubu a tím určuje místo utržení. [1]



Obr. 11 Průběh stříhu nepevným nástrojem [2].

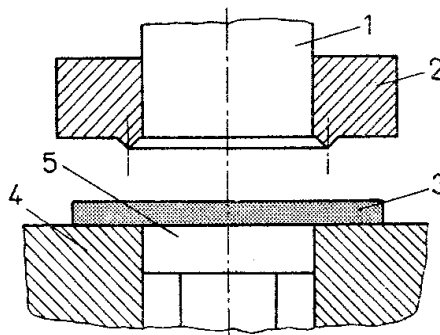
2.2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ

Abychom byli schopni vyrobit výstřižky s lepší střížnou plochou a přísnějšími nároky na toleranci, používáme technologii přesného stříhání. Do přesného stříhání patří všechny metody zlepšující kvalitu střížné plochy (drsnot povrchu) a přesnost stříhaných rozměrů. Cílem přesného stříhání je docílit kvalitních výstřižků za co nejmenšího počtu střížných operací a připravit součást např. k montáži bez jakýchkoliv dalších úprav. Je to složitý proces, jehož průběh závisí hlavně na vyvození tříosého stavu napjatosti v místě stříhu. [1], [4], [6]

2.2.1 METODY PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

STŘÍHÁNÍ S NÁTLAČNOU HRANOU

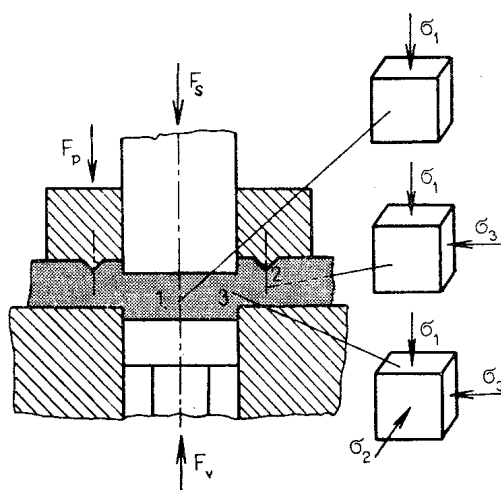
Stříhání s nátláčnou hranou patří mezi nejdokonalejší způsob přesného vystřihování, pomocí kterého lze získat velmi kvalitní střížnou plochu, a docílit zároveň i velmi přesných rozměrů. Jedná se o velmi složitý proces přesného vystřihování, při kterém vyvodíme tříosí stav napjatosti v místě stříhu (viz. obr. 13). Metoda se začala používat od r. 1923 ve Švýcarsku, kdy se jí věnoval Fritz Schiess. Od té doby se touto metodou zabývala řada odborníků a byly vyvinuty speciální trojčinné lisy např. od firem Feintool-Osterwalder, Essa nebo Hydlér. [2]



Obr. 12 Schéma a popis nástroje s nátláčnou hranou [2].

1 – střížník; 2 – přidržovač s nátláčnou hranou; 3 – stříhaný plech; 4 – střížnice; 5 – vyhazovač

V počáteční fázi je materiál sevřen mezi přidržovač, střížnici a vyhazovač. Tlačná hrana je ještě před uskutečněním samotné střížné operace vtlačena do stříhaného materiálu. Umístění tlačné hrany úmyslně volíme mimo křivku stříhu. Tím zabráníme průhybu materiálu během stříhu a radiální složka pružení, vzniklá jako následek plastické deformace, je pak zachycována tlačnou hranou. Výše zmíněná trojosá napjatost nám umožní rozšířit pásmo plastické deformace skrze celou tloušťku stříhaného plechu. S roustoucím podílem tlakových napětí roste také schopnost tvářeného materiálu plasticky se deformovat. Naopak o tahových složkách lze hovořit jen jako o negativním vlivu na celkový průběh operace přesného vystřihování (vznik trhlin). [2], [6]



Obr. 13 Znáznornění napjatostního stavu u stříhání s nátláčnou hranou [2].
 F_p – síla přidržovače; F_s – střížná síla; F_v – síla vyhazovače

Na obr. 13 můžeme pozorovat vymezení tří základních oblastí v materiálu:

- 1) *Oblast čela střížníku na začátku stříhu*
- 2) *Oblast tlačné hrany*
- 3) *Oblast čela střížníku v průběhu stříhu*

U jednotlivých oblastí je rovněž uvedeno znázornění napjatostních stavů od jednoosé až po trojosou v oblasti stříhu. [2]

STŘIŽNÁ VŮLE

Střížná vůle u přesného stříhání je přibližně 10krát menší než u běžného vystřihování a má velký vliv na kvalitu střížné plochy (viz kapitola 1.1.1 Vznik trhliny a kapitola 1.1.2 Kvalita střížné plochy). Střížná vůle se dělí na dvě stejně velké střížné mezery z , které musí být rovnoměrné po celém obvodu stříhu. Pro výpočet velikosti střížné vůle existuje řada vztahů, které vykazují značné rozdíly. Na základě těchto vztahů a mnoha zkušeností odvozeny vztahy.

Pro plechy $t > 3$ mm:

$$v = 2 \cdot z = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot k_s \quad (7)$$

Pro plechy $t < 3$ mm:

$$v = 2 \cdot z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (8)$$

Kde

- v - střížná vůle [mm]
- t - tloušťka stříhaného plechu [mm]
- z - střížná mezera [mm]
- c - koeficient závislý na druhu stříhání, pro přesné stříhání volíme $c = 7 \cdot 10^{-4}$
- τ_s - střížný odpor [MPa]

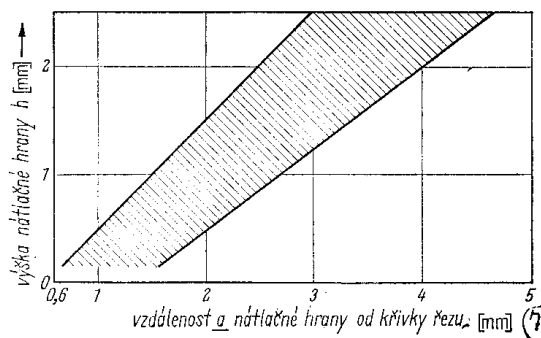
Tloušťku střížné vůle můžeme určit také pomocí empiricky stanovené tabulky, udávající velikost střížné vůle pro některé tloušťky materiálů.

Tab.2. Velikost střížné vůle pro některé vybrané tloušťky materiálu [8].

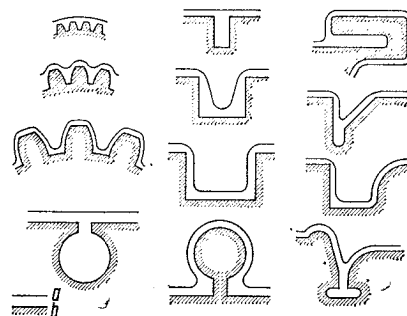
Tl. mat. [mm]	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0
Střížná vůle [mm]	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009	0,010	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020

NÁTLAČNÁ HRANA

Nátlačná hrana kopíruje křivku stříhu. Její tvar, rozměry a poloha ovlivňují kvalitu střížné plochy a životnost nástroje. Abychom docílili, co nejlepší kvality střížné plochy můžeme provádět také korekce. Jakost střížné plochy lze ovlivnit i správnou volbou vzdálenosti nátlačné hrany (viz obr. 14). [1]



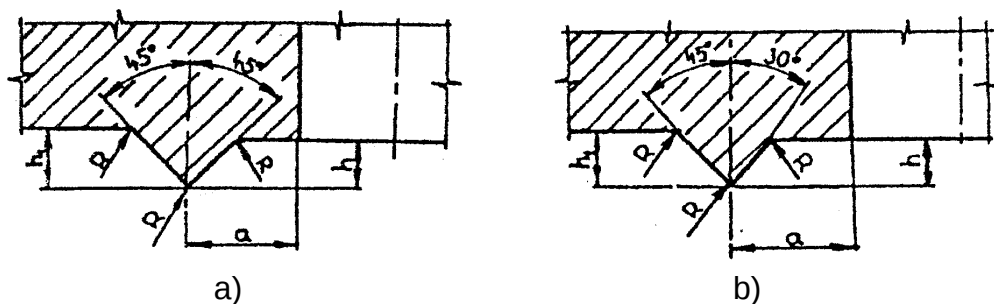
a)



b)

Obr. 14 a) graf závislosti vzdálenosti špičky nátlačné hrany od křivky stříhu na její výšce; b) příklady různých průběhů nátlačných hran ke křivce stříhu [1].

Použitím technologie přesného stříhání jsme schopni dosáhnout velmi kvalitní jakosti povrchu. Drsnost R_a střížné plochy může nabývat hodnot 0,4 až 1,6 μm a rozměrová přesnost se pohybuje v rozmezí mezi IT6 až IT9. Je-li vzdálenost mezi střížnou křivkou a nátlačnou hranou příliš malá, pak nátlačná hrana ztrácí svou působnost. Nastane-li situace opačná a vzájemná vzdálenost mezi hranou a střížnou křivkou bude neúměrně velká, museli bychom vyvinout značně větší střížnou sílu, vzrostla by nám i spotřeba materiálu a nátlačná hrana by tak úplně neplnila svůj význam. [1], [6]



Obr. 15 Možnosti geometrie nátlčné hrany [7].

a) tlačná hrana pro $s > 4$ mm; b) tlačná hrana pro tloušťku do $s = 4$ mm;
 a – vzdálenost od řezné hrany ($a = 0,6$ až $1,2$). h

Pro plechy do tloušťky $s = 4$ mm se používá jedna nátlčná hrana na přidržovači. Pro $s > 4$ mm volíme dvě nátlčné hrany, jednu na přidržovači a druhou na střížnici. V případě stříhání dílců s ostrými úhly volíme nátlčnou hranu na střížnici i při menších tloušťkách plechu. S menší nátlčnou hranou poblíž řezné hrany lze dosáhnout stejného účinku jako s větší nátlčnou hranou umístěné ve větší vzdálenosti od řezné hrany. [7]

Tab. 3 Udává stanovené parametry nátlčné hrany pro různé rozměry stříhaného plechu [7].

Tloušťka materiálu [mm]	a	h	h_1	R
0,5	0,50	0,20	0,25	0,04
0,8	0,60	0,25	0,30	0,05
1,0	0,70	0,30	0,35	0,06
1,2	0,80	0,30	0,35	0,06
1,5	1,00	0,35	0,40	0,07
1,8	1,20	0,40	0,45	0,08
2,0	1,40	0,40	0,45	0,08
2,2	1,50	0,40	0,45	0,08
2,5	1,75	0,40	0,45	0,08
3,0	2,10	0,45	0,50	0,09
3,5	2,50	0,45	0,50	0,09
4,0	2,80	0,50	0,55	0,10
4,5	3,20	0,50	0,55	0,10
5,0	3,70	0,55	0,60	0,11
5,5	4,00	0,60	0,65	0,12
6,0	4,20	0,60	0,65	0,12
6,5	4,40	0,65	0,70	0,13
7,0	4,60	0,65	0,70	0,13
7,5	4,80	0,70	0,75	0,14
8,0	5,00	0,70	0,75	0,14
8,5	5,25	0,70	0,75	0,14
9,0	5,50	0,80	0,85	0,16
9,5	5,75	0,80	0,85	0,16
10	6,00	0,85	0,90	0,17

Určení výšky nátláčné hrany pro různě tvárné materiály:

$$h = 1/6 \cdot s \dots \text{málo tvárné materiály} \quad (9)$$

$$h = 1/3 \cdot s \dots \text{tvárné materiály} \quad (10)$$

Určení výšky odlehčení za nátláčnou hranou:

$$h_1 = h + 0.05 \quad (11)$$

STANOVENÍ CELKOVÉ SÍLY A PRÁCE

Velikost celkové střížné síly pro přesné stříhání s nátláčnou hranou lze stanovit výpočtem. Celková síla se skládá ze tří složek:

$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad (12)$$

$$F_s = S \cdot \tau_{ps} \cdot n \quad (13)$$

$$F_p = 4 \cdot Rm \cdot L_h \cdot h \quad (14)$$

$$F_v = S' \cdot p \quad (15)$$

Kde

F_s - střížná síla [N]

F_p - síla přidržovače (potřebná k zatlačení tlačné hrany do materiálu) [N]

F_v - síla vyhazovače [N]

S - střížná plocha (délka křivky stříhu x tl. plechu) [mm²]

L_h - délka tlačné hrany [mm]

H - výška tlačné hrany [mm]

τ_{ps} - pevnost ve stříhu [MPa]

n - součinitel otupení ($n = 1, 2$)

S' - plocha výstřížku [mm²]

p - měrný tlak [MPa]

Celková práce je dána vztahem:

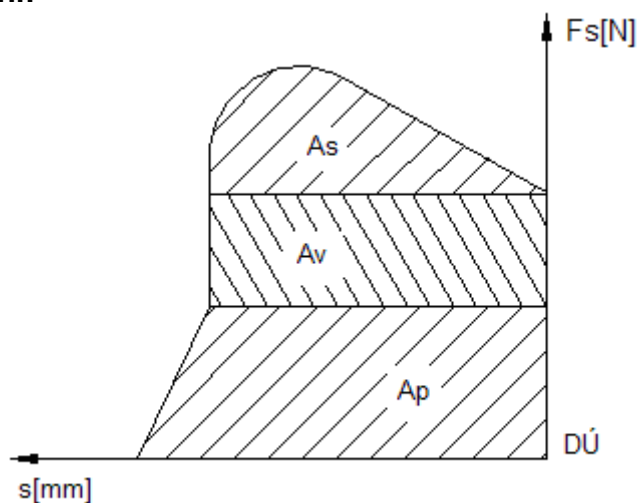
$$A = A_s + A_p + A_v \quad (16)$$

Kde

A_s - střížná práce [J]

A_p - práce k zatlačení tlačné hrany do materiálu [J]

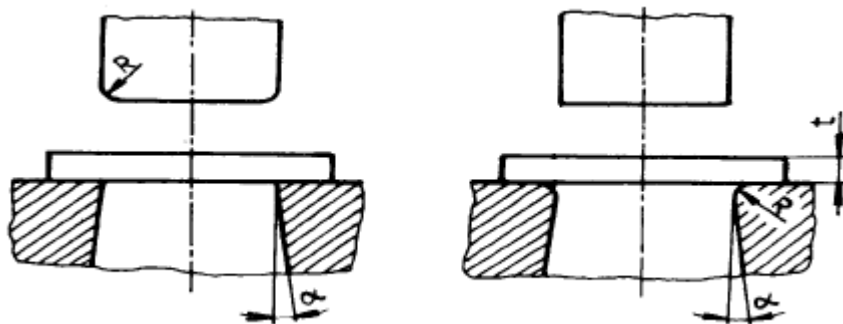
A_v - práce vyhazovače [J]

Grafické vyjádření:

Obr. 16 Grafické vyjádření práce při přesném stříhání [6].
 s – tloušťka stříhaného materiálu; F_s – střížná síla

STŘIH SE ZAOBLENOU HRANOU

Na obr. 12 je znázorněno schéma stříhu bez vůle. Střížník nebo střížnice bude vypracován se zaoblením střížné hrany a zatím co druhá část bude nabroušena. Pro dosažení kvalitní střížné plochy díry volíme uspořádání na levé straně. Naopak chceme-li docílit kvalitního výstřížku, volíme variantu uspořádání se zaoblenou střížnicí.



Obr. 17 Střih se zaoblenou hranou a zkoseným přidržovačem [6].

Při použití zaoblených střížných hran, ať už na střížníku nebo na střížnici dosahujeme hladké a kolmé plochy. Poloměr zaoblení střížné hrany (viz. obr. 17) je roven 15 až 20% tloušťky stříhaného plechu a je tedy dán následujícím vztahem:

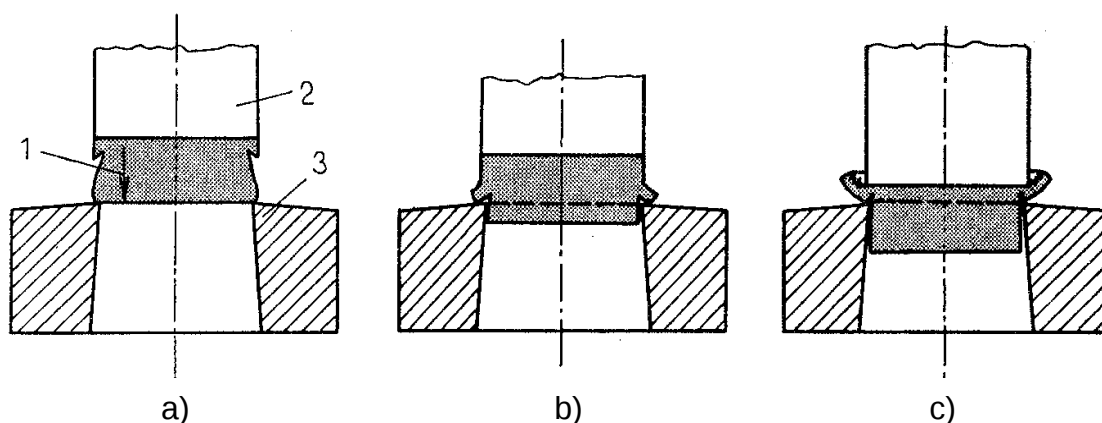
$$R = (0,15 \div 0,20) \cdot t \quad (17)$$

U tvarově složitějších součástí musíme volit poloměr zaoblení větší a sice až $R=25t$ a vůle se pohybuje v rozmezí mezi 0,01 až 0,02 mm. Střížná síla dosahuje asi o 15% vyšších hodnot, než běžně docílíme konvenčním vystřihováním. Se zvětšujícím se zaoblením střížné hrany se rovněž zvětšuje i průhyb výstřižků. Velké poloměry zaoblení mají také negativní vliv na tvorbu otřepů. [6]

Zvolená technologie je vhodná zejména pro materiály s dostatečnou tvažitelností. Metodou lze získat výstřižky s drsností povrchu střížné plochy v hodnotě R_a 0,4 až 1,6 μm , přičemž rozměrová přesnost, které lze docílit je rovna IT9 až IT11. [6]

PŘISTŘIHOVÁNÍ

Mezi další operace lisovací techniky patří i přistřihování. Metodu využíváme opět k dosažení přesných tvarů výstřižků a jejich hladkých ploch. Nejedná se o operaci první, ale naopak o operaci dodatečného opracování, kdy již z výstřižku odebíráme přídavný materiál. Jedná se tedy o oddělení menšího množství materiálu ze střížné plochy. Pracovní pohyb může provádět nástroj nebo i stříhaná součást. Na obr. 13 lze pozorovat jednotlivá stadia přistřihování. Nejprve střížník vede součást s přídavkem materiálu do střížnice. Následně na to její střížná hrana odstřihává od stříhané součásti přídavek a ten dále klouže po střížnici. V tomto stádiu můžeme dosáhnout značných třecích sil. V odstřižku působí ve směru obvodu tlakové nebo tažné síly v závislosti na tvaru zakřivení tvářených ploch. To má za následek zvýšení střížné síly v závěru přistřihování.



Obr. 18 Princip přistřihování se zápornou vůlí [2].
a – výchozí poloha; b – přistřihování; c – oddělení materiálu;
1 – směr stříhání; 2 – střížník; 3 - střížnice

V posledním kroku se nepřistřižená výška součásti neustále zmenšuje a napětí ve zbylém, ještě nepřistřiženém průřezu stoupá. Zbývající přídavný materiál se opírá o hranu střížnice a nehrozí tedy, že by došlo k předčasnému ulomení ostřížku. Výsledná plocha je pak hladká a požadovaných rozměrů.

Technologii přistřihování lze realizovat v jedné nebo i více operacích. Jako přípustná tloušťka odstřížku se uvádí rozměr 0,1 až 0,5 mm. Stane-li se, že přídavek přesáhne hodnotu 0,5 mm, je nutné provést přistřižení ve dvou a více operacích. [1], [2]

Oddělovaný materiál se při stříhu odebírá kolmo k opracovávané ploše. Snažíme se dosáhnout pozitivního zakřivení povrchu. Tím rozumíme takové oddělení materiálu, kdy se díky působení vnitřních tlakových napětí odstřížek rozpadne. Naopak se snažíme zabránit zakřivení negativnímu, kdy dochází k nežádoucímu brždění odvodu odstřížku. Odstřížek je pak pěchován tlakovými napětími. V materiálu vznikají pásma zvýšených napětí, kde se vylamují drobné části materiálu a dojde ke zhoršení jakosti povrchu. [1]

Vliv má na přistřihování i směr, ve kterém je prováděno. Rozlišujeme několik možností, jak lze již stříhanou součást přistřihovat. Mezi dva základní způsoby řadíme přistřihování ve směru původního stříhu, anebo ve směru opačném. S ohledem na směr přistřižení a velikost střížné mezery rozlišujeme tyto další možnosti:

1) Přistřihování ve směru stříhání s velkou střížnou mezerou – přídavek na přistřižení se od začátku operace zmenšuje. Při vhodně zvoleném rozměru přídavku a pozitivním toku odstřížku se nemusíme obávat, že dojde k předčasnému vylamování materiálu.

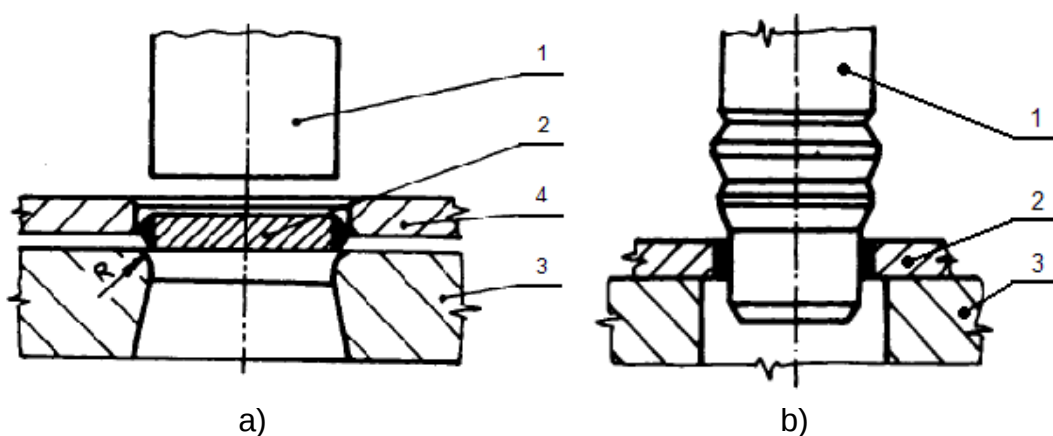
2) Přistřihování proti směru stříhání s velkou střížnou mezerou – přídavek se zde naopak zvětšuje. Materiál součásti, který je v kontaktu se střížníkem, je z předchozí operace stříhání zaoblený. Díky tomu se neopírá celou plochou o střížník a dochází k předčasnému ulomení odstřížku.

3) Přistřihování proti směru stříhání s malou střížnou mezerou – přídavek je na počátku velký, postupně se zmenšuje, až do okamžiku před skončením náhle znova vzroste na nejvyšší hodnotu. Střížná síla v okamžiku vzrůstá a špatný povrch výstřížku způsobují hrozbu předčasného odlomení.

4) Přistřihování proti směru stříhání s malou střížnou mezerou – metodu doprovází řada nevýhod. Je zde malá tvárnost materiálu v pásmu stříhu. Může zde dojít až k protržení materiálu. Protržení nastává zejména tehdy, když se pokoušíme tvářet zaoblený materiál z předchozí operace stříhání, a ten se z počátku neopřený působením střížné síly opře o střížník.

KALIBROVÁNÍ OTVORŮ

Kalibrování lze provádět na vnějším obrysu výstřižku i v otvoru. Nástrojem je kalibrovací trn, vybavený jednou nebo i více plochami o šířce 1 až 3 mm. Náběh a výběh ploch je zkosený pod úhlem 5° . Kalibrovací trn má zaváděcí i výstupní část. Nejlepších výsledků kvality otvoru se dosáhne, je-li otvor umístěn v dostatečné vzdálenosti od okraje plechu. Metoda kalibrování otvorů je v porovnání s přistřihováním méně přesná. Je to způsobeno vlivem odpružení. Při kalibrování je také zapotřebí působit daleko větší silou. Povrch kalibrované plochy je zpevněn a okraje otvorů jsou nepatrně rozšířeny. [7]

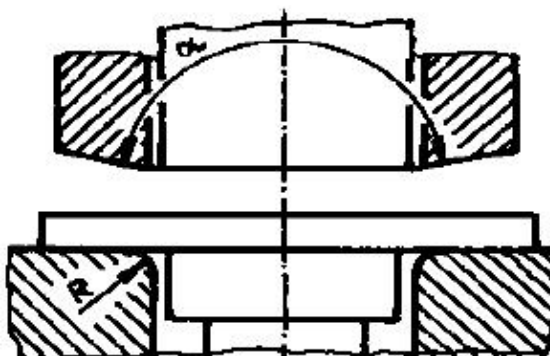


Obr. 19 Schéma kalibrování otvorů [7].

a) kalibrování vnějšího obrysu; b) kalibrování vnitřního obrysu
1 – střížník; 2 – polotovar; 3 – střížnice; 4 – základní deska

PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ SE ZKOSENÝM PŘIDRŽOVAČEM

Zkosený přidržovač vyvozuje při přesném střihání dvojosý stav napjatosti. Vrcholový úhel přidržovače je roven $\alpha = 178^\circ 30'$ a poloměr zaoblení na střížné hraně je roven $R \leq 0,01$ mm. Metoda je poměrně málo používaná.



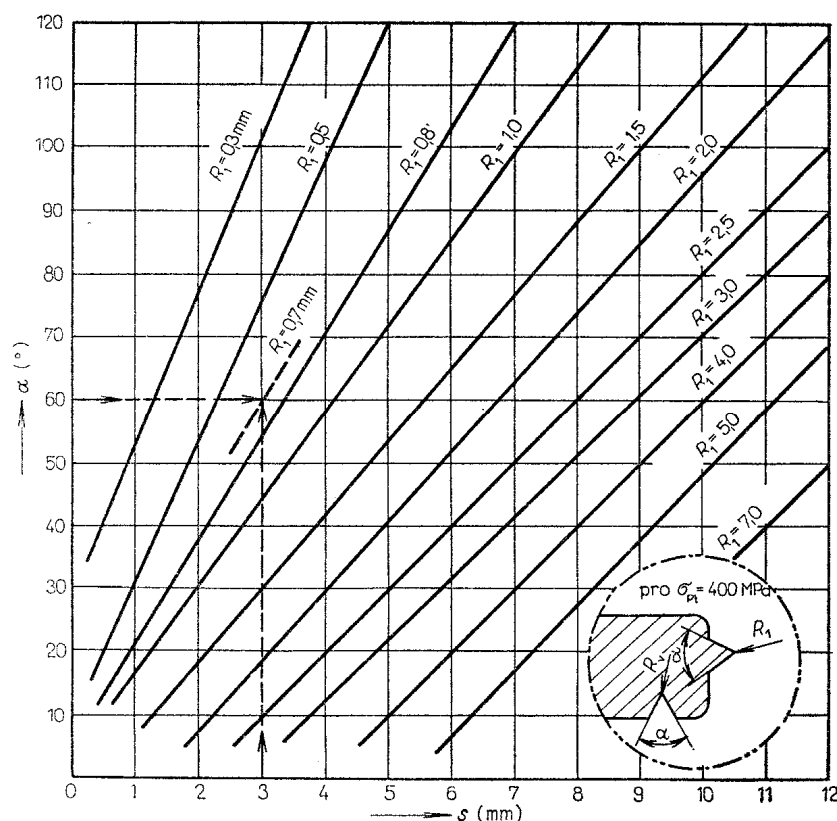
Obr. 20 Schéma přesného střihání se zkoseným přidržovačem [7].
 α – vrcholový úhel; R – poloměr zaoblení střížné hrany

2.2.2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE VÝSTŘIŽKU

Součásti pro přesné vystřihování musí vyhovovat nejen požadavkům, které jsou všeobecně dány provozními podmínkami a jejich použitím, ale také technologičností konstrukce. Technologičnost konstrukce součásti lze zajistit respektováním následujících poznatků a doporučení.

A) Poloměr rohů a hran vystřihovaných částí

Při návrhu konstrukce součástí je nutné volit optimální velikosti poloměrů rohů a hran. Je to důležité zejména u vyčnívajících částí. Ostré rohy a hrany součástí mají negativní vliv na životnost nástroje a kvalitu střížných ploch. V místech s ostrými rohy roste také nebezpečí vzniku trhlin. Střížná plocha v ostrých rozích je nekvalitní. Materiál se vytrhuje. Optimální velikost poloměrů rohů a hran je závislá na pevnosti materiálu, na vrcholovém úhlu a samozřejmě na tloušťce stříhaného plechu. Čím větší bude poloměr, tím lepší jakost docílíme u stříhané součásti. Hodnoty minimálních poloměrů jsou uvedeny na obr. 21. Čím je vrcholový úhel menší a tloušťka s pevností materiálu větší, tím musí být poloměry rohů a hran větší. [1]



Obr. 21 Optimální velikost poloměrů rohů a hran vystřihovaných částí [2].
 s – tloušťka stříhaného materiálu; α – vrcholový úhel zářezu; R – poloměr

Na obr. 21 je graficky znázorněná závislost vrcholového úhlu, tloušťky stříhané součásti a poloměrů rohů pro materiály s pevností $R_m = 400$ MPa. Pro materiály s vyšší pevností se poloměry příslušně zvyšují. Vnější poloměry přímo odečítáme z diagramu a vnitřní poloměry jsou přibližně rovny 60% z hodnoty poloměrů vnějších. [1]

Např.:

Chceme zjistit vhodný poloměr součásti s parametry: $s = 3$ mm, $R_m = 600$ MPa, $\alpha = 60^\circ$. Pevnost oceli je tedy o 50% větší, než je uvedeno v diagramu. Podle zadaných parametrů z diagramu odečteme hodnotu $R_1 = 0,7$ mm. Výsledný poloměr určíme dle následujících vztahů:

Přídavek na vyšší pevnost:

$$R_2 = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ mm} \quad (18)$$

Výsledný vnější poloměr:

$$R = R_1 + R_2 = 0,7 + 0,35 = \underline{1,05 \text{ mm}} \quad (19)$$

Výsledný vnitřní poloměr:

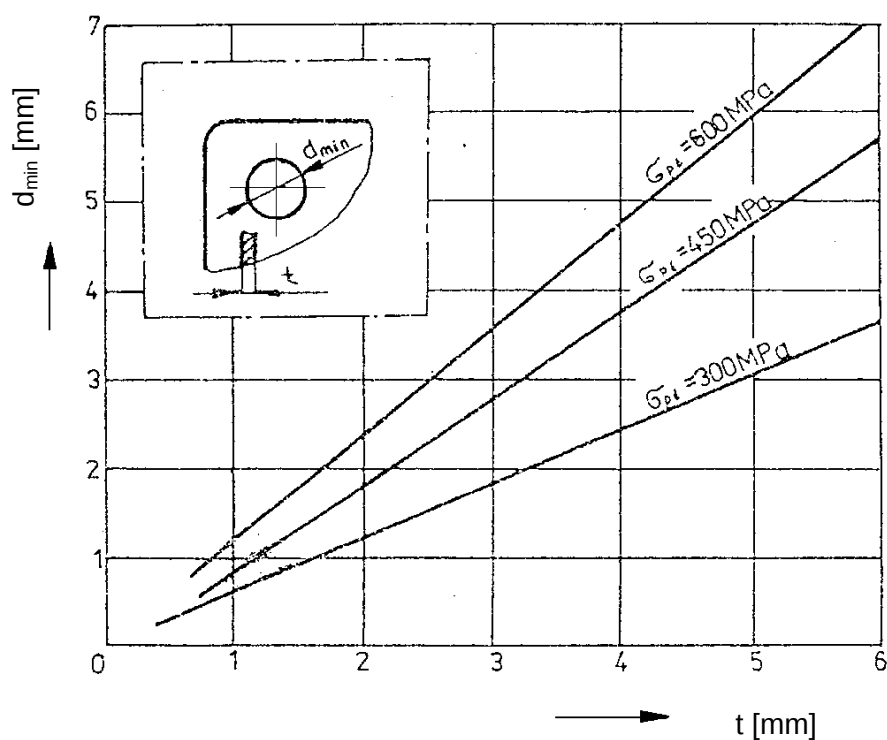
$$R_v = 0,6 \cdot 1,05 \cong \underline{0,65 \text{ mm}} \quad (20)$$

B) Minimální průměr otvorů a šířka drážky

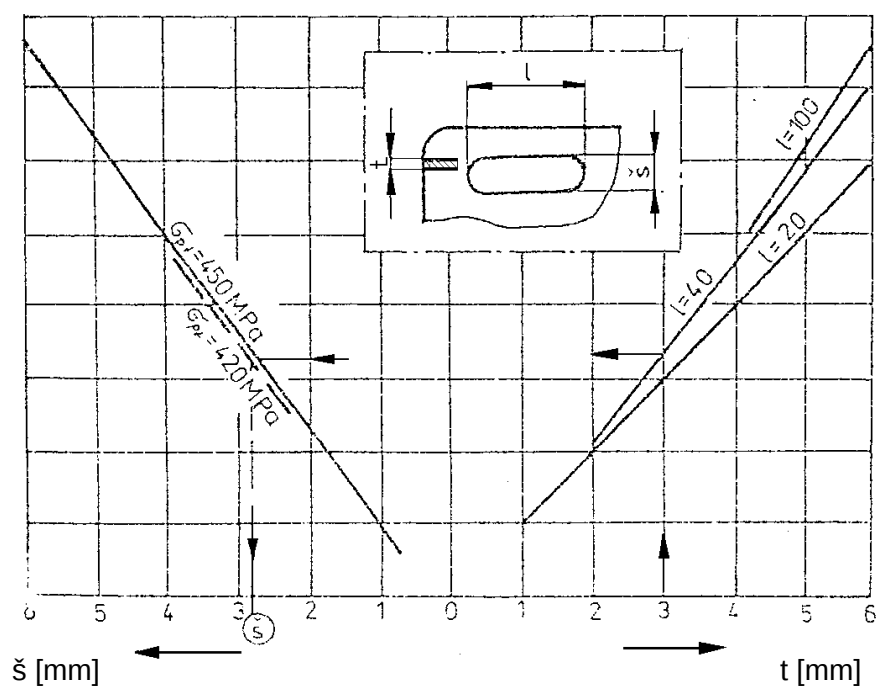
Technologie přesného stříhání umožňuje stříhat otvory a drážky, které jsou menších rozměrů, než je tloušťka stříhaného plechu. Limitujícím faktorem minimálních rozměrů otvorů a drážek je hlavně životnost funkčních částí. Pro orientační určení minimálních hodnot průměru otvorů a šířek drážek lze použít tab. 4. Hodnoty uvedené v tabulce jsou určeny pro materiál o pevnosti $R_m = 400$ MPa. U materiálu s vyšší pevností, vzrůstají střížné tlaky a minimální průměr otvoru a šířky drážky je nutné opět příslušně zvětšit. [1]

Tab. 4. Minimální průměr otvoru d a minimální šířka drážky b [2].

Tloušťka plechu s	Minimální průměr otvoru d	Minimální šířka drážky b
do 3 mm	60 % s	65 % s
nad 3 mm	70 % s	80 % s



Obr. 22 Diagram pro určení minimálního průměru otvoru [2].
 t – tloušťka stříhaného materiálu; d_{min} – minimální průměr otvoru



Obr. 23 Diagram pro určení minimální šířky drážky [2].
 t – tloušťka stříhaného materiálu; $\check{s}$ – minimální šířka drážky; l – délka drážky

C) Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami

U konstrukčně složitějších součástí s mnoha drážkami a otvory je potřeba správně zvolit jejich vzdálenosti mezi sebou. Vzdálenosti jsou závislé na pevnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťce. Zvolíme-li příliš malé vzdálenosti, sníží se životnost nástroje a zhorší se kvalita střížných ploch. Výsledky experimentů dokázaly, že s rostoucí pevností stříhaného materiálu a jeho tloušťky je nutné zvětšit i vzdálenosti mezi otvory. Zabráníme tím vzniku negativních účinků, jako je např. snížení životnosti funkčních částí. [1]

Nejvýhodnější vzdálenost je dána vztahem:

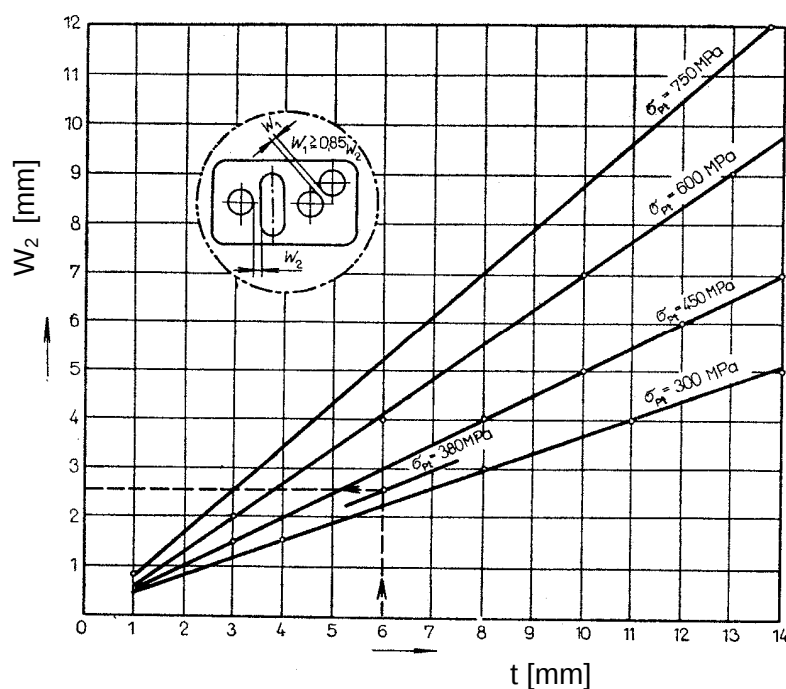
$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 \quad (21)$$

Kde

W_1 - nejvýhodnější vzdálenost [mm]

W_2 - nejvýhodnější vzdálenost [mm]

0,85 - empiricky stanovená hodnota pro určení nejvýhodnější vzdálenosti

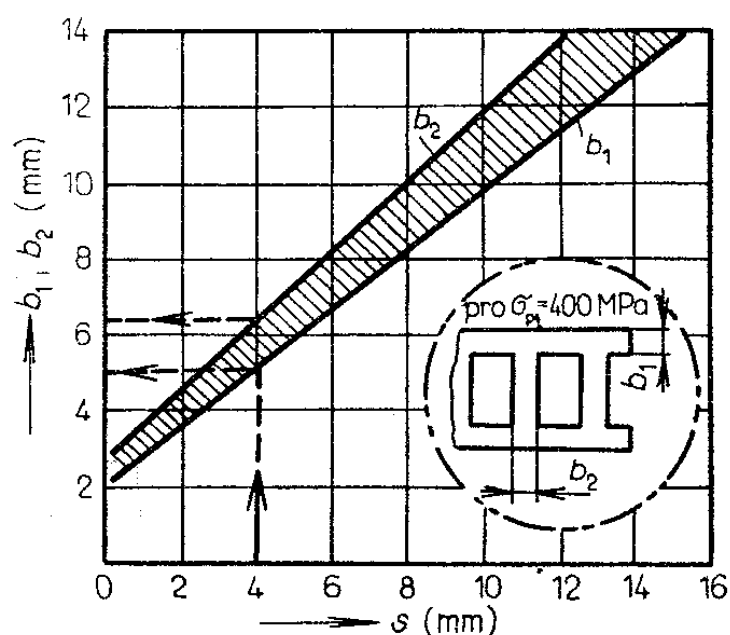


Obr. 24 Diagram pro určení minimální vzdálenosti mezi otvory a drážkami [2].

W_2 - nejvýhodnější vzdálenost; t – tloušťka stříhaného materiálu

D) Velikost postranního odpadu a šířky můstku

Postranní odpad a šířka můstku musí být při přesném vystřihování větší než při běžném vystřihování. U tvrdých materiálů je nutné volit větší šířky postranního odpadu a můstku než u materiálů měkkých. Je tomu tak z důvodu, abychom byli schopni vyvodit dostatečný tříosý stav napjatosti. Současně požadujeme i tuhost okraje plechu. Velikost postranního odpadu a šířky můstku je závislá na kvalitě střížných ploch. Minimální hodnoty šířky postranního odpadu a můstku můžeme odečíst z diagramu na obr. 25. (Hodnoty jsou určeny pro materiál o pevnosti $R_m = 400 \text{ MPa}$). Obecně platí, že šířka pásu plechu je rovna šířce součásti zvětšené o 3 až 4 mm tloušťky stříhaného materiálu. [1]



Obr. 25 Minimální velikost postranního odpadu a šířky můstku [2].

s – tloušťka stříhaného materiálu; b_1 – velikost postranního odpadu; b_2 – šířka můstku

Tab. 5. Velikosti postranního odpadu a můstku pro některé tloušťky plechu [8].

Tloušťka materiálu s [mm]	Velikost postranního odpadu b_1 [mm]	Šířka můstku b_2 [mm]
0,5	2,0	3,0
0,8	3,0	3,5
1,0	3,0	4,0
1,2	3,5	4,0
1,5	4,0	5,0
2,0	4,5	6,0
2,5	5,0	8,0
3,0	5,5	9,0
3,5	6,0	10,0
4,0	6,5	11,0

2.2.3 KVALITA VÝSTŘIŽKŮ A JEJICH ROZMĚROVÁ PŘESNOST

Drsnost povrchu a rozměrová přesnost závisí na kvalitě a tloušťce stříhaného materiálu, na stavu střížných hran nástrojů, na tlaku přidržovače a vyhazovače. V tab. 6. je přehledně znázorněno, jakých rozměrových přesností u součástí vyráběných metodou přesného vystřihování můžeme dosahovat. [2]

Hlediska pro posuzování kvality střížné plochy:

a) Drsnost střížné plochy

Drsnost střížné plochy je především závislá na jakosti střížníku a střížnice. Stříhaný materiál ovlivňuje kvalitu střížné plochy svou tvrdostí a případným znečištěním, které způsobuje rychlé opotřebení řezných hran nástroje nebo jen rozměrovou nepřesnost. Při běžné sériové výrobě jsme schopni dodržet drsnost povrchu Ra 0,4 až 1,6 μm . Pro udržení kvalitní drsnosti je třeba provádět pravidelnou kontrolu a seřizování nástrojů.

b) Kolmost střížné plochy k rovině stříhaného plechu

Obecně můžeme říci, že střížné plochy přesně stříhaných součástí jsou kolmé k rovině plechu. Při stříhání vznikají odchylky, které zpravidla bývají větší na vnějším tvaru a kuželovitost nabývá hodnot 0,01 až 0,04 mm.

c) Rozměrová tolerance výstřžků

Mezi rozhodující faktory určující rozměrovou přesnost výstřžků patří: mechanické vlastnosti materiálu, jakost střížných hran nástrojů, tloušťka stříhaného materiálu, vnitřní a vnější tvary stříhané součásti. V tab. 6. jsou uvedeny jednotlivé přesnosti, jakých jsme schopni dosáhnout přesným stříhem s ohledem na pevnost materiálu a jeho tloušťku.

Tab. 6. Rozměrová přesnost součástí vyráběných přesným vystřihováním [2].

Tloušťka materiálu [mm]	Rm do 500 MPa			Rm nad 500 MPa		
	vnitřní tvar ISO	vnější tvar ISO	tolerance roztečí [mm]	vnitřní tvar ISO	vnější tvar ISO	tolerance roztečí [mm]
0,5 až 1,0	6,0 až 7,0	7,0	$\pm 0,010$	7,0	8,0	$\pm 0,010$
1,0 až 2,0	7,0	7,0	$\pm 0,015$	7,0 až 8,0	8,0	$\pm 0,015$
2,0 až 3,0	7,0	7,0	$\pm 0,020$	8,0	8,0	$\pm 0,020$
3,0 až 4,0	7,0	8,0	$\pm 0,020$	8,0	9,0	$\pm 0,020$
4,0 až 5,0	7,0 až 8,0	8,0	$\pm 0,030$	8,0	9,0	$\pm 0,030$
5,0 až 6,0	8,0	9,0	$\pm 0,030$	8,0 až 9,0	9,0	$\pm 0,030$
6,0 a větší	8,0 až 9,0	9,0	$\pm 0,030$	9,0	9,0	$\pm 0,030$

- Úchylka rovinnosti pruhů nesmí překročit na 1 m délky hodnotu 5 mm.
- Úchylka přesnosti délky ve směru šířky nesmí na 1 m délky překročit 4 mm.

2.2.4 MAZÁNÍ

Při přesném stříhání vzniká na bocích střížníku a otvoru střížnice vysoký měrný tlak. Mazáním snížíme hodnotu součinitele tření, zvýšíme životnost funkčních částí a kvalitu střížné plochy. Pro přesné stříhání je třeba zaručit kvalitní mazání. Používáme speciální oleje, které musí být nanесeny na plech z obou stran. Pracujeme s vysokými tlaky. S rostoucím tlakem roste i teplota. To jsou pracovní podmínky, kterým nevyhovuje čistý rostlinný, živočišný ani minerální olej. Velmi důležitá je smáčivost oleje, proto někdy přidáváme prostředek na její zlepšení. [2]

Dělení maziva:

a) *Mazivo pro přesné vystřihování plechu tloušťky do 4 mm*

– např.: Curtis 525, Jefa, Holifa, XS-147, XS-163

b) *Mazivo pro přesné vystřihování plechu tloušťky nad 4 mm*

– např.: FS-100(vyšší viskozita), XS-164

2.2.5 MATERIÁLY VHODNÉ PRO PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ

U ocelí pro přesné vystřihování je kladen důraz zejména na tvárnost za studena a minimální mez kluzu. Pro výrobu s ohledem na hospodárné využití nástrojů jsou nejvýhodnější nízkouhlíkové oceli s pevností $R_m \leq 600$ MPa a s malým obsahem vměstků. [2], [7]

Tab. 7. Přehled vybraných materiálů dle ČSN pro přesné stříhání [7].

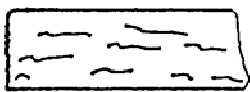
Značení material	Vhodnost pro přesné stříhání
ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425; 12 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024 ČSN 42 4214 (mosaz)	velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700 16 720	dobrá
Ms 63; Ms 60	špatná
Ms 58 (ČSN 42 3223)	nevhodná
Ms 63Pb (ČSN 42 3214)	nehodí se
ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088; 13 180; 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222, 19 252, 19 255, 19 312, 19 419, 19 452.	opotřebení nástroje

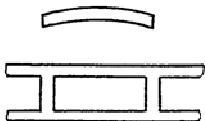
Se zvyšováním pevnostních charakteristik se vhodnost oceli pro přesné stříhání zmenšuje (viz tab. 7.). Rozhodující význam má struktura materiálu, která je ovlivněna obsahem uhlíku a legujících prvků. S rostoucím podílem zpevňujících složek se zvyšuje i opotřebení nástrojů. Makrostruktura ocelí by také neměla vykazovat metalurgické vady (shluky nekovových vměstků, trhliny, aj.). [2]

2.2.6 VADY VÝSTŘÍŽKŮ A JEJICH KOREKCE

V tab. 8 jsou uvedeny nejčastější závady, které vznikají při přesném vystřihování, příčiny jejich vzniku a způsob odstranění.

Tab. 8. Závady při přesném vystřihování a jejich korekce [2].

Defekt	Příčina	Odstranění defektu
Čistá střížná plocha 	Správná střížná vůle Správné zaoblení střížnice Vhodný materiál	
Celkově špatná střížná plocha 	Nevhodný materiál Velká drsnost střížnice Nevhodné mazivo Zaoblení střížnice malé nebo nepravidelné	Žíhat nebo změnit materiál Přebrousit střížnici Upravit nebo změnit mazivo Opravit zaoblení střížnice
Održený okraj 	Střížná vůle je velká	Vyrobit nový střížník
Trhlina ve střížné ploše 	Nevhodný materiál Nízká tlačná hrana Malý tlak na přítl. desce Malý skok nebo malá šířka pásu Zaoblení střížnice malé nebo nepravidelné Malý poloměr v rozích	Zvětšit tlačnou hranu Žíhat nebo změnit materiál Zvětšit tlak na přítl. desce Zvětšit skok nebo šířku materiálu Opravit zaoblení střížnice, pokud to stř. vůle dovolí Zvětšit radiusy, nebo v kritických místech vyrobit tlačnou hranu na střížnici
Příliš velká ostřina 	Malá střížná vůle, řezná část střížníku poškozena Střížná vůle je správná, střížník je poškozen	Zvětšit střížnou vůli a naostřit střížník Střížník přebrousit a lapovat

Defekt	Příčina	Odstranění defektu
Kuželovitá střížná plocha 	Velké zaoblení střížnice	Přebrousit střížnici, méně zaoblit
Zkroucené výstřižky 	Nevhodná struktura materiálu Napětí v materiálu Výstřižky se poškozují jeden o druhý Vodící kolíky nebo jiné části poškozují výstřižek	Použít vyžíhaný plech Změnit orientaci výstřižku na pásu Vyhazovat výstřižky do olejové lázně Přemístit vodící kolíky nebo upravit konstrukci nástroje
Výstřižek je prohnutý 	Příliš malý protitlak Příliš mnoho oleje na pásu	Zvýšit protitlak Zhotovit dvě nebo více drážek v tlačné hraně, aby olej mohl odtékat
Výstřižek je prohnutý ve směru pásu 	Napětí v materiálu	Použít rovnací zařízení Použít vyžíhaný plech

2.2.7 NÁSTROJE PRO PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ [1, 2]

Pro dosažení kvalitních, přesně stříhaných součástí je nutné použít speciální, přesné lisovací nástroje. Na tyto nástroje klademe mnoho požadavků. Mezi nejdůležitější řadíme následující:

- je vyžadována tuhost a přesnost nástroje, z důvodu 1,5 až 2,5 krát většího silového namáhání oproti konvenčnímu stříhání
- rovnoběžnost stěn otvoru ve střížnici po celé tloušťce stříhaného materiálu, bez jakéhokoliv úkosu
- přesné výškové ustavení nástroje (střížník nesmí procházet střížnicí)
- možnost přenášet potřebný tlak přes přidržovač a vyhazovač
- vzhledem k nepatrné střížné mezeře je nutné přesně vystředit a upevnit funkční části
- přítlačná deska je vybavena nátlačnou hranou a slouží nejen k sevření materiálu, ale i ke stírání stříhaného plechu ze střížníku
- je nutné pečlivě zvážit správnou volbu materiálů nástrojů a jejich tepelné zpracování
- konstrukce nástroje musí být volena s ohledem na použitý lis (podle jeho rozměrů a způsobu práce)

KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ NÁSTROJŮ A POPIS FUNKCE

Z konstrukčního hlediska se nástroje pro přesné vystřihování dělí do dvou základních skupin:

A) Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem.

- vhodné uspořádání pro velké, dlouhé součásti nesymetrických tvarů s mnoha otvory
- tloušťka stříhaného materiálu nad 5 mm
- nástroj srovnatelný se sloučeným stříhadlem otočeným o 180°
- konstrukce nástroje tohoto způsobu je citlivá na příčné síly, které způsobují vybočení střížníku ve směru stříhání
- síla potřebná pro zatlačení nátlačné hrany a pro sevření materiálu mezi přidržovač a střížnici je vyvozena hydraulicky pomocí přítlačných kolíků
- střížná síla je vyvozena mechanickým nebo hydraulickým pohonem
- otvory pro tlačné kolíky zeslabují průřez základové desky vodícího stojánku, která přenáší střížnou sílu na střížník

Popis funkce:

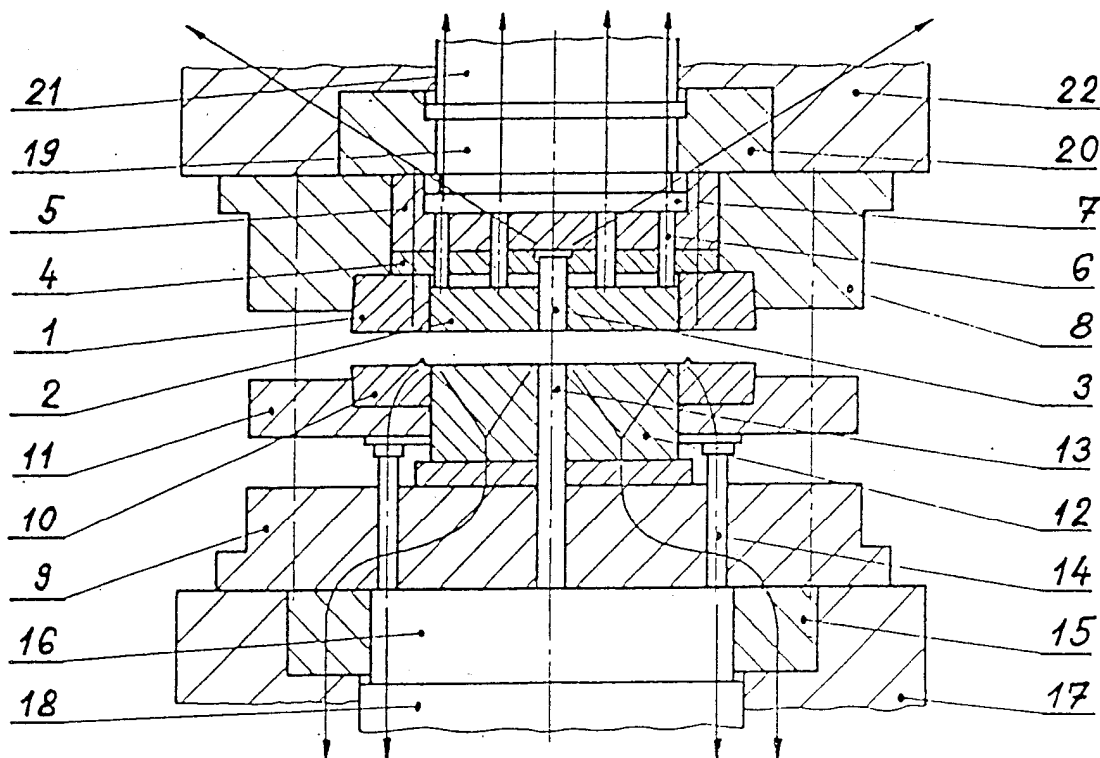
Tvarový střížník je pevně spojený se základovou deskou vodícího stojánu. Je ovládaný beranem lisu tak, že se pohybuje s celou spodní částí nástroje. Pohyb přítlačné desky realizován samostatným hydraulickým tlakovým zařízením přes píst, stavěcí tlakový kroužek a tlačné kolíky. Pohyb nesmí být závislý na pohybu beranu. Střížnice je upevněna v upínací desce vodícího stojánu a je v ni jeden vyhazovač ovládaný hydraulickým pístem pro tvorbu protitlaku (viz obr. 26).

B) Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem.

- konstrukce vhodná pro symetrické součásti
- tloušťka stříhaného materiálu do 5 mm
- příčné síly vznikající při vystřihování namáhají střížné prvky na ohyb
- velká trvanlivost nástroje
- nižší náklady na výrobu, seřízení a údržbu

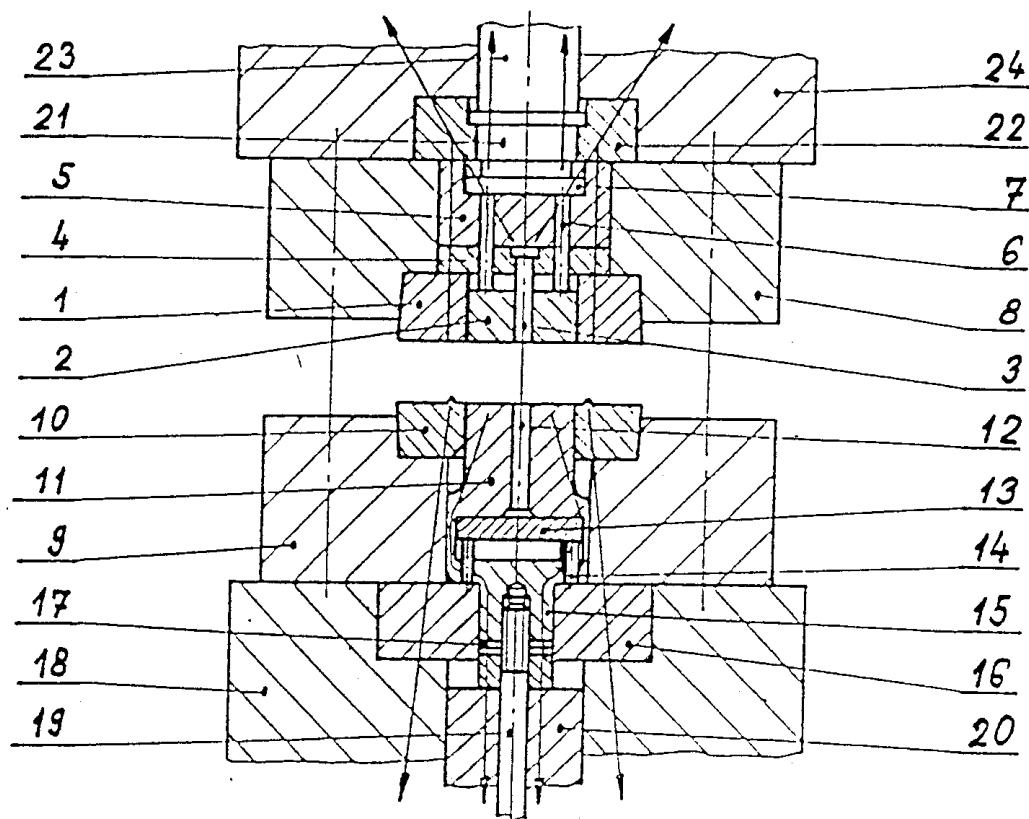
Popis funkce:

Střížník je veden radiálně zakotvenou přítlačnou deskou. Příčné síly působící na střížník nevyvolávají proto přesun střížných prvků k sobě. Hlava tvarového střížníku je vedena až k desce stojánu. Jeho pohyb je ovládán beranem lisu přes držák střížníku. V základové desce je upevněna tlačná deska. Její pohyb je souhlasný s pohybem spodní části nástroje. Střížnice je pevně uchycena v desce stojánu. Vyhazovač je veden střížnicí a jeho pohyb je ovládán hydraulickým pístem tak, že vytváří protitlak přes tlačnou vložku, vyhazovací kroužek a tlačné kolíky (viz obr. 27).



Obr. 26 Schéma nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [1].

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 12. střížnice | 1. tvarový střížník |
| 13. vyhazovač | 2. vyrážec |
| 14. děrovací střížník | 3. tlačný kolík |
| 15. kotevní deska | 4. tlakový opěrný kroužek |
| 16. podložka | 5. stavěcí tlakový kroužek |
| 17. tlačný kolík | 6. stůl lisu |
| 18. vyhazovací kroužek | 7. hydraulický píst pro lisovací sílu |
| 19. upínací deska vodícího stojánu | 8. tlačná vložka |
| 20. základová deska | 9. tlakový opěrný kroužek |
| 21. přítlačná deska | 10. píst pro protitlak |
| 22. vodící deska | 11. stůl lisu |



Obr. 27 Schéma nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem [1].

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. střížnice | 12. vyrážec |
| 2. vyhazovač | 13. vyrážecí lišta |
| 3. děrovací střížník | 14. tlačný kolík |
| 4. kotevní deska | 15. držák střížníku |
| 5. podložka | 16. tlakový opěrný kroužek |
| 6. tlačný kolík | 17. stavěcí tlakový kroužek |
| 7. vyhazovací kolík | 18. stůl lisu |
| 8. upínací deska vodícího stojánu | 19. upevňovací šroub |
| 9. základová deska vodícího stojánu | 20. beran lisu |
| 10. přítlačná deska | 21. tlačná vložka |
| 11. tvarový střížník | 22. tlakový opěrný kroužek |
| | 23. píst pro protitlak |
| | 24. stůl lisu |

MATERIÁLY NÁSTROJŮ PRO PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ

Na materiálu funkčních částí nástrojů a jejich tepelném zpracování je závislá hospodárnost a celková ekonomická výhodnost přesného vystřihování. Byly vyvinuty nástrojové oceli pro střížné nástroje s maximální odolností vůči opotřebení. Výběr materiálu pro funkční části nástroje přesného vystřihování je závislý na řadě činitelů:

- typ nástroje
- způsob namáhání
- stříhaný materiál
- počet kusů

Je třeba si uvědomit, že síly na jednotlivé části nástroje jsou vyšší než u konvenčního stříhání. Nástroje pro přesné vystřihování jsou konstruovány pro větší série výstřižků.

Tab. 9. Doporučené materiály funkčních částí nástroje [2].

Funkční část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
střížnice	19 436.3 19 437.3	kaleno a popouštěno na: 61-63 HRC pro s = 0,4 až 3,0 mm 58-61 HRC pro s = 3,0 až 7,0 mm
střížník	19 437.3	kaleno a popouštěno na: 60-61 HRC
přítlačná deska (přidržovač)	19 437.3	kaleno a popouštěno na: 58-59 HRC
vyhazovač	19 437.3	kaleno a popouštěno na: 58-59 HRC
tlačný kolík	19 421.3	kaleno a popouštěno na: 59-61 HRC
zděř	19 452.3 (výkovek)	kaleno a 2x popouštěno na: 55-57 HRC
opěrná deska	19 436.3	kaleno a popouštěno na: 58-60 HRC

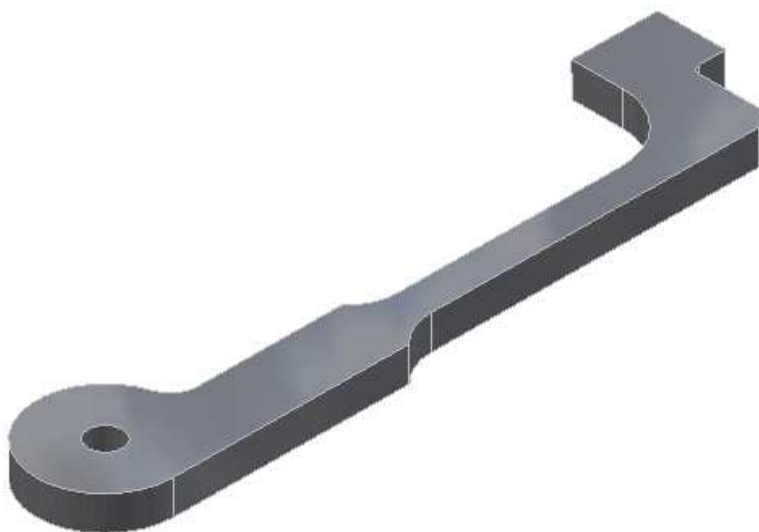
Kromě nástrojových ocelí byly vyvinuty i slinuté karbidy s obsahem 15 až 30% kobaltu. Při použití karbidů s vysokým obsahem kobaltu se dosahuje až desetkrát vyšších výkonů oproti ocelovým nástrojům. Pro střížníky se doporučuje slinutý karbid G 3 nebo G 4 a pro střížnky je to karbid G 3, G 4 nebo G 5. Nástroj ze slinutého karbidu se stává ekonomicky efektivním až při výrobní sérii 700 000 kusů součástí. Tyto nástroje vyžadují pečlivou kontrolu při provozu, velkou tuhost stroje a přesné vedení.

3 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

3.1 PARAMETRY ZADANÉ SOUČÁSTI

Jde o výrobu součásti na jednom lisovacím nástroji. Zadanou součástí je kulisa šicího stroje, daných rozměrů, s požadovanou kvalitou střížných ploch a bez tvarových deformací viz příloha č. 1. Součást je určena následujícími materiálovými charakteristikami:

- Zadaný materiál: 11 373.1
- Tepelné zpracování: normalizační žíhání
- Pevnost v tahu **R_m**: 450 MPa
- Pevnost ve stříhu **τ_{ps}**: 360 MPa
- Mez kluzu **Re**: 400 MPa



Obr. 28 3D model zadané součásti.

3.2 STÁVÁJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

Stávající technologický postup je tvořen 6 operacemi viz. příloha č. 2. Pro dosažení požadované kvality součásti je stříhání doplněno i obráběním. Stávající technologie vyžaduje po vlastním stříhání ještě další operace, kterými jsou přistřihování a obrábění.

Mezi hlavní nevýhody patří:

- a) velký počet operací
- b) zapotřebí více pracovníků
- c) vysoká manipulace s materiálem
- d) velká cena

Vysokým počtem operací se zvyšuje šance vzniku geometrických nepřesností. Při klasickém stříhání je také dosažena méně kvalitní střížná plocha a proto je nutné zvolit vhodnější technologii.

4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Abychom odstranili nedostatky plynoucí ze současného technologického postupu, volíme novou technologii, a sice technologii přesného stříhání. Z návrhu nového technologického postupu (viz příloha č. 3) je zřejmé, že se ušetří operace přistřihování, rovnání a následného obrábění. Nová technologie zkrátí počet operací, výrobní časy, zredukuje nároky na počet pracovníků a tím sníží celkové náklady potřebné na výrobu. Dále se sníží zmetkovitost a zvýší bezpečnost práce.

4.1 TECHNOLOGIČNOST ZADANÉ SOUČÁSTI

A) Poloměr rohů a hran vystřihovaných částí

Dle obr. 21 pro optimální velikost poloměrů rohů a hran vystřihovaných částí je zadaná součást vyhovující.

B) Minimální průměr otvorů a šířka drážky

Pro kontrolu minimálního povoleného průměru se použije vztahu z tab. 4. Minimální průměr je dán vztahem $d_{min} = 60\% s$. Pro zadanou tloušťku součásti $s = 2 \text{ mm}$ je pak $d_{min} = 1,2 \text{ mm}$. Dle výkresové dokumentace je nejmenší průměr otvoru součásti roven $1,8 \text{ mm}$. Zadaná součást vyhovuje podmínce o velikosti minimálního průměru otvoru. K určení minimálního průměru lze použít také diagram na obr. 22.

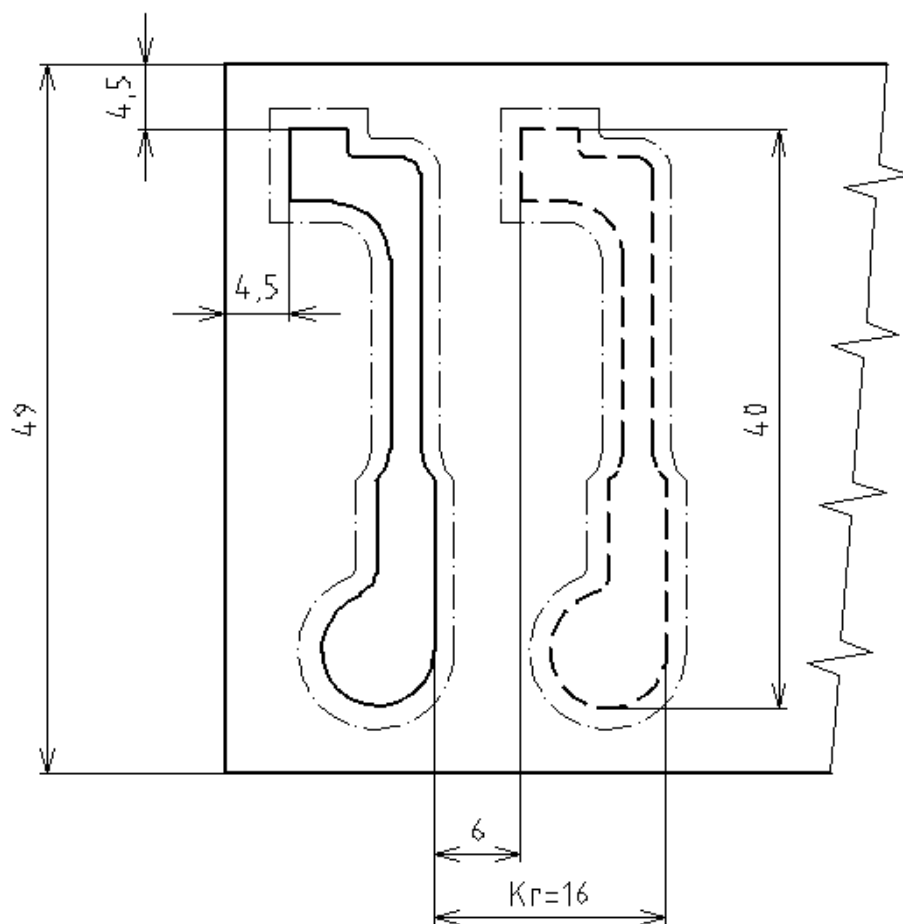
C) Minimální vzdálenost mezi otvorem a hranou součásti

Dle obr. 24 pro určení minimální vzdálenosti mezi otvorem a hranou součásti platí, že pro $s = 2 \text{ mm}$ je $a_{min} = 1,2 \text{ mm}$. Zadaná součást vyhovuje podmínce. Přesným stříháním lze vyrobit součást s přesností IT7 – IT9 dle norem ISO což vyhovuje zadání.

4.2 KONSTRUKČNÍ VÝPOČTY

4.2.1 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN

Pro navržení nástřihového plánu je třeba, aby byly splněny podmínky pro minimální velikost postranního odpadu b_1 a můstku b_2 . Pro stanovení minimálních rozměrů b_1 , b_2 se použije hodnot z tab. 5. Pro zadanou tloušťku součásti jsou rozměry $b_1 = 4,5$ mm, $b_2 = 6,0$ mm.



Obr. 29 Návrh nástřihového plánu, kde $Kr = 16$ mm (krok).

Dle návrhu nástřihového plánu bude součást stříhána ze svitku o rozměrech:

$$t \times \text{š} \times l_p = 2 \times 49 \times 2000$$

Kde

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

š – šířka pásu plechu [mm]

l_p – délka pásu plechu [mm]

Délka křivky stříhu a plocha výstřížku:

Délka křivky stříhu l a plocha výstřížku S' byly spočteny programem Autodesk INVENTOR 11 a výsledné hodnoty jsou následující:

$$l = 106,9 \text{ mm}$$

$$S' = 160,4 \text{ mm}^2$$

Počet součástí n_s , které lze vystříhnout z jednoho pásu plechu (2 x 49 x 2000) je dle nástřihového plánu:

$$n_s = 124 \text{ ks}$$

Hospodárnost nástřihu:

$$h = \frac{S_0}{S_p} = \frac{n_s \cdot S'}{\check{s} \cdot l_p} = \frac{124 \cdot 160,04}{49 \cdot 2000} \cdot 100 = 20,3\% \quad (22)$$

Kde

S_0 – celková plocha výstřížků [mm^2]

S_p – plocha pásu plechu [mm^2]

n_s – počet součástí z jednoho pásu plechu [ks]

S' – plocha výstřížku [mm^2]

Ze vztahu bylo spočteno, že 20,3% z celkového materiálu tvoří samotné výstřížky a zbylých 79,7% je odpad.

4.2.2 VÝPOČET CELKOVÉ SÍLY A PRÁCE PŘI PŘESNÉM STŘÍHÁNÍ

Střížná síla:

$$F_s = S \cdot \tau_{ps} \cdot n = l \cdot t \cdot \tau_{ps} \cdot n = 106,9 \cdot 2 \cdot 360 \cdot 1,2 \cong 92355 \text{ N} \quad (23)$$

Přítlačná síla:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h = 4 \cdot 450 \cdot 110,7 \cdot 0,4 \cong 79670 \text{ N} \quad (24)$$

Síla vyhazovače:

$$F_V = S' \cdot p = 160,04 \cdot 50 \cong 8002 N \quad (25)$$

Výpočet celkové potřebné síly lisu:

$$F_c = F_S + F_P + F_V = 92355 + 79670 + 8002 = \underline{180027 N} \quad (26)$$

Kde

- F_S - střížná síla [N]
 F_P - síla přidržovače (potřebná k zatlačení tlačné hrany do materiálu) [N]
 F_V - síla vyhazovače [N]
 S - střížná plocha (délka křivky stříhu x tl. plechu) [mm²]
 L - délka tlačné hrany [mm]
 l - délka křivky stříhu [mm]
 h - výška tlačné hrany voleno z tab. 3 [mm]
 τ_{ps} - pevnost ve stříhu [MPa]
 n - součinitel otupení ($n = 1,2$)
 S' - plocha výstřížku [mm²]
 p - měrný tlak (volí se mezi 20 až 70) [MPa]

Celková práce:

$$A = A_S + A_P + A_V \quad (27)$$

$$A = \frac{0,48 \cdot l \cdot R_m \cdot t}{1000} + \frac{2 \cdot R_m \cdot h \cdot L_h}{1000} + \frac{S' \cdot p \cdot t}{1000} \quad (28)$$

$$A = \frac{0,48 \cdot 106,9 \cdot 450 \cdot 2}{1000} + \frac{2 \cdot 450 \cdot 0,4 \cdot 110,7}{1000} + \frac{160,04 \cdot 50 \cdot 2}{1000} \quad (29)$$

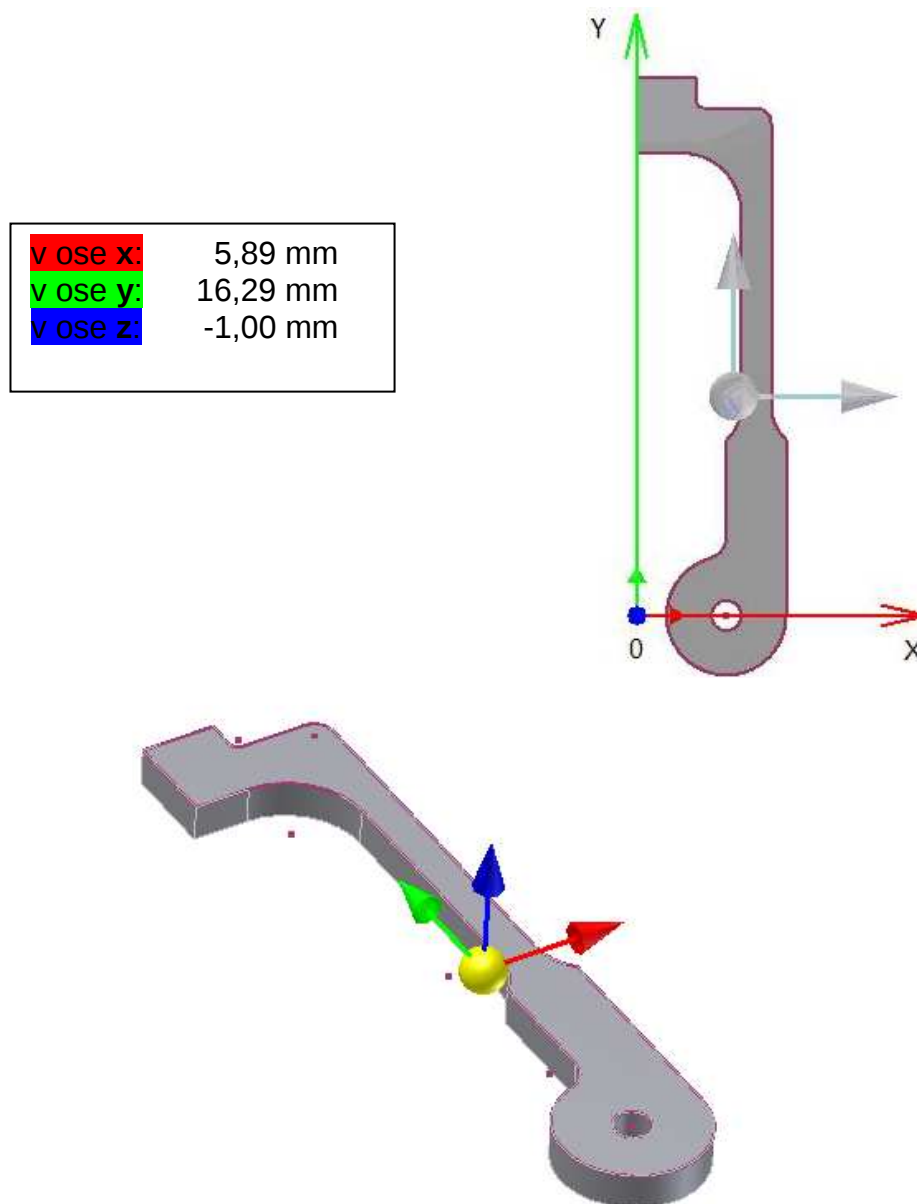
$$A = 46,18 + 39,84 + 16,8 = \underline{102,82 J} \quad (30)$$

Kde

- A_S - střížná práce [J]
 A_P - práce k zatlačení tlačné hrany do materiálu [J]
 A_V - práce vyhazovače [J]

4.2.3 URČENÍ TĚŽIŠTĚ PŮSOBÍCÍCH STŘIŽNÝCH SIL

Je důležité, aby výslednice sil působila v ose beranu. Osa nástroje se umístí tedy do těžiště. Při nevhodném umístění nástroje může dojít k namáhání vedení nástroje. Ke stanovení těžiště působících střížných sil bylo použito výpočtu a grafického znázornění programu AutoDesk INVENTOR 11.



Obr. 30 Poloha těžiště součásti se souřadnicemi.

4.2.4 NÁVRH HYDRAULICKÉHO LISU

Zadaná součást se bude vyrábět na hydraulickém lisu HSR 320 od firmy SCHMID. Lis byl zvolen s ohledem na vypočtené síly v kapitole 3.2.2 a lze na něm zadanou součást vyrobit.



Obr. 31 Hydraulický lis HSR 320 X - TRA [9].

Parametry lisu:

- celková síla: 3200 [kN]
- síla vyhazovače: 650 [kN]
- síla nátláčné hrany: 1000 [kN]
- pracovní zdvih beranu: 30 – 200 [mm]
- počet zdvihů: 80/min
- max. rozměr nástroje: 575 x 575 [mm]
- max. rozměr stříhaného pásu: 270 x 20 [mm]

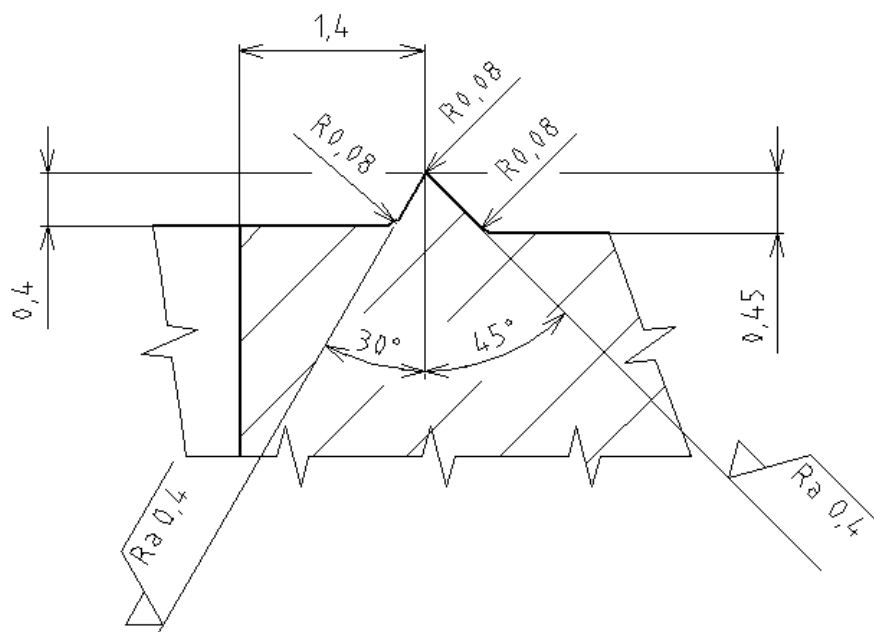
4.2.5 NÁVRH NÁSTROJE

Vzhledem k tomu, že není zapotřebí navrhovat dělenou střížnici byla navržena střížnice nedělená, kruhová a zajištěná kolíkem proti nežádoucímu pootočení. Veškeré rozměry použité ve výpočtech vycházejí z návrhu střížníku a střížnice viz výkresová dokumentace.

NÁVRH GEOMETRIE NÁTlačNÉ HRANY

Tloušťka stříhaného materiálu je 2 mm, a proto dle literatury 7 se konstruuje pro plechy do tloušťky 4 mm jedna nátláčná hrana na přídržovači. Geometrie nátláčné hrany (viz kap. 2.2.1) je určena těmito parametry:

- vzdálenost nátláčné hrany od obrysu bříty: $a = 1,4 \text{ mm}$
- výška nátláčné hrany: $h = 0,4 \text{ mm}$
- odlehčená výška: $h_1 = 0,45 \text{ mm}$
- poloměr zaoblení: $R = 0,08 \text{ mm}$
- úhel: $\alpha = 30^\circ$
- úhel: $\beta = 45^\circ$



Obr. 32 Geometrie navržené nátláčné hrany.

STANOVENÍ STŘIŽNÉ VŮLE:

Pro plech o tloušťce 2 mm volíme podle tab. 3 střížnou vůli $v = 0,01$ mm.

PEVNOSTNÍ VÝPOČTY:**A) Střížnice - (výpočet minimální výšky střížnice):**

$$H_{\min} = \sqrt[3]{0,1 \cdot (F_s + F_p)} \quad (31)$$

$$H_{\min} = \sqrt[3]{0,1 \cdot (92355 + 79670)} \quad (32)$$

$$H_{\min} = \underline{25mm} \quad (33)$$

Minimální výška střížnice byla určena výpočtem, kde $H_{\min} = 25$ mm. Proto s ohledem na minimální rozměr střížnice byl zvolena výška větší $H_{\min} = 28$ mm.

B) Střížník o $\varnothing 2$ mm:

- Na otláčení:

$$\sigma = \frac{F_{\varnothing 2}}{S} = \frac{5426}{3,14} = \underline{1728MPa} \quad (34)$$

$$F_{\varnothing 2} = l \cdot t \cdot \tau_{ps} \cdot n = 6,28 \cdot 2 \cdot 360 \cdot 1,2 \cong 5426N \quad (35)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} = 3,14mm^2 \quad (36)$$

Kde

$F_{\varnothing 2}$ - střížná síla střížníku $\varnothing 2$ mm [N]

S - střížná plocha (délka křivky stříhu x tl. plechu) [mm²]

l - délka křivky stříhu [mm]

τ_{ps} - pevnost ve stříhu [MPa]

n - součinitel otupení ($n = 1,2$)

Musí platit, že $\sigma \leq \sigma_D$, kde $\sigma_D = 2000$ MPa. Z výpočtu a následného porovnání napětí σ a dovoleného napětí σ_D plyne, že podmínka $1728 \leq 2000$ je splněna.

- Na vzpěr:

$$l_{KRIT} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{F_{\emptyset 2}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,79}{5426}} = \underline{24,6mm} \quad (37)$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 2^4}{64} = 0,79mm^4 \quad (38)$$

Kde

$F_{\emptyset 2}$ - střižná síla [N]

E - modul pružnosti roven $2,1 \times 10^5$ [Nmm⁻²]

l_{KRIT} - kritická délka [mm]

I - kvadratický moment [MPa]

I přesto, že navržený střižník dosahuje délky 49 mm, splňuje podmínku kritické délky. Střižník je z větší části veden a nevedená část má délku 10 mm což je menší rozměr než je spočtená kritická hodnota. Střižník tedy vyhovuje.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [11, 12]

S ohledem na skutečnost, že zadaná součást není určená pro výrobu v konkrétním podniku, hodnoty použity v technicko – ekonomickém zhodnocení jsou jen orientační.

Technologie stříhání prodělala v posledních letech řadu změn. Zavedením technologie přesného stříhání se dosahuje vysoké kvality střížného povrchu. K vystřížení téže součásti je zapotřebí méně operací, než je tomu u konvenčního stříhání. S menším počtem operací se snižují i nároky na počty pracovišť a dělníků a tím k nemalým úsporám podniku. Tato technologie je výhodná zejména u součástí vyráběných ve velkých sériích. Jako minimální série se udává 40 000 kusů výrobků.

5.1 NÁKLADY NA MATERIÁL

Zadaná součást je vystřihována z pásu plechu materiálu 11 373.1 o rozměrech š x LP = 49 x 2000 mm. Počet vyráběných kusů ročně byl po dohodě s vedoucím práce stanoven na 850 000 ks/rok. Jak plyne z nástřihového plánu v kapitole 4.2.1 z pásu plechu o rozměrech 49 x 2000 mm je možné vyrobit maximálně 124 výstřížků zadané součásti. Potom využití materiálu je rovno 20,3% a zbytek tvoří odpad.

5.1.1 VÝPOČET CENY MATERIÁLU

K datu 15.5.2010 stál jeden kilogram materiálu 14,28 Kč. Cena byla stanovena firmou PROGRESE METAL s.r.o. BRNO, dodavatelskou společností ocelí pro strojírenství.

Stanovení hmotnosti výstřížku:

$$m = \rho \cdot V \quad (39)$$

$$m = \rho \cdot S' \cdot t = 7800 \cdot 10^{-9} \cdot 160,04 \cdot 2 = \underline{0,0025kg} \quad (40)$$

Kde

m - hmotnost výstřížku [kg]

S' - plocha výstřížku [mm²]

t - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

ρ - hustota (pro ocel rovna 7 800 kg/m³) [kg/m³]

V - objem jednoho výstřížku [m³]

Cena materiálu jednoho výstřížku:

Jestliže cena za 1 kg materiálu 11 373.1 je rovna 14,28 Kč, pak spotřeba materiálu spadajícího na jeden výstřížek je dán vztahem:

$$N_m = 14,28 \cdot m = 14,28 \cdot 0,0025 = \underline{0,036 \text{Kč} / \text{ks}} \quad (41)$$

Spotřeba materiálu potřebného k vystřížení zadané součásti je stejná jak pro stávající tak pro nově navrženou technologii.

5.2 NÁKLADOVÁ CENA VÝSTŘÍŽKU

Vychází se z kalkulačního vzorce, s jehož pomocí lze zjistit náklady na výrobu zadané součásti. Náklady se dělí na:

- Závislé - tyto náklady je nutno vynaložit na výrobu každého výstřížku a patří sem:
 - o Přímé mzdy
 - o Přímý materiál
 - o Ostatní přímé náklady
 - o Režijní náklady

- Nezávislé - jedná se o náklady, které se musí vynaložit před zahájením výroby a patří sem:
 - o Náklady na pořízení speciálních přípravků, nářadí
 - o Náklady na výrobní dokumentaci, aj.

5.2.1 NÁKLADOVÁ CENA STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Stanovení počtu pracovníků a časů, potřebných k výrobě zadané součásti dle stávajícího a nového technologického postupu, bylo provedeno hrubým odhadem, z důvodu simulované výroby pro neexistující podnik.

Tab. 10. Stanovení počtu pracovníků, jednotkového a dávkového času.

Operace	Počet pracovníků	Jednotkový čas [N _{min} /ks]	Dávkový čas [N _{min}]
Rovnění	1	3,50	2
Stříhání	1	0,27	150
Přistřižení	1	0,25	135
Odstranění ostřin	1	0,30	10
Vrtání a vystružení	1	1,50	12
Omílání	1	0,10	0
SUMA	6	5,92	309

Z tabulky se odečtou tyto hodnoty:

- čas potřebný na výrobu jednoho kusu: $t_{AS} = 5,96 \text{ N}_{\min}/\text{ks}$
- čas potřebný na seřízení a přípravu stroje: $t_{BS} = 309 \text{ N}_{\min}$
- počet dělníků ve výrobě: $n_d = 6 \text{ dělníků}$
- výrobní dávku volím: $d_v = 500 \text{ ks}$

Výpočet pracnosti konvenční technologie:

$$t_{PR} = t_{AS} + \frac{t_{BS}}{d_v} = 5,96 + \frac{309}{500} = \underline{6,54 \text{ N}_{\min} / \text{ks}} \quad (42)$$

Přímé mzdy dělníků na výrobu jednoho výstřižku:

Aby bylo možné určit přímé mzdy dělníků na jeden výstřižek, je nutné určit hodinovou přímou mzdu dělníka výroby. Jako průměrnou mzdu dělníka ve výrobě byla zvolena částka 115 Kč/hod hrubého. K této sumě se přičítá 35% pro stanovení superhrubé mzdy, ze které výpočet pro přímé mzdy vychází.

Hodinová přímá mzda jednoho dělníka výroby:

$$m_{HM} = 1,35 \cdot 115 = \underline{155,25 \text{ Kč} / h} \quad (43)$$

Přímé mzdy na jeden výstřižek:

$$M_{PM} = \left(\frac{t_{PR}}{60} \right) \cdot m_{HM} \cdot n_d = \left(\frac{6,54}{60} \right) \cdot 155,25 \cdot 6 = \underline{101,5Kč / ks} \quad (44)$$

Ostatní přímé náklady

Ostatní přímé náklady byly zadány jako 23% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$OPN = 0,23 \cdot M_{PM} = 0,23 \cdot 101,5 = \underline{23,35Kč / ks} \quad (45)$$

Výrobní režie

Výrobní režie byla zadána jako 420% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$VR = 0,42 \cdot M_{PM} = 0,42 \cdot 101,5 = \underline{42,63Kč / ks} \quad (46)$$

Správní režie

Správní režie byla zadána jako 114% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$SR = 1,14 \cdot M_{PM} = 1,14 \cdot 101,5 = \underline{115,71Kč / ks} \quad (47)$$

Odbytová režie

Odbytová režie byla zadána jako 22% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$OR = 0,22 \cdot M_{PM} = 0,22 \cdot 101,5 = \underline{22,23Kč / ks} \quad (48)$$

Určení nákladové ceny výstřižku:

Nákladová cena výstřižku se určí podle kalkulačního vzorce z tab. 11. Zisk na jednom výstřižku byl zvolen jako 14% z nákladové ceny a je roven:

$$Z = 0,14 \cdot \dot{U}VN_{\text{výk}} = 0,14 \cdot 305,4 = \underline{42,8 \text{ Kč / ks}} \quad (49)$$

Tab. 11. Kalkulační vzorec stávající technologie [11, 12].

Rozdělení	Symbol	Náklady [Kč/ks]
1. Přímý material	N_m	0,036
2. Přímé mzdy	M_{PM}	101,5
3. Ostatní přímé náklady	OPN	23,35
4. Výrobní režie	VR	42,63
Vlastní náklady výroby	VNV	167,52
5. Správní režie	SR	115,71
Vlastní náklady výkonů	$VN_{\text{výk}}$	283,2
6. Odbytové náklady	OR	22,23
Úplné vlastní náklady výkonů	$\dot{U}VN_{\text{výk}}$	305,4
7. Zisk	Z	42,8
Nákladová cena	N_c	348,2

Pomocí kalkulačního vzorce a výše zmíněných výpočtů jsme stanovili nákladovou cenu jednoho výstřižku, která je pro stávající konvenční technologii stříhání rovna 348,2 Kč.

5.2.2 NÁKLADOVÁ CENA NOVÉ TECHNOLOGIE

Nákladová cena pro novou technologii přesného vystřihování se stanoví obdobným způsobem jako pro stávající. Použijí se stejné výpočty s upravenými hodnotami pracovníků a časů.

Tab. 10. Stanovení počtu pracovníků, jednotkového a dávkového času.

Operace	Počet pracovníků	Jednotkový čas [N_{min}/ks]	Dávkový čas [N_{min}]
Rovnění	1	3,50	2
Stříhání	1	0,15	150
Odstranění ostřin	1	0,20	10
Omílání	1	0,10	0
SUMA	4	3,95	162

Z tabulky se odečtou tyto hodnoty:

- čas potřebný na výrobu jednoho kusu: $t_{AN} = 3,95 \text{ N}_{\min}/\text{ks}$
- čas potřebný na seřízení a přípravu stroje: $t_{BN} = 162 \text{ N}_{\min}$
- počet dělníků ve výrobě: $n_d = 4 \text{ dělníci}$
- výrobní dávku volím: $d_v = 500 \text{ ks}$

Výpočet pracnosti konvenční technologie:

$$t_{PR} = t_{AN} + \frac{t_{BN}}{d_v} = 3,95 + \frac{162}{500} = \underline{4,27 \text{ N}_{\min} / \text{ks}} \quad (50)$$

Přímé mzdy dělníků na výrobu jednoho výstřižku:

Hodinová přímá mzda bude stejná pro obě technologie. Přímá mzda připadající na jeden výstřižek bude po dosazení upraveného počtu dělníků a pracnosti rovna:

$$M_{PM} = \left(\frac{t_{PR}}{60} \right) \cdot m_{HM} \cdot n_d = \left(\frac{4,27}{60} \right) \cdot 155,25 \cdot 4 = \underline{44,2 \text{ Kč} / \text{ks}} \quad (51)$$

Ostatní přímé náklady

Ostatní přímé náklady byly zadány jako 23% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem.

$$OPN = 0,23 \cdot M_{PM} = 0,23 \cdot 44,2 = \underline{10,17 \text{ Kč} / \text{ks}} \quad (52)$$

Výrobní režie

Výrobní režie byla zadána jako 420% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$VR = 0,42 \cdot M_{PM} = 0,42 \cdot 44,2 = \underline{18,56 \text{ Kč} / \text{ks}} \quad (53)$$

Správní režie

Správní režie byla zadána jako 114% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$SR = 1,14 \cdot M_{PM} = 1,14 \cdot 44,2 = \underline{50,39 \text{ Kč / ks}} \quad (54)$$

Odbytová režie

Odbytová režie byla zadána jako 22% z přímých mezd a jsou určeny následujícím vztahem:

$$OR = 0,22 \cdot M_{PM} = 0,22 \cdot 44,2 = \underline{9,72 \text{ Kč / ks}} \quad (55)$$

Určení nákladové ceny výstřižku:

Nákladová cena výstřižku se určí podle kalkulačního vzorce z tab. 11. Zisk na jednom výstřižku byl zvolen jako 14% z nákladové ceny a je roven:

$$Z = 0,14 \cdot \dot{U}VN_{VYK} = 0,14 \cdot 133,12 = \underline{18,64 \text{ Kč / ks}} \quad (56)$$

Tab. 11. Kalkulační vzorec stávající technologie [11, 12].

Rozdělení	Symbol	Náklady [Kč/ks]
1. Přímý material	N_m	0,036
2. Přímé mzdy	M_{PM}	44,20
3. Ostatní přímé náklady	OPN	10,17
4. Výrobní režie	VR	18,56
Vlastní náklady výroby	VNV	72,97
5. Správní režie	SR	50,39
Vlastní náklady výkonů	VN_{VYK}	123,4
6. Odbytové náklady	OR	9,72
Úplné vlastní náklady výkonů	$\dot{U}VN_{VYK}$	133,12
7. Zisk	Z	18,64
Nákladová cena	N_c	151,76

Z kalkulačního vzorce a výpočtů jsme zjistili nákladovou cenu jednoho výstřižku, která je pro novou technologii přesného vystříhování rovna 151,76 Kč. Náklady se tedy povedlo zredukovat o 56,4%.

6 ZÁVĚR

Zadáním této diplomové práce byl návrh nové technologie výroby součásti s názvem „KULISA“ s č. v. 4-DP-05-10/01 metodou přesného stříhání. Stávající technologický postup je tvořen 6 operacemi viz. příloha č.2. Pro dosažení požadované kvality součásti je stříhání doplněno i obráběním. Technologie konvenčního stříhání byla nevýhodná zejména z důvodu velkého počtu operací, dlouhých výrobních časů, potřeby více pracovníků a nekvalitní střížné plochy. Z technologického hlediska je vysoký počet operací nevhodný také z důvodu většího rizika vzniku geometrických nepřesností. Pro přesné vystřihování bylo provedeno zhodnocení technologičnosti součásti aby byla ověřena vhodnost použití zvolené technologie. Dále byly navrženy nové nástroje a provedeny důležité výpočty. Navržením technologie přesného stříhání se docílilo kvalitnějších výstřížků. Celkový počet operací se snížil jen na 4 spolu i s počtem potřebných výrobních dělníků. Z technicko-ekonomického zhodnocení jasně vyplývá, že nová technologie je daleko hospodárnější. Z kalkulačního vzorce byla zjištěna nákladová cena jednoho výstřížku pro obě technologie. Při porovnání obou technologií bylo zjištěno, že zavedením technologie přesného stříhání se náklady na jeden výstřížek snížily o 56,4%. Závěrem lze tedy říci, že metoda přesného stříhání je vhodná k výrobě zadané součásti z důvodu velkých úspor na nákladech a zlepšení kvality střížných ploch výstřížku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GUIDI A. *Přístřihování a přesné stříhání*. 1. vyd. Brno, SNTL Praha, 1969. 140 s.
- [2] NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha, SNTL Praha, 1980. 216 s.
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
- [4] *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. 2005 [cit. 2010-03-15]. [Http://www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz). Dostupné z WWW: <www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>.
- [5] *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIA* [online] [cit. 2009-11-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.strojarskatechnologia.info/14-operacie-strihania-rozdelenie-a-princip/>>.
- [6] *Ústav strojírenské technologie* : FSI, VUT v Brně [online]. 2002 [cit. 2010-02-04]. <http://ust.fme.vutbr.cz/>. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/specialni_technologie_v_yroby__novotny_piska.pdf>
- [7] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: *Technologie tváření – Plošné a objemové tváření*. VUT Brno, 2007
- [8] VYSKOČIL, O., BARTOŠ, P. *Směnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání*, Brno Zbrojovka a.s. 1997, 87 str.
- [9] *SCHMIDPRESS* [online] [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.schmidpress.ch/index.php?id=61&L=1>>
- [10] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 2. vyd. Praha 2005. 905 str.
- [11] JUROVÁ M.: *Řízení výroby 1, část 1*. Vydavatelství VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, listopad 2005, 81 s, ISBN 80-214-3066-4.
- [12] JUROVÁ M.: *Řízení výroby 1, část 2*. Vydavatelství VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, listopad 2005, 138 s, ISBN 80-214-3134-2.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a	[mm]	rameno normálové složky střížné síly
c	[mm]	rameno přítláčné síly
F	[N]	normálová složka střížné síly
F_P	[N]	síla přidržovače
F_S	[N]	střížná síla
F_V	[N]	síla vyhazovače
F_C	[N]	celková síla
s, t	[mm]	tloušťka stříhaného materiálu
O	[mm]	střížný obvod
T_S, T_{PS}	[MPa]	střížný odpor / pevnost ve stříhu
n	[-]	součinitel otupení nožů (1,1 až 1,3)
A	[J]	střížná práce
A_S	[J]	střížná práce
A_P	[J]	práce potřebná k zatlačení tlačné hrany do materiálu
A_V	[J]	práce vyhazovače
k	[-]	Koeficient yaplnění plochy pod křivkou
Z_d	[mm]	zdvih – stejný ynak pro mezeru
γ	[°]	úhel stříhu, úhel sklonu nožů (2-6° tabulové nůžky, 7-20° pákové nůžky)
v	[mm]	střížná vůle
z	[mm]	střížná mezera ($z=v/2$)
c	[-]	koeficient závislý na druhu stříhání, pro přesné stříhání volíme $c = 7 \cdot 10^{-4}$
h	[mm]	výška nátláčné hrany
h_1	[mm]	výška odlehčení za nátláčnou hranou
S	[mm ²]	střížná plocha (délka křivky stříhu x tl. plechu)
R _m	[MPa]	pevnost materiálu v tahu
L_h	[mm]	délka tlačné hrany
l	[mm]	délka křivky stříhu
S'	[mm ²]	plocha výstřížku
p	[MPa]	měrný tlak
R	[mm]	poloměr zaoblení střížné hrany
R_V	[mm]	výsledný vnitřní poloměr výstřížku
W_1	[mm]	nejvýhodnější vzdálenost mezi otvory a drážkami
W_2	[mm]	nejpříznivější vzdálenost mezi otvory a drážkami
š	[mm]	šířka pásu plechu
l_P	[mm]	délka pásu plechu
n_s	[ks]	počet součástí z jednoho pásu plechu
H_{min}	[mm]	minimální výška střížnice
$F_{\emptyset 2}$	[N]	střížná síla střížníku $\emptyset 2$ mm
l_{KRIT}	[mm]	kritická délka
I	[MPa]	kvadratický moment
E	[Nmm ⁻²]	modul pružnosti v tahu roven $2,1 \times 10^5$
m	[kg]	hmotnost jednoho výstřížku
ρ	[kg/m ³]	hustota materiálu
V	[m ³]	objem jednoho výstřížku

N_m	[Kč/ks]	cena materiálu jednoho výstřižku
t_{AS}	$[N_{min}/ks]$	čas potřebný na výrobu jednoho kusu stávající technologie
t_{BS}	$[N_{min}]$	čas potřebný na seřízení a přípravu stroje u stávající technologie
t_{AN}	$[N_{min}/ks]$	čas potřebný na výrobu jednoho kusu nové technologie
t_{BN}	$[N_{min}]$	čas potřebný na seřízení a přípravu stroje u nové technologie
n_d	[ks]	počet výrobních dělníků
d_v	[ks]	výrobní dávka
m_{HM}	[Kč/h]	hodinová přímá mzda jednoho dělníka
M_{PM}	[Kč/ks]	přímé mzdy na jeden kus
OPN	[Kč/ks]	ostatní přímé náklady
VR	[Kč/ks]	výrobní režie
SR	[Kč/ks]	správní režie
OR	[Kč/ks]	odbytová režie
Z	[Kč/ks]	Zisk
N_C	[Kč/ks]	nákladová cena
VNV	[Kč/ks]	vlastní náklady výroby
$VN_{VÝK}$	[Kč/ks]	vlastní náklady výkonů
$ÚVN_{VÝK}$	[Kč/ks]	úplné vlastní náklady výkonů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti 4-DP-05-10/01
Příloha 2	Technologický postup stávající technologie
Příloha 3	Technologický postup navržené technologie
Příloha 4	Návrh nátláčné hrany 3-DP-05-10/02
Příloha 5	Střížník 4-DP-05-10/03
Příloha 6	Střížník 4-DP-05-10/04
Příloha 7	Střížnice 3-DP-05-10/05
Příloha 8	Sloučené stříhadlo 1-DP-05-10/00A
Příloha 9	Sloučené stříhadlo 1-DP-05-10/00B