

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Posouzení příčin praskání funkčních částí střížného nástroje

2018

ONDŘEJ HÁK

Studijní program: Teoretický základ strojírenského inženýrství

Vedoucí práce: Ing. František Tatíček, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hák** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **459852**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Posouzení příčin praskání funkčních částí střížného nástroje

Název bakalářské práce anglicky:

Assessing of the cracking causes of the shearing tool functional parts

Pokyny pro vypracování:

- 1) Úvod a seznámení s problematikou
- 2) Popis technologie stříhání
- 3) Analyzovaných posuzovaných nástrojů
- 4) Návrh opatření
- 5) závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

dle doporučení vedoucího BP

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. František Tatíček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

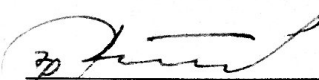
Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**


Ing. František Tatíček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Ladislav Kolář, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

3.5.2018
Datum převzetí zadání

O. Hák
Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Posouzení příčin praskání funkčních částí střížného nástroje“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Tatíčka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Ondřej Hák

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Františku Tatíčkoví, Ph.D. za odborný dohled, konzultace, vedení a čas, který mi věnoval, a které mi značně pomohly k vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Kerval, a.s. a zaměstnancům ČVUT v Praze, bez jejichž pomoci by tato práce nemohla vzniknout.

Anotace

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní
Ústav: Ústav strojírenské technologie
Název práce: Posouzení příčin praskání funkčních částí střížného nástroje
Akademický rok: 2017/2018
Autor: Ondřej Hák
Vedoucí práce: Ing. František Tatíček, Ph.D.

Bibliografické údaje: Počet stran 40
Počet obrázků 27
Počet tabulek 8

Klíčová slova: Plošné tváření, stříhání, střížník, střížnice

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá problematikou životnosti funkčních částí střížného nástroje. Teoretická část je zaměřena na principy plošného tváření a konstrukci střížného nástroje. Cílem praktické části je vyhodnotit analýzu vybraných nástrojů, definovat příčiny jejich malé životnosti a navrhnout opatření vedoucí k jejímu zvýšení.

Annotation

University: Czech technical university in Prague,
Faculty of Mechanical Engineering

Department: Department of Manufacturing Technology

Název práce: Assessing of the cracking causes of the shearing tool functional parts

Academic year: 2017/2018

Author: Ondřej Hák

Supervisor: Ing. František Tatíček, Ph.D.

Bibliographic data: Number of pages 40
Number of pictures 27
Number of tables 8

Keywords: Sheet metal forming, sheet metal cutting, punch, die

Abstract: This bachelor thesis deals with an issue of service life of the shearing tool functional parts. The theoretical part is focused on the principles of sheet metal forming and construction of the shearing tool. The goal of practical part is to evaluate analysis of chosen tools, to define causes of their low service life and to propose measures that leads to its increase.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Základní princip výroby výlisku	10
2.1	Stříhání.....	10
2.1.1	Základní princip	10
2.1.2	Střížná síla.....	11
2.1.3	Střížná vůle.....	12
2.1.4	Pevnostní namáhání	14
2.2	Ohýbání.....	15
2.3	Hluboké tažení	17
3	Konstrukce střížného nástroje	19
3.1	Střížníky	20
3.2	Střížnice	21
3.3	Vodící deska.....	22
3.4	Základová deska.....	22
3.5	Vložka	22
4	Popis materiálu výlisku	23
5	Popis analyzovaných funkčních částí nástrojů.....	25
5.1	Popis vad	27
5.2	Analýza chemického složení nástrojů	29
5.3	Analýza tvrdosti	31
5.4	Výpočet střížných sil.....	32
5.5	Kontrola na tlak.....	32
5.6	Kontrola na vzpěr	33
6	Návrh opatření.....	34
6.1	Materiálová jakost nástroje	34
6.2	Tvrdost po tepelném zpracování	34
6.3	Vlastnosti lisovaného materiálu	35
6.4	Povrchová úprava nástrojů.....	35



7	Závěr	36
	Seznam literatury	37
	Seznam obrázků	40
	Seznam tabulek	40

1 Úvod

Tváření se řadí k nejstarším, ale také k nejproduktivnějším oborům technologie. Jedná se o technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru polotovaru v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Využití materiálu je velmi vysoké, tedy s minimálním odpadem.

Technologie tváření je založena na vzniku plastických deformací, ke kterým dochází při dosažení napětí na mezi kluzu materiálu. Při tomto ději dochází ke změnám struktury materiálu, což ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti.

Tvářecí procesy můžeme rozdělit podle působení vnějších sil na tváření objemové a tváření plošné. Při objemovém tváření dochází k deformaci ve směru všech tří os souřadného systému, při plošném tváření převládá deformace ve dvou směrech. [1]

Nejrozšířenější operací této technologie je stříhání. Používá se pro přípravu polotovarů, například svitků plechů, stříhání profilů a podobně. Slouží také k vystřihování součástek plechu pro konečné využití nebo pro další zpracování ohýbáním, protlačováním, tažením atd. Dále se využívá na dokončovací a pomocné operace. [2]

Cílem této práce je analyzovat a definovat příčiny praskání funkčních částí střížného nástroje a navrhnout opatření vedoucí ke zvýšení životnosti pro nástroje, které používá společnost Kerval, a.s. pro výrobu dveřních zárubní.

V teoretické části práce se budu zabývat procesem stříhání a charakteristikou funkčních částí nástroje, pro tuto technologii se jedná o střížník a střížnici. Jelikož se pro výrobu zárubní využívá také ohýbání a hluboké tažení, budu se věnovat okrajově také těmto technologiím.

Praktická část bude orientována na samotnou analýzu nástrojů, zjištění příčin jejich malé životnosti a návrh opatření. Praskání nástrojů může být způsobeno především nevhodnou konstrukcí, špatným vedením střížníku do střížnice, materiálem či nevhodným tepelným zpracováním.

2 Základní princip výroby výlisku

Výlisky jsou součásti, které se vyrábějí plošným tvářením, také zvaným lisovací technikou. Vyznačují se nízkou hmotností a zároveň dostatečnou pevností i tuhostí. Výchozí polotovary pro výrobu výlisku jsou plechy, tenkostěnné profily a trubky.

Dle způsobu deformace se plošné tvářením dělí na dva základní způsoby. Deformaci s místním porušením soudržnosti materiálu a tvárnou deformaci, kde nedochází k porušení soudržnosti. Mezi lisovací operace se řadí stříhání, ohýbání či tažení. [3]

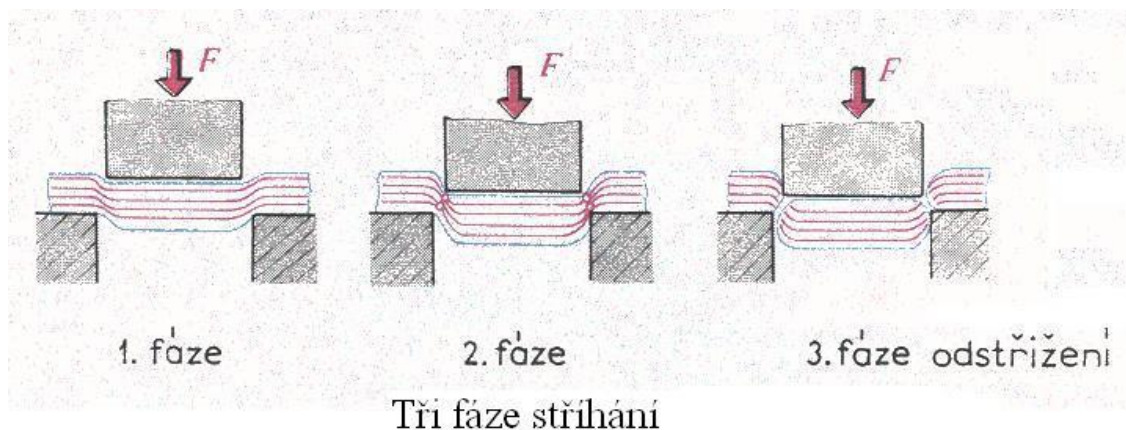
2.1 Stříhání

Stříhání patří k nejčastěji používaným technologiím tvářením. Jedná se o proces, při kterém se materiál odděluje smykovým namáháním způsobeným střížnými hranami nástroje. K oddělování materiálu dochází podél křivky stříhu, kterou tvoří obvod výstřížku, střížníku či střížnice.

Základní operace při stříhání, podle ČSN 22 6001, jsou prosté stříhání, vystřihování, děrování, prostřihování, prosekávání, ostřihování, přistřihování, vysekávání či přesné stříhání. Dále lze tuto technologii dělit na objemové stříhání a plošné stříhání. Dle teploty procesu se pak rozlišuje stříhání za tepla a za studena. [4] [5]

2.1.1 Základní princip

Průběh oddělování materiálu při stříhání ve střížných nástrojích lze dělit na tři základní oblasti. Proces začíná v momentě, kdy dojde k dosednutí střížníku na základní materiál. První fází je *pružná oblast*. Podle mechanických vlastností materiálu zaujímá hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu asi 5-8 % jeho tloušťky. V rovinách kolmých ke střížným plochám vznikají silové dvojice, které způsobují deformaci materiálu ohybem. Tato fáze končí dosažením meze kluzu. Ve druhé fázi, *oblasti plastické deformace*, se zvyšuje napětí nad mez kluzu a dochází k trvalé deformaci. Hloubka vniku nože dosahuje podle materiálu hodnot 10-25 % tloušťky plechu. Tato fáze končí dosažením napětí meze pevnosti ve smyku. Poslední fáze je oblast *porušení*, kdy je materiál namáhán nad mezí pevnosti ve smyku. U hran střížníku a střížnice nejdříve vznikají mikrotrhliny, následně pak makroskopické trhliny, které se dále rozšiřují. Proces končí oddělením materiálu. Rychlost vzniku trhlín a jejich šíření závisí na vlastnostech stříhaného materiálu, hloubka vniku střížníku se pak pohybuje v rozmezí 10-60% tloušťky plechu. [4] [5] [6] [7]



Obr. 2-1 Fáze stříhání [7]

1. fáze - pružná oblast, 2. fáze - oblast plastické deformace, 3. fáze - porušení (odštěpení)



Obr. 2-2 Princip stříhání pomocí stříhadla [7]

2.1.2 Střížná síla

Střížná síla ovlivňuje návrh nástroje a volbu stroje, je ji proto nutné znát pro správnou volbu technologického postupu. Střížnou sílu ovlivňuje několik faktorů, mezi které patří střížná vůle, naostření střížných hran, úhel sklonu střížných hran, smyková pevnost stříhaného materiálu a hloubka vniknutí střížníku do materiálu.

Střížnou sílu lze zjednodušeně vypočítat ze vztahu

$$F_s = \tau_m \cdot l \cdot s \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \text{ [N]} \quad (2.1)$$

kde τ_m pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

τ_m pro ocel - $(0,75 \text{ až } 0,90) \cdot R_m$

l délka střížné hrany (obvod stříhu) [mm]

s tloušťka plechu [mm]

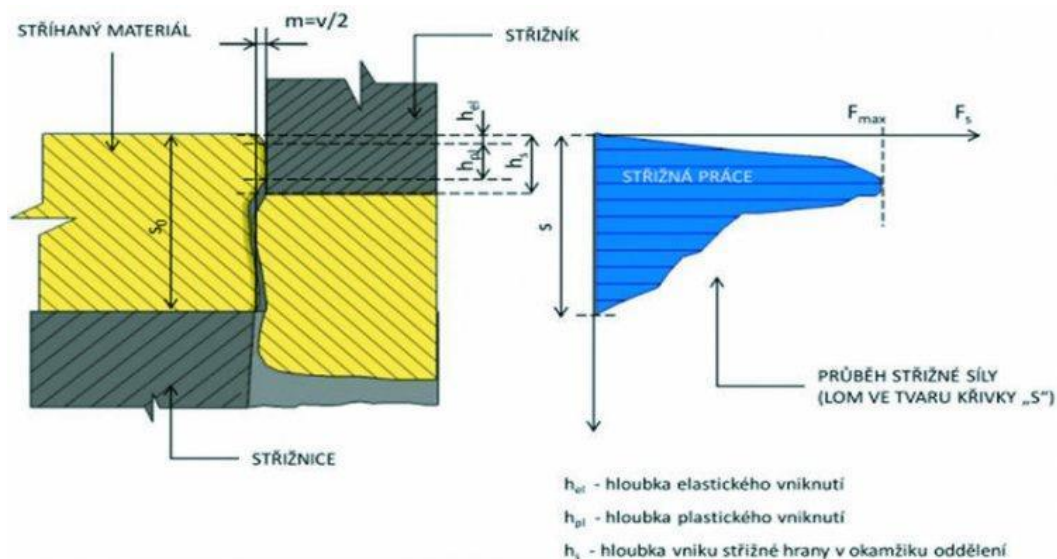
k_1 součinitel otupení bříty

k_2 součinitel vyjadřující tření mezi střížníkem, materiálem a střížnicí

k_3 součinitel vyjadřující průběh stříhu (rovný, šikmý, atd.)

U houževnatých materiálů dochází při vnikání střížníku do materiálu ke zpevnování, což má za následek růst střížného odporu a střížné síly. Růst pokračuje až do dosažení meze

pevnosti stříhaného materiálu. U křehkých materiálů dochází k porušení už při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu.



Obr. 2-3 Závislost průběhu střížné síly na poloze střížníku [5]

Na Obr. 2-3 je vidět průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku. Plocha vytčená pod křivkou pak udává střížnou práci. Pro její výpočet můžeme závislost $F = f(s)$ přibližně nahradit půlelipsou. Výsledný vzorec má pak tvar

$$A_s = \frac{\pi}{2} \cdot F_s \cdot \frac{h}{2} [J] \quad (2.2)$$

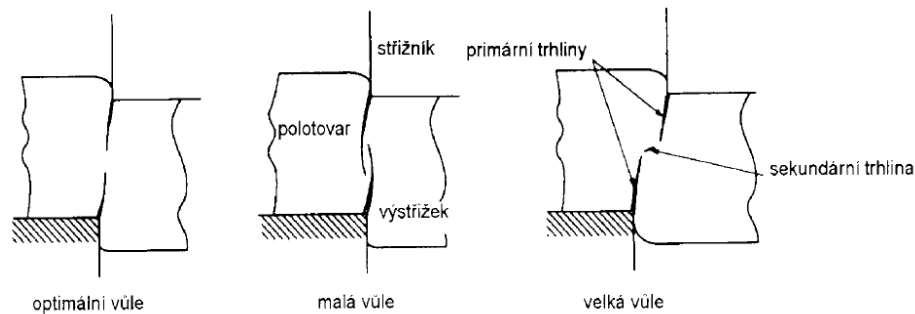
kde h hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu do okamžiku porušení (plastický stříh); hodnotu lze pro různé materiály a vůli nalézt v tabulkách či nomogramech

Střížnou sílu lze snížit úpravou střížných hran, a to nejčastěji zešikmením pod určitým úhlem. Střížníky se také upravují z technologického hlediska, aby kvůli velké střížné síle nedocházelo ke značným rázům, rychlejšímu otupení nástroje, či zvlnění materiálu. Úpravou střížných hran nástroje je možné snížit střížnou sílu o 30-40 %. [4] [5] [7]

2.1.3 Střížná vůle

Střížná vůle (v) je rozdíl rozměrů mezi pracovní částí střížníku a střížnice. Polovina střížné vůle je střížná mezera (radiální vůle). Na její velikosti závisí kvalita a jakost stříhu, životnost nástroje, spotřeba energie apod. Střížná mezera musí být na všech místech střížné křivky rovnoměrná, jinak hrozí vznik povrchových vad, ostřin a střížná plocha je nekvalitní. Při optimální střížné vůli se trhliny od střížných hran setkají v témže místě a vytvoří jednu plochu bez otřepu. Trhlina se tak vytvoří po nejmenší možné dráze a materiál se oddělí při minimální střížné síle. Pokud je střížná vůle malá nebo velká, trhliny se míjejí a dochází k utvoření nerovného povrchu v ploše stříhu, čímž se zhoršuje kvalita střížné plochy a zvyšuje střížná síla.

Velké střížné vůle dále způsobují ohyb stříhané součásti a malé mají za následek vznik přestřížených nebo ohlazených prstenců.



Obr. 2-4 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [4]

Střížná vůle se volí především s ohledem na druh stříhaného materiálu a jeho tloušťku. Velikost střížné vůle se nejčastěji pohybuje v rozmezí 3-20 % tloušťky materiálu. Velikost střížné vůle (mezery) uvádí například norma ČSN 22 6015, která stanovuje velikost střížné mezery pro materiál tloušťky $s \leq 3$ mm

$$\frac{v}{2} = 0,32c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_m} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

pro materiál tloušťky $s > 3$ mm pak platí vztah

$$\frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot a - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_m} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

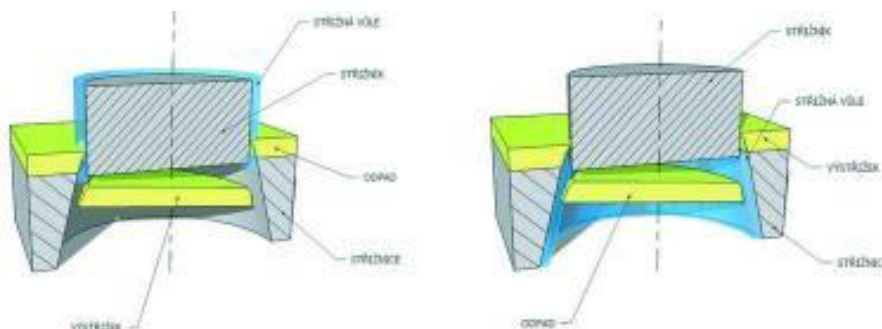
kde c součinitel $c = 0,005-0,035$

τ_m pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]

Tab. 2-1 Velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce materiálu [5]

Druh materiálu	Střížná vůle (% s)	
	do 2,5 mm	2,5mm až 6 mm
ocel měkká	5	7-8
ocel středně tvrdá	6	6-8
ocel tvrdá	7-9	7-10
hliník	4-7	5-9
dural	7-8	7-10
měď měkká	4-5	5-6
měď polotvrdá a tvrdá	6-7	6-7
mosaz měkká	4-5	4-6
mosaz polotvrdá a tvrdá	5-6	5-7
papír, lepenka	2-3	3
fibr, textil	2-4	-

Velikost střížné vůle se volí na úkor střížníku nebo střížnice v závislosti na prováděné operaci. Pro vystříhování, kdy je výstřížek výrobkem, je střížník menší o střížnou vůli. Při děrování, kdy je výrobkem otvor, je rozměr střížnice větší o střížnou vůli. [4] [5] [6] [7]



Obr. 2-5 Schéma střížné vůle [5]

2.1.4 Pevnostní namáhání

Aby došlo k prostřížení, je zapotřebí působit na materiál velkými silami. Ze zákona akce a reakce je patrné, že tyto síly působí i na nástroj. Jelikož by mohlo dojít k destrukci nástroje, je důležité zkontrolovat střížník na pevnostní namáhání, a to především na tlak. Vzhledem k tvaru nástroje, kdy bývá střížník dlouhý a úzký, je však potřeba provést i kontrolu na vzpěr.

Velikost napětí v tlaku vypočítáme ze vzorce

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq \sigma_D \text{ [MPa]} \quad (2.5)$$

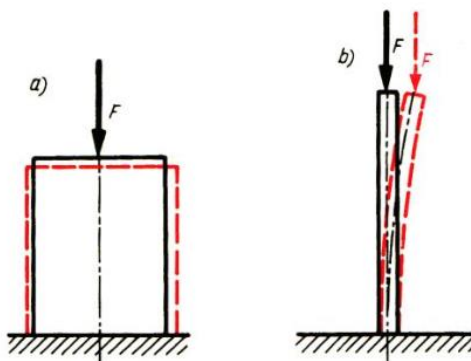
kde F velikost síly namáhající součást na tlak [N]

S plocha průřezu kolmá ke směru působící síly F [mm²]

σ_D dovolené napětí v tlaku [Mpa]

[8]

U vzpěru je nutné najít kritickou sílu, při jejímž překročení dojde ke ztrátě stability. Pro střížník je uvažován případ, kdy je vzpěra na jednom konci vetknutá, na druhém konci volná.



Obr. 2-6 Uvažované případy pevnostního namáhání [11]
a) tlak, b) vzpěr

Pro tento případ vzpěru lze vypočítat kritickou sílu podle Eulera ze vzorce

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{4 \cdot l^2} [N] \quad (2.6)$$

kde J_{min} minimální kvadratický moment průřezu [mm^4]

E modul pružnosti materiálu [MPa]

l délka vzpěry [mm]

Vzorec (2.6) platí v případě, že kritické napětí je menší nebo rovno meznímu napětí

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S} \leq \sigma_u [MPa] \quad (2.7)$$

Napětí σ_u odpovídá tzv. meznímu štíhlostnímu poměru λ_{mez} , jehož hodnota se v tomto případě určí ze vzorce

$$\lambda_{mez} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{4 \cdot \sigma_u}} \quad (2.8)$$

Štíhlostní poměr samotné vzpěry se vypočítá jako

$$\lambda = \frac{l}{\sqrt{\frac{J_{min}}{S}}} \quad (2.9)$$

Pokud není podmínka (2.7) splněna, je možné získat kritickou sílu například pomocí výpočtu napětí dle Tetmayera σ_T

$$F_{kr}^T = \sigma_T \cdot S = \left(\sigma_K - \frac{\sigma_K - \sigma_u}{\lambda_{mez}} \cdot \lambda \right) \cdot S [N] \quad (2.10)$$

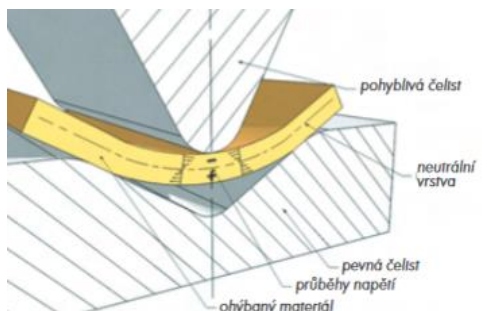
kde σ_K mez kluzu [MPa]

Při štíhlostech $\lambda \leq 30$ přechází vzpěr v prostý tlak a není ho proto třeba uvažovat. [9] [10] [11]

2.2 Ohýbání

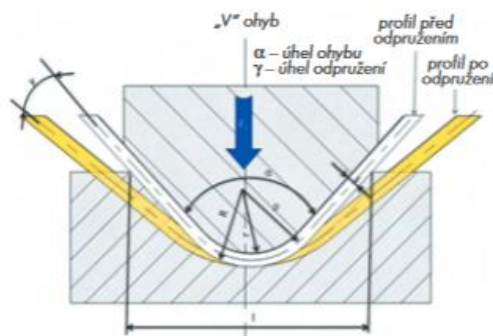
Ohýbání je proces plošného tváření, při kterém je materiál trvale deformován vlivem působení momentů vnějších sil. Plasticky deformovaná zóna tvoří jen velmi malou část objemu polotovaru a materiál se deformuje bez podstatné změny průřezu.

Vrstvy kovu na vnitřní straně materiálu se při ohýbání stlačují a vznikají zde tedy tlaková napětí. Na vnější straně se vrstvy kovu natahují a vznikají tak tahová napětí. Mezi těmito vrstvami je neutrální vlákno, které se nestlačuje ani nenatahuje a jeho délka se nemění. Při ohybu se neutrální vlákno posouvá směrem k vnitřní straně ohybu.



Obr. 2-7 Princip ohýbání s průběhem napětí [12]

Pominou-li vnější síly na deformované těleso, dochází k *odpružení*, což je nežádoucí dodatečná deformace výlisku. Projevuje se jako úhlová odchylka γ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na vlastnostech a tloušťce materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Obvykle se odpružení pohybuje v rozsahu 3 až 15°.



Obr. 2-8 Princip odpružení materiálu [12]

Odpružení lze omezit či eliminovat vícero způsoby. Běžně se využívá například toho, že se materiál ohne navíc o hodnotu odpružení, kterou určíme pomocí empirických vzorců nebo tabulek. Další možností je použití *kalibrace*, tedy zvětšení lisovací síly na konci lisovacího cyklu. Odpružení při ohybu lze vyloučit například podbroušením pohyblivé části, zaoblením dolní strany pohyblivé části a přidržovače o poloměr R , nebo zpevněním materiálu v rozích rázem.

Mezi základní rozdělení ohýbání se řadí ohyb do tvaru „V“ a „U“. Pro „V“ se považuje ohýbaný výrobek za nosník o dvou podporách zatížený silou uprostřed. Potom

$$F_{max} = \frac{b \cdot s^2}{l} \cdot R_m [N] \quad (2.11)$$

kde F_{max} maximální ohýbací síla [N]
 b šířka polotovaru [mm]
 l vzdálenost podpěr [mm]
 s tloušťka polotovaru [mm]
 R_m mez pevnosti materiálu [MPa]

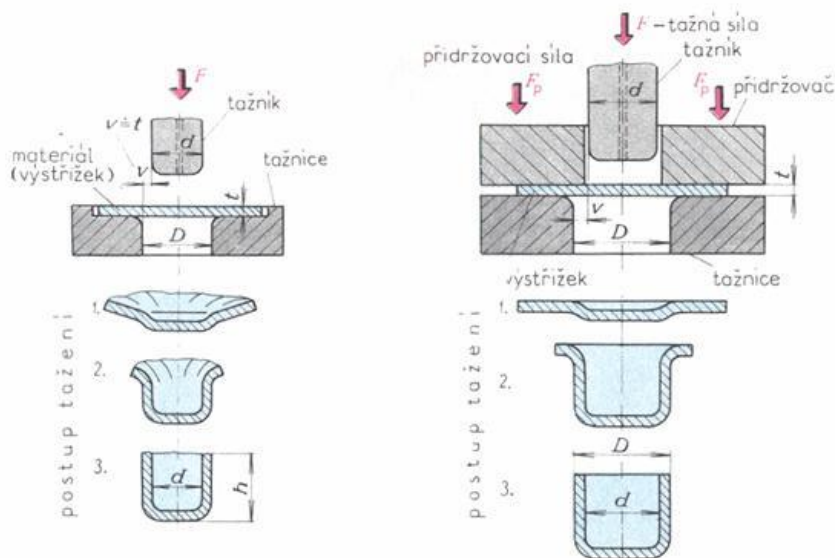
Ohyb do tvaru „U“ probíhá ve dvou průřezích současně.

Při ohýbání je potřeba kromě deformace průřezu a odpružení hledět na další problémy, jako je praskání materiálu, kdy dojde k překročení kritické hodnoty poloměru r/s . Při návrhu ohýbaných dílů se musí respektovat požadavky na hodnoty poloměrů ohybů, které musí být takové, aby byla v krajních vláknech překročena hodnota meze kluzu. Nesmí však být ani příliš malé, aby nedošlo k překročení meze pevnosti. [4] [12] [13]

2.3 Hluboké tažení

Tažení je technologický postup, při kterém se vyrobí z rovného plechu (přístříhu) duté těleso, a to jedním nebo několika tahy. Při tažení dochází k zatlačování tažníku do tažnice, přičemž se plech posunuje přes tažnou hranu. Při tažení vyšších nádob dosahuje tečné napětí kritických hodnot a v přírubě tak dochází k tvorbě vln, které mohou způsobit vzrůst tažné síly a utržení dna. Pro vytvoření výtažku je tak nutné rozdělit proces do více operací.

Při tažení se přesouvá značný objem materiálu. Materiál postupuje z příruby do válcové části a plech má v místě příruby tendenci se vlnit, hlavně při vysokém stupni deformace. Vytváření vln lze potlačit použitím přidržovací síly pomocí přidržovače. Při jeho použití je potřeba znát velikost měrného tlaku p přidržovače, který závisí na tloušťce plechu, poměru výchozí tloušťky plechu ku průměru nádoby, jakosti plechu a součiniteli tažení. Velikost měrného tlaku se určuje například z grafů nebo numerickým modelováním.



Obr. 2-9 Tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [14]

Matematické vztahy pro výpočet síly jsou poměrně komplikované, proto se zjednodušují. Praktické vzorce vycházejí z předpokladu, že dovolené napětí musí být menší, než napětí na mezi pevnosti. Tažná síla tedy musí být o něco menší než síla, která by způsobila utržení dna výtažku.

Velikost tažné síly se pro nástroj s přidržovačem zjednodušeně vypočítá ze vztahu

$$F_c = F_t + F_p = L \cdot s \cdot R_m + S_p \cdot p \text{ [N]} \quad (2.12)$$

kde L délka obvodu polovýrobku [mm]

R_m mez pevnosti materiálu [MPa]

s tloušťka plechu [mm]

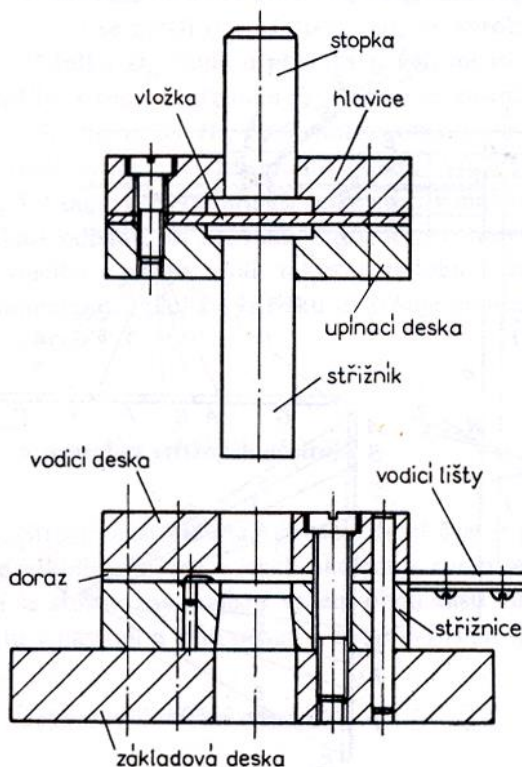
S_p plocha přidržovače [mm²]

p specifický tlak přidržovače (od 0,8 do 3) [MPa]

Pro technologii tažení je velice důležité určování velikosti a tvaru přístříhu, jelikož výrazně ovlivňuje kvalitu výtažku. U rotačních těles se využívají tabulky nebo grafické metody stanovení průměru přístříhu. Pro hranaté tvary se používají různé grafické výpočtové metody. Při určování přístříhu bývá zásadou, že plocha přístříhu se rovná ploše výtažku s přídavkem na odstřížení. [14] [15]

3 Konstrukce střížného nástroje

Pro správnou funkci nástrojů je nutné dodržovat konstrukční zásady. Nejdůležitějším požadavkem je udržení konstantní střížné mezery v průběhu stříhu. Pro malé série s nízkými požadavky na střížnou plochu se používají nástroje bez vedení, jelikož jsou jednoduché a poměrně snadno vyrobitelné. Používají se v případě, kdy vedení beranu lisu zaručí dostatečnou přesnost stříhání. Vhodnějším řešením jsou nástroje s vedením, které jsou výhodnější z hlediska přesnosti. Jsou však náročnější na výrobu a tím i dražší. Schéma střížného nástroje s vodící deskou je na Obr. 3-1. [19]



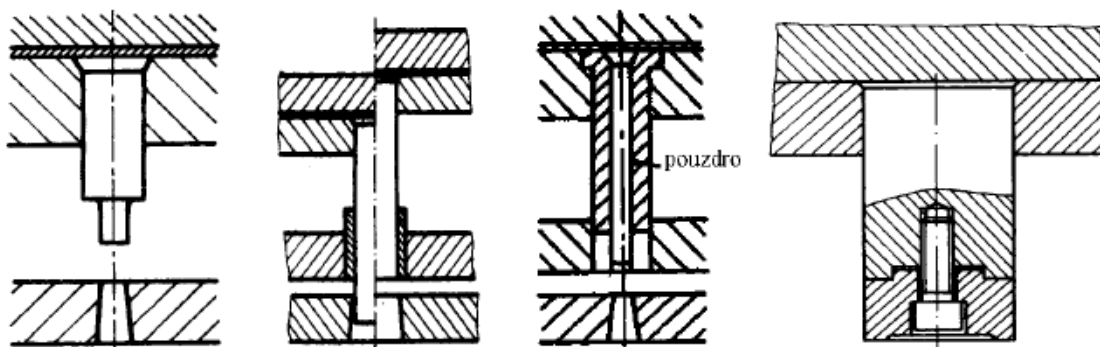
Obr. 3-1 Schéma střížného nástroje [16]

Vzhledem k vysokému namáhání musí být nástroj dostatečně pevný, tuhý, ale také houževnatý, aby odolával opotřebení. Toho lze dosáhnout správnou volbou materiálu a tepelného zpracování. Vhodnými materiály pro střížné nástroje jsou legované oceli třídy 19. Správným tepelným zpracováním pak lze dosáhnout požadované tvrdosti nástroje, která by se měla pohybovat v rozmezí 58-62 HRC. Malá tvrdost způsobí nadměrné opotřebování, příliš vysoká může mít za následek vylamování nástroje.

Funkční části střížného nástroje, tedy střížník a střížnice, jsou vysoce namáhané. Střížník je namáhán především na vzpěr a tlak, střížnice pak na otláčení. Je proto vhodné upravit konstrukci tak, aby se velikost namáhání snížila.

3.1 Střížníky

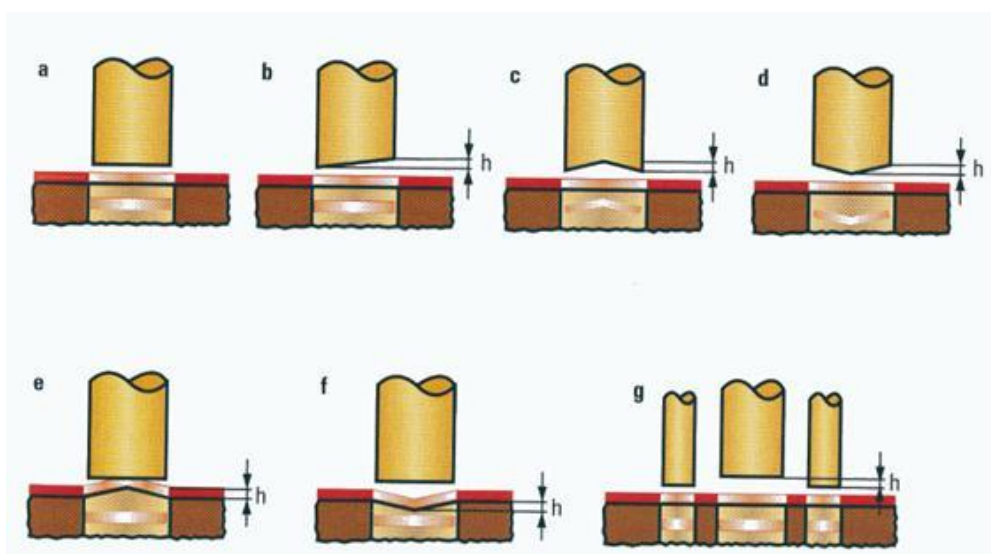
U střížníků lze vhodnou úpravou snížit riziko vzpěru, například zesílit osazením, nebo použitím vedení, které sníží jejich volnou délku.



Obr. 3-2 Střížníky[4]

Zleva - nevedený zesílený osazením, vedený, vedený s pouzdem pro malé průměry $d < 5$ mm, dělený pro velké průměry $d = 50-200$ mm

Pro snížení střížné síly a tím i namáhání na tlak a vzpěr lze použít podbroušené šikmé nože. Materiál je stříhán postupně a potřebná střížná síla se tak sníží, celková vykonaná práce se však nezmenší. Nevýhodou tohoto řešení je, že představuje problém při přestřování nástroje. Jednotlivé varianty jsou znázorněny na Obr. 3-3 (pro střížník varianty a-d). Nejvhodnějším řešením pro snížení střížné síly je stupňovité uspořádání střížníků (varianta g). [7] [17]



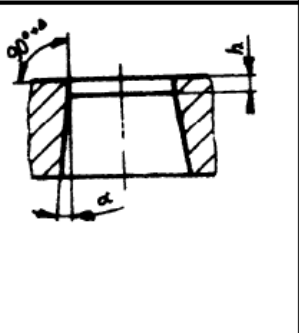
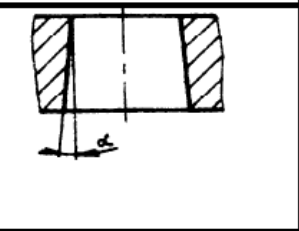
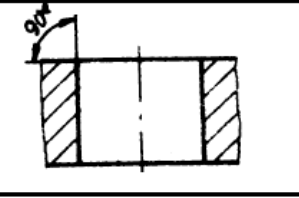
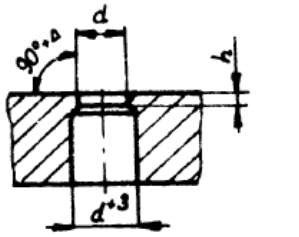
Obr. 3-3 Úpravy střížníku a střížnice [7]

a – rovný stříh, b – jednostranné zkosení střížníku, c, d – oboustranné zkosení střížníku, e, f – zkosení střížnice, g - stupňovité uspořádání střížníků

3.2 Střižnice

Střižnice je pevná část nástroje oproti střižníku, který je částí pohyblivou. Kromě namáhání na otlacení hrozí ulpívání materiálu ve střižnici, čemuž je potřeba zabránit, jelikož může dojít k pěchování materiálu a následné destrukci nástroje. V Tab.3-1 jsou znázorněny konstrukční úpravy, kterými lze tomuto jevu zamezit. [4] [17]

Tab. 3-1 Tvar střižnice a rozsah jejich použití [4]

tvar střižnice		použití
kuželová s válcovou fasetkou		díly s komplikovaným obvodem a vysokými požadavky na přesnost fasetka $h = 3 - 5 \text{ mm} \quad s = 0,5 \text{ mm}$ $h = 5 - 10 \text{ mm} \quad s = 0,5 - 5 \text{ mm}$ $h = 10 - 15 \text{ mm} \quad s = 5 - 10 \text{ mm}$ $\alpha = 3 - 5^\circ$
kuželová		malé díly se střední přesností úkos $\alpha = 10 - 15' \quad s = 0,1 - 0,5 \text{ mm}$ $\alpha = 15 - 20' \quad s = 0,5 - 1,0 \text{ mm}$ $\alpha = 20 - 30' \quad s = 1 - 2 \text{ mm}$ $\alpha = 30 - 45' \quad s = 2 - 4 \text{ mm}$ $\alpha = 45' - 1^\circ \quad s = 4 - 6 \text{ mm}$
válcová nebo prizmatická		díly vyhazované zpět a rozměrné díly
		malé díly do $\Phi = 5 \text{ mm}$

Při konstrukci nástroje je třeba pamatovat na to, že při přebroušení dojde k úbytku materiálu a je tedy třeba zvětšit příslušný rozměr. Například u kuželové střižnice s válcovou fasetkou nesmí dojít k odbroušení fasetky. Je také důležité dbát na to, že střižník musí projít válcovou částí tak, aby bylo umožněno volné propadnutí materiálu kuželovou částí.

3.3 Vodící deska

Vodící deska slouží k vedení střížníku proti střížnici a pro stírání materiálu při zpětném zdvihu nástroje, u některých technologií stříhání také pro podržení pásu na střížnici. Vedením se zajišťuje střížná vůle, rovnoměrnost stříhu, popřípadě vyrovnání klopných momentů v nástroji od střížných sil. Kolem vodících otvorů se vodící desky opatřují mazacími drážkami pro lepší mazání střížníků a snížení možnosti jejich zadření. [18] [19]

3.4 Základová deska

Základová deska slouží k upnutí nástroje na stole lisu, dále k tlumení rázů, vyrovnání nerovností stolu a zakotvení vedení. Je vždy rozměrově větší než střížná deska. Obsahuje otvory pro propad výlisků, které bývají zvětšeny oproti střížnici o 2 mm na obvodu. Místo propadu může být opatřena také skluzy pro transport odpadu mimo prostor nástroje. [18] [19]

3.5 Vložka

Vložka, neboli opěrná deska, se vkládá mezi hlavici a upínací desku (viz Obr. 3-1), které zajišťují upevnění nástroje na beranu lisu a zakotvení střížníku. Její funkcí je zabránit střížníkům vtlačování do hlavice. Vložka musí být kalená. [18]

4 Popis materiálu výlisku

Pro analýzu nástrojů, zejména pak pro výpočet střížných sil, je nutné znát i vlastnosti stříhaného materiálu. Dle zadavatele jsou možné dvě materiálové jakosti, DC01 a DD11. Jelikož nejsou dodací podmínky blíže specifikovány, je možno nahlížet na materiály podle více norem.

Jakost DC01 je možno dodat například dle normy ČSN EN 10130: Ploché výrobky z hlubokotažných ocelí válcované za studena k tváření za studena - Technické dodací podmínky. Další možností je norma ČSN EN 10139: Pásky z nízkouhlíkových ocelí válcované za studena, bez povlaku, pro tváření za studena - Technické dodací podmínky. Nelze však vyloučit dodání podle jiné normy.

Tabulka 2 – Vlastnosti výrobků povrchově válcovaných za studena

Značka oceli	Číselné označení oceli	Rozdělení podle EN 10020	Jakost povrchu	Nepřítomnost deformačních čar	R_e^{*1}	R_{eT}	A_{50}^{*1}	f_{50}^{*1}	r_{50}^{*1}	Chemické složení pro rozbor tavby				
					MPa	MPa	min. %	min.	min.	C max. %	P max. %	S max. %	Mn max. %	Ti max. %
DC01 ¹⁾	1 0330	Nelegovaná ocel ¹⁾	A	–	–/260 ²⁾	270/410	28	–	–	0.12	0.045	0.045	0.50	–
DC03	1 0347	Nelegovaná ocel ¹⁾	A	6 měsíců	–/240 ²⁾	270/370	34	1.3	–	0.10	0.035	0.035	0.45	–
DC04	1 0338	Nelegovaná ocel ¹⁾	A	6 měsíců	–/210 ²⁾	270/350	38	1.6	0 180	0.08	0.030	0.030	0.40	–

Obr. 4-1 Vlastnosti oceli DC01 dle normy ČSN EN 10130 [20]

Tabulka 1 – Mechanické vlastnosti a chemické složení

Osvědčení oceli		Rozdělení oceli podle EN 10020	Způsob dezoxidace	Doba otažná hodnota mechanických vlastností	Stav při dodání	Značka	R_e N/mm ² 1)	R_{eT} N/mm ²	Táhnout					Tvrdość ¹⁾ HV		Chemické složení (rozbor tavby) Hmotnosti podíl v %, max.						
Značka podle EN 10027-1 a CR 10250	Číselné označení podle EN 10027-2								A_{50} % min.	A_{50} % min.	$L_{50} = \frac{L_0}{S_0}$ % min.	f_u %	f_y %	$f_{0.2}$ %	$f_{0.01}$ %	min.	max.	C	P	S	Mn	Ti
DC01	1 0330	nelegovaná jakosti	podle volby výrobce	3 měsíce	Zřetě	A	–	270 až 390	28	30	32	–	–	–	105	0.12	0.045	0.045	0.50	–		
						lehce převác.	LC	max. 280 1%)	270 až 410 2)	28	30	32	–	–	–						–	115
						zpevněná za studena	C290	200 až 380	290 až 430	18	20	24	–	–	95						125	
							C340	min. 250	340 až 490	–	–	–	–	–	105						155	
							C390	min. 310	390 až 540	–	–	–	–	–	117						172	
							C440	min. 360	440 až 590	–	–	–	–	–	135						185	
							C490	min. 420	490 až 640	–	–	–	–	–	155						200	
C590	min. 520	590 až 740	–	–	–	–	–	185	225													
C690	min. 630	min. 690 ³⁾	–	–	–	–	–	215	–	–												
DC03	1 0347	nelegovaná jakosti	příh ukládána	6 měsíců	Zřetě	A	–	270 až 370	34	36	37	–	–	–	100	0.10	0.035	0.035	0.45	–		
						lehce převác.	LC	max. 240 1%)	270 až 370	34	36	37	1.3	–	–						–	110
						zpevněná za studena	C290	210 až 355	290 až 390	22	24	26	–	–	95						117	
							C340	min. 240	340 až 440	–	–	–	–	–	105						130	
							C390	min. 300	390 až 490	–	–	–	–	–	117						155	
							C440	min. 360	440 až 540	–	–	–	–	–	135						172	
							C490	min. 440	490 až 590	–	–	–	–	–	155						185	
C590	min. 540	min. 590	–	–	–	–	–	185	–	–												
Zřetě	A	–	270 až 350	38	40	40	–	–	–	–	95											

Obr. 4-2 Vlastnosti oceli DC01 dle normy ČSN EN 10139 [21]

Pro ocel DD11 platí například norma ČSN EN 10111: Plechy a pásky z nízkouhlíkových (hlubokotažných) ocelí kontinuálně válcované za tepla k tváření za studena - Technické dodací podmínky.

Tabulka 1 – Vlastnosti ^{a)}

Označení oceli		Způsob dezoxidace	Chemické složení ^{b)}				Mechanické vlastnosti ^{c)}								Doba platnosti měsíce
Značka	Číselné označení		C max. %	Mn max. %	P max. %	S max. %	R_{eL} ^{d)}		R_{eH} max. MPa	Tažnost, minimální					
							1,0 mm ≤ e < 2 mm MPa	2 mm ≤ e ≤ 11 mm MPa		$L_0 = 80$ mm			$L_0 = 5,85\sqrt{S_0}$		
		1,0 mm ≤ e < 1,5 mm %		1,5 mm ≤ e < 2 mm %		2 mm ≤ e < 3 mm %		3 mm ≤ e ≤ 11 mm %							
DD11 ^{e)}	1.0332	podle uvážení výrobce	0,12	0,60	0,045	0,045	170 až 360	170 až 340	440	22	23	24	28	–	
DD12	1.0398	plně uhlíková	0,10	0,45	0,035	0,035	170 až 340	170 až 320	420	24	25	26	30	6	
DD13	1.0335	plně uhlíková	0,08	0,40	0,030	0,030	170 až 330	170 až 310	400	27	28	29	33	6	
DD14	1.0389	plně uhlíková	0,08	0,35	0,025	0,025	170 až 310	170 až 290	380	30	31	32	36	6	

POZNÁMKA 1 MPa = 1 N/mm².

^{a)} Mechanické vlastnosti platí jen pro výrobky válcované za tepla, neodkujené nebo chemicky odkoujené s naložovaním, převálcované nebo nepřeválcované za studena.
^{b)} Pokud není při objednávání dohodnuto jinak, mohou se prvky vázící dusík, jako titan a bór přidat podle volby výrobce.
^{c)} Pokud to dovoluje šířka výrobku, odeberou se zkušební tělesa pro zkoušku tahem příčně ke směru válcování.
^{d)} Pokud výrobek nevykazuje výraznou mez kluzu R_{eL} , musí se použít smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$.
^{e)} Doporučuje se, aby výrobky ze značky DD11 se třáflely do 6 týdnů od doby jejich dostupnosti.

Obr. 4-3 Vlastnosti oceli DD11 dle normy ČSN EN 10111 [22]

Mez pevnosti se pro jakost DC01, uvažujeme-li stav lehce převálcovaný, pohybuje v rozmezí 270-410 MPa. Pro DD11 je maximální hodnota meze pevnosti 440 MPa, minimální hodnota není stanovena. Pro určení sřížné síly je proto uvažováno rozmezí 270-440 Mpa.

Jmenovitá tloušťka materiálu může být dle volby zákazníka 1,5 mm nebo 2 mm. Tolerance tloušťky udává norma ČSN EN 10143, uvažují se normální mezní úchytky pro pásy se šířkou do 1200 mm. Pro jakost DC01 mají plechy o tloušťce 1,5 mm úchytku ± 0,10 mm, pro 2 mm to je ± 0,12 mm. Materiál DD11 má pro plech 2 mm úchytku ± 0,14 mm. Tloušťka 1,5 mm není pro výpočet sřížné síly uvažována, jelikož pro tuto jakost není známá minimální mez pevnosti. Z výše uvedeného vyplývá, že se pro určení sil uvažuje tloušťka 1,40-2,14 mm.

Tabulka 1 – Mezní úchytky tloušťky pro značky oceli s předepsanou minimální výraznou mezí kluzu R_e nebo s předepsanou minimální smluvní mezí kluzu $R_{p0,2} < 260$ MPa

Rozměry v mm

Jmenovitá tloušťka t	Normální mezní úchytky ^{a)} jmenovité šířky w			Zvláštní mezní úchytky (S) ^{a)} jmenovité šířky w		
	≤ 1 200 ^{b)}	1 200 < w ≤ 1 500	> 1 500	≤ 1 200 ^{b)}	1 200 < w ≤ 1 500	> 1 500
0,20 < t ≤ 0,40	± 0,04	± 0,05	± 0,06	± 0,030	± 0,035	± 0,040
0,40 < t ≤ 0,60	± 0,04	± 0,05	± 0,06	± 0,035	± 0,040	± 0,045
0,60 < t ≤ 0,80	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,040	± 0,045	± 0,050
0,80 < t ≤ 1,00	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,045	± 0,050	± 0,060
1,00 < t ≤ 1,20	± 0,07	± 0,08	± 0,09	± 0,050	± 0,060	± 0,070
1,20 < t ≤ 1,60	± 0,10	± 0,11	± 0,12	± 0,060	± 0,070	± 0,080
1,60 < t ≤ 2,00	± 0,12	± 0,13	± 0,14	± 0,070	± 0,080	± 0,090
2,00 < t ≤ 2,50	± 0,14	± 0,15	± 0,16	± 0,090	± 0,100	± 0,110

Obr. 4-4 Tolerance tloušťky oceli DC01 dle normy ČSN EN 10143 [23]

Tabulka 2 – Mezní úchytky tloušťky oceli s předepsanou minimální smluvní mezí kluzu 260 MPa ≤ $R_{p0,2}$ < 360 MPa a pro značky oceli DX51D a S550GD

Rozměry v mm

Jmenovitá tloušťka t	Normální mezní úchytky ^{a)} jmenovité šířky w			Zvláštní mezní úchytky (S) ^{a)} jmenovité šířky w		
	≤ 1 200 ^{b)}	1 200 < w ≤ 1 500	> 1 500	≤ 1 200 ^{b)}	1 200 < w ≤ 1 500	> 1 500
0,20 < t ≤ 0,40	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,035	± 0,040	± 0,045
0,40 < t ≤ 0,60	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,040	± 0,045	± 0,050
0,60 < t ≤ 0,80	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,045	± 0,050	± 0,060
0,80 < t ≤ 1,00	± 0,07	± 0,08	± 0,09	± 0,050	± 0,060	± 0,070
1,00 < t ≤ 1,20	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,060	± 0,070	± 0,080
1,20 < t ≤ 1,60	± 0,11	± 0,13	± 0,14	± 0,070	± 0,080	± 0,090
1,60 < t ≤ 2,00	± 0,14	± 0,15	± 0,16	± 0,080	± 0,090	± 0,110
2,00 < t ≤ 2,50	± 0,16	± 0,17	± 0,18	± 0,110	± 0,120	± 0,130

Obr. 4-5 Tolerance tloušťky oceli DD11 dle normy ČSN EN 10143 [23]

5 Popis analyzovaných funkčních částí nástrojů

Analyzované nástroje slouží ke stříhání otvorů do zárubní dveří v oblasti pantů. Z hlediska tvaru nástroje existují tři základní modifikace, které závisí na požadovaném závěsu. První možný tvar je kruhový, dostupný v několika průměrech. Nástroje určené pro stříhání kruhových děr jsou značeny písmenem A. Další modifikace jsou pak určeny k obdélníkovému prostříhu, značeny jsou písmeny B a C. Liší se šířkou a délkou, ale také konstrukčním řešením střížníku. Při pracovním zdvihu dochází vždy ke třem prostříhům, jelikož jsou najednou vytvořeny otvory v horní, střední i dolní části zárubní.

Na Obr. 5-1 až Obr. 5-5 jsou uvedeni charakterističtí zástupci jednotlivých modifikací.



Obr. 5-1 Střížnice modifikace označené A



Obr. 5-2 Střížnice modifikace označené B



Obr. 5-3 Střížník modifikace označené B



Obr. 5-4 Střížnice modifikace označené C



Obr. 5-5 Střížník modifikace označené C

5.1 Popis vad

U střížnic je jednou z hlavních vad ulpívání materiálu, který nástrojem nepropadne. Dalším problémem je roztržení některých střížnic, což může být způsobeno právě pēchováním nepropadlého materiálu, kdy hrozí vytvoření nadměrného tlaku v nástroji. Ten pak způsobí destrukci. Roztržení může být také způsobeno malou tloušťkou materiálu střížnice, nevhodnou materiálovou jakostí či tepelnou úpravou. Častým jevem je také vylamování částí střížné hrany. To může být zapříčiněno stejně jako v předchozím případě špatnou volbou materiálu nebo tepelným zpracováním, ale také tlakovým namáháním. U některých střížnic jsou patrné stopy po navařování, a to jak vnějšího tvaru, tak i odtržených částí nástroje.

Střížníky se vykazují zejména malou životností, kdy dochází k nadměrnému opotřebování střížných hran nebo k vylamování ostří. Tyto vady jsou pravděpodobně způsobeny stejně jako v případě střížnic špatnou tepelnou úpravou či materiálem.

Některé uvedené problémy může způsobovat i stroj. Pokud není dostatečně tuhý, může dojít k deformaci, která vede ke špatné vzájemné poloze střížníku a střížnice. Důležité je i upnutí nástrojů a vodících prvků, které jsou také nezbytné pro správné vedení nástroje.

Ukázky jednotlivých vad jsou viditelné na Obr. 5-6 až Obr. 5-10.



Obr. 5-6 Odlovení části střížnice a její následné přivaření, malá tloušťka materiálu střížnice



Obr. 5-7 Vylomení části střížné hrany



Obr. 5-8 Celkové roztržení střížnice



Obr. 5-9 Rozlomení a zpětné navaření části střížnice, ulpívání materiálu



Obr. 5-10 Nadměrné opotřebení, vylomení části nástroje v oblasti střižné hrany

5.2 Analýza chemického složení nástrojů

Pro analýzu všech dostupných vzorků bylo použito rentgenového spektrometru DELTA. Vybrané díly byly dále analyzovány jiskrovou metodou, a to pomocí jiskrového spektrometru Q4 TASMAN.

Rentgenová spektrometrie je nedestruktivní metoda diagnostiky struktury materiálů. Prvky jsou identifikovány pomocí jejich charakteristických emisí záření. Výhodou této metody je, že nevyžaduje žádnou nebo jen malou přípravu vzorků. Měření je také snadné a výsledky jsou známy téměř okamžitě. Nevýhodou je však nemožnost určit některé prvky, mezi které se řadí i uhlík. [24]

Pro některé vzorky bylo využito kvůli nevýhodám rentgenového spektrometru jiskrové metody, která umožňuje analyzovat vzorky pomocí elektrojiskrových výbojů. Zařízení měří přesněji a je schopno měřit i prvky předchozí metodou nezjistitelné.

Výsledky měření jsou uvedeny v Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Chemická analýza

B1	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	0,953	0,27	1,8473	0,3423	0,063	0,1413	0,055	95,843
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
B2	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
B3	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	1,531	0,365	0,366	11,597	0,8083	0,2047	0,761	83,683
	DELTA		0,35	0,4	10,9	0,7	0,15	0,8	85
A1	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	0,809	0,3103	1,9453	0,2753	0,03	0,075	0,1173	95,92
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7

A2	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
A3	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
A4	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
A5	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	1,947	0,3517	0,2403	11,423	0,1253	0,1377	0,1243	84,857
	DELTA		0,3	0,2	12	0,1	0,1	0,17	87
C1	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
C2	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	0,6853	0,265	1,7723	0,2557	0,011	0,032	0,084	96,377
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
C3	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
C4	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	DELTA		0,35	0,4	10,9	0,7	0,15	0,8	85
B11	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	0,4523	0,2467	1,8673	0,2683	0,046	0,1907	0,0887	96,473
	DELTA		0,6	2	0,25		0,1		96,7
C11	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	0,915	0,2693	1,9047	0,2383	0,0123	0,023	0,073	96,19
	DELTA			2	0,25				95
C12	prvek	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	V (%)	Fe (%)
	Q4	0,9287	0,3167	1,978	0,2513	0,02	0,0533	0,0783	95,903
	DELTA			1,8	0,25				90

Z výsledků měření vyplývá, že pro nástroje bylo využito hned několik materiálů. Podle chemické analýzy byly vytipovány materiály, které svým složením odpovídají naměřeným hodnotám uvedeným v Tab.5-1. Jedná se především o materiály 19 312, respektive 19 313, dále pak 19 573 a 19 436.

Tab. 5-2 Chemické složení vytipovaných materiálů dle Bolzano.cz [25] [26]

Materiál		C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	V (%)
90MnCrV8	19 313	0,80	0,15	1,75	0,20	max	0,01
		0,90	0,35	2,10	0,40	0,35	0,20
X153CrMoV12 X155CrVMo121	19 573	1,40	0,20	0,20	11,0	-	0,80
		1,65	0,45	0,45	12,5		1,20
X210Cr12	19 436	1,80	0,20	0,20	11,0	max	-
		2,05	0,45	0,40	12,5	0,50	

5.3 Analýza tvrdosti

Tvrdot funkčních částí střížného nástroje byla měřena metodou dle Vickerse se zatěžující silou 30 kgf. Posléze byla přepočtena na tvrdost dle Rockwella, a to dvěma různými způsoby, aby se eliminovala případná chyba při přepočtu. U každého vzorku bylo provedeno několik měření a následně byl spočítán jejich aritmetický průměr.

Princip zkoušky dle Vickerse spočívá ve vlačování pravidelného čtyřbokého diamantového jehlanu do vzorku zkušebním zatížením F . Po odlehčení se změří délky vzniklých úhlopříček d_1 a d_2 a vypočte se jejich aritmetický průměr d .

Tvrdot se poté vypočítá ze vztahu

$$HV = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad (5.1)$$

V praxi se také hodnota tvrdosti odečítá na základě F a d z tabulek. [27]

Naměřené a přepočtené hodnoty tvrdosti jsou uvedeny v Tab. 5-3.

Tab. 5-3 Naměřené hodnoty tvrdosti [28] [29]

	B1	B2	B3	A1	A2	A2- vločka	A3	A3- vločka	A4
Průměrná hodnota	0,388	0,285	0,284	0,306	0,315	0,325	0,346	0,328	0,333
HV 30	370	685	690	594	561	527	465	517	502
HRC 150 kgf	38	60	60	55	53	51	46	50	49
Bolzano	37,7	59,5	59,7	55	53	51	46,5	50,2	49,2

	A4- vločka	A5	C1	C2	C3	C4	B11	C11	C12
Průměrná hodnota	0,269	0,289	0,328	0,295	0,287	0,273	0,308	0,277	0,223
HV 30	769	666	517	639	675	746	586	725	1119
HRC 150 kgf	63	59	50	57	59	62	54	61	(70)
Bolzano	63	58,5	50,3	57,3	59	62	54,5	61,2	(70,5)

Dle naměřených hodnot se tvrdost nástrojů pohybuje v hodnotách HRC přibližně od 38 do 63, přičemž nástroj označený C12 vykazuje nadměrnou tvrdost, která je pro Rockwellovu stupnici příliš vysoká a přepočet je orientační. Doporučené tvrdosti pro lisovací nástroje 58-62 HRC vyhovuje pouze šest vzorků z osmnácti. Nejnižší hodnota tvrdosti byla naměřena pro nástroj označený B1, u kterého bylo naměřeno přibližně pouhých 38 HRC, další vzorky s kriticky malou hodnotou jsou především A1, A2, A3, A4, C1 a B11.

5.4 Výpočet střížných sil

Sily působící při stříhání je potřeba znát nejen kvůli správné volbě tvářecího stroje, ale i z důvodu namáhání střížníků na tlak a vzpěr. Pro určení střížných sil byl použit vzorec (2.1), přičemž součin koeficientů $k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ byl pro výpočet uvažován 1,2 a pevnost materiálu ve stříhu τ_m je brána jako 80 % meze pevnosti v tahu R_m .

Pro nástroje označené A byli vybráni dva představitelé, a to A2 s průměrem 10,65 mm a A5 o průměru 12,3 mm. Pro tuto modifikaci byly použity rozměry ze střížnice, jelikož střížníky nebyly k dispozici. Druhou skupinu nástrojů zastupuje střížník označený B11, který má rozměry 35x3,1 mm. Třetí modifikaci představuje nástroj C11 o rozměrech 25x4,5 mm. Z uvedených rozměrů jsou patrné délky střížných hran nezbytné pro výpočet.

Tab. 5-4 Shrnutí výpočtových hodnot a střížných sil

Nástroj	A2	A5	B11	C11
Délka střížné hrany [mm]	33,5	38,6	76,2	59
Max. tloušťka [mm]	2,14			
Min. tloušťka [mm]	1,40			
Max. R_m [MPa]	440			
Min. R_m [MPa]	270			
Max. střížná síla [kN]	30,3	34,9	68,9	53,3
Min. střížná síla [kN]	12,2	14,0	27,7	21,4

5.5 Kontrola na tlak

Analyzované vzorky je třeba zkontrolovat na tlakové namáhání, k čemuž slouží vzorec pro výpočet napětí v tlaku (2.5). Zatěžující síla je uvažována ta nejméně příznivá, tedy maximální možná střížná síla dle Tab. 5-4. Ta působí na plochu střížníku, která se získá ze známých rozměrů.

Tab. 5-5 Souhrn hodnot pro kontrolu na tlak

Nástroj	A2	A5	B11	C11
Plocha [mm ²]	89,1	118,8	108,5	112,5
Síla [N]	30300	34900	68900	53300
Napětí v tlaku [MPa]	340	294	635	474

Vysoké hodnoty napětí v tlaku mohou způsobit zkrácení střížníku, které vede ke zvětšení jeho průřezu. To má za následek zmenšení střížné vůle a tím i zhoršení kvality střížné plochy, vyšší střížné síly a nadměrné opotřebování nástroje.

Jelikož se jedná o nástrojové oceli, nebývá u nich uvedena hodnota mechanických vlastností. Ty jsou závislé především na tepelném zpracování. Po zakalení mohou mít tyto materiály mez pevnosti i přes 2000 MPa. Vzhledem k tomu, že není sjednocena materiálová jakost a nástroje vykazují velké rozsahy tvrdostí, však nelze mez pevnosti v tlaku s jistotou určit. Z hlediska posuzovaných nástrojů vykazují dle Tab. 5-5 největší namáhání v tlaku střížníky označené B11 a C11, u nichž se je třeba zabývat snížením střížných sil a to například úpravou střížné plochy.

5.6 Kontrola na vzpěr

Pro správnou funkci je potřeba i dostatečná stabilita, aby nedošlo k vybočení střížníku. U nástrojů s označením B a C je možné vypočítat kritickou sílu přímo z Eulerova vztahu (2.6), jelikož je v tomto případě známa délka střížníků. U skupiny s označením A střížník nebyl analyzován, a proto byla vypočtena maximální přípustná délka.

Nejdříve je vhodné zkontrolovat štíhlostní poměr (2.9), aby se zjistilo, zda je vůbec potřeba zabývat se kontrolou na vzpěr. Nástroj C11 má vzhledem ke své konstrukci štíhlostní poměr neosazené části o délce 13,2 mm $\lambda = 10,2$ a není tedy nutné jeho stabilitu kontrolovat. Pro střížník B11 je hodnota štíhlostního poměru 35,4 a je třeba provést výpočet na vzpěr.

Nástroj B11 má délku 31,7 mm a vzhledem k rozměrům 35x3,1 mm je jeho minimální kvadratický moment $J_{\min} = 86,9 \text{ mm}^4$. Pro výpočet byl uvažován Youngův modul pružnosti v tahu $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. Výsledná kritická síla pak vychází 44,8 kN. Jelikož je dle Tab. 5-4 maximální střížná síla pro tento nástroj 68,9 kN, je patrné, že je střížník ohrožen z hlediska ztráty stability a je třeba se zabývat jejím zvýšením.

U nástrojů pro stříhání kruhových otvorů, u kterých nebylo známé konstrukční řešení, bylo použito vzorce (2.6), ze kterého byl vyjádřen vztah pro výpočet délky střížníku. Jako kritická síla byla uvažována maximální vypočtená střížná síla. V Tab. 5-6 jsou uvedeny hodnoty použité pro výpočet a výsledné maximální délky střížníků.

Tab. 5-6 Stanovení maximální délky střížníků

Nástroj	A2	A5
Plocha nástroje [mm ²]	89,1	118,8
Maximální střížná síla F_s [kN]	30,3	34,9
Kvadratický moment J_{\min} [mm ⁴]	631,5	1123,5
Délka střížníku l_{\max} [mm]	103,9	129,1

6 Návrh opatření

Na základě provedené analýzy byly zjištěny nedostatky v oblasti materiálu funkčních částí nástrojů a vzhledem k rozsahu naměřených tvrdostí především v jejich tepelném zpracování. Nevhodným se jeví také rozptyl vlastností zpracovávaného materiálu, což je nepříznivé pro určování střížné mezery a rozptyl střížných sil.

6.1 Materiálová jakost nástroje

Z chemické analýzy bylo zjištěno, že se pro výrobu střížníků a střížnic využívá nástrojových ocelí 19 312 (resp. 19 313), 19 573 a 19 436. Materiálová jakost 19 436 se jeví jako optimální, jelikož se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení. Další vhodnou volbou je ocel 19 573 pro její vysokou odolnost proti otěru a dobrou prokalitelnost. Pro extrémně namáhané střížníky připadá v úvahu jakost 19 614, která má velmi dobrou odolnost proti opotřebení, dále také odolnost proti namáhání tlakem, nárazům a úderům.

Materiálové listy k vybraným ocelím:

- 19 436 / X210Cr12 / 1.2080: [30]
- 19 573 / X153CrMoV12 / 1.2379: [25] [31]
- 19 614 / 55NiCr10 / 1.2718: [32]

Hlavním předpokladem pro funkčnost a odolnost je správné tepelné zpracování, a to především kalení a popouštění. Vhodným řešením je omezit rozsah jakostí a používat tedy pro výrobu nástrojů jednu vybranou ocel. Tím se sjednotí i podmínky pro tepelné zpracování a bude jednodušší dosáhnout správné tvrdosti pro všechny nástroje.

6.2 Tvrdost po tepelném zpracování

Tvrdost střížníků a střížnic by se měla pohybovat v rozmezí 58-62 HRC, přičemž u střížnic bývá o 2 HRC vyšší než u střížníků. Důvodem je nižší pravděpodobnost vylomení části funkční plochy u střížnic a také snadnější přebroušení. Správná hodnota tvrdosti má kritický vliv na životnost nástroje.

Rozptyl naměřených hodnot u zkoumaných vzorků je velmi vysoký, jedná se o rozdíl více než 25 HRC. Pro optimální životnost nástrojů je potřeba, aby se tvrdost pohybovala v doporučených hodnotách. Je vhodné zavést pro funkční části nástrojů vstupní kontrolu, aby se zamezilo použití špatně zakalených kusů.

6.3 Vlastnosti lisovaného materiálu

Na kvalitu výlisku a životnost nástrojů má také vliv lisovaný materiál. V tomto případě je vhodné omezit počet možných jakostí nebo zpřísnit dodací podmínky a snížit tak rozptyl mechanických vlastností. I v tomto případě je vhodné provádět vstupní kontrolu.

Další možností je vybrat pouze jednu nominální tloušťku materiálu. Pokud to není možné, bylo by vhodné mít pro každou jmenovitou tloušťku sadu nástrojů se správnou střížnou vůlí. Tu lze určit například dle Tab. 2-1, podle které je pro měkkou ocel tloušťky 2 mm střížná vůle 0,1 mm, pro 1,5 mm plech je pak střížná vůle pouze 0,075 mm.

6.4 Povrchová úprava nástrojů

Pro další zvýšení životnosti nástrojů je možné využít povlaků nanášených metodou PVD (Physical Vapour Deposition), která je založena na odpaření nebo odprášení pevné látky v řízené atmosféře. PVD povlaky se vyznačují otěruvzdorností, tepelnou odolností, korozivzdorností a v neposlední řadě také snížením třecího odporu. Lepší tribologické vlastnosti těchto vrstev dopomohou proti zadírání nástroje a zlepší stírání výlisku z nástroje.

Základní a nejdéle používanou PVD úpravou je vrstva TiN (nitrid titanu), která dosahuje mikrotvrdosti 20 až 25 GPa a je charakteristická svou zlatavou barvou. Další možností je například vrstva TiAlN či Al_2O_3 . Tření v místě kontaktu účinně snižují kluzné povlaky, které svými vlastnostmi dopomáhají ke snížení střížných sil. Jedná se o vrstvy MoS_2 , WC a především DLC povlaky (Diamond-Like-Carbon) s velmi nízkým koeficientem tření a vysokou tvrdostí (do 60 GPa). [33] [34]

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit analýzu funkčních částí střížných nástrojů, jejichž problémem je malá životnost. Bylo potřeba definovat závady a na základě analýzy navrhnout opatření, která dopomohou k jejich odstranění a tím i zvýšení životnosti. Kvůli pochopení problematiky jsem se však nejprve zabýval teorií stříhání.

První část práce je orientována na teorii výroby výlisku. Jedná se hlavně o operace stříhání, ohýbání a tažení. Největší důraz je kladen na technologii stříhání a vysvětlení pojmů, které je nutné vzhledem k povaze řešeného problému znát. Samostatná kapitola je věnována také některým konstrukčním zásadám, které dopomáhají ke správnému průběhu procesu.

Důležitou roli hraje i materiál výlisku. Bylo zapotřebí určit možný rozsah mechanických vlastností a tloušťek, jelikož tyto atributy hrají při stříhání zásadní roli. Není-li tomuto tématu věnována dostatečná pozornost, může to negativně ovlivnit životnost nástrojů.

Další část je věnována samotným posuzovaným funkčním částem střížného nástroje. Jsou zde popsány a fotografiemi představeny jednotlivé varianty střížníků a střížnic. Následuje popis vad, mezi které patří odlamování částí střížné hrany, celkové rozlomení nástrojů, ulpívání materiálu ve střížnici, nadměrné opotřebení a také navařování s cílem prodloužit životnost. Vady jsou prezentovány na vybraných dílech. Poté přichází na řadu analýza vzorků, kde je zkoumán materiál nástroje, tvrdost a pevnostní namáhání. Největší problém představuje tvrdost nástrojů, která je u mnoha dílů velmi malá, ale ani ostatní oblasti nejsou zcela v pořádku.

Poslední kapitola je věnována návrhu opatření pro zvýšení životnosti se zaměřením na materiálovou jakost nástrojů a jejich tvrdost po tepelném zpracování, dále na lisovaný materiál a návrh povrchových úprav, které zlepšují tribologické vlastnosti povrchu a dopomáhají tak k menšímu namáhání. Mezi hlavní návrhy patří omezení počtu materiálů použitých pro výrobu nástrojů, přísnější dohled nad tepelným zpracováním a také zpřísnění dodacích podmínek pro zpracováváný materiál tak, aby byl omezen rozsah mechanických vlastností. Je také doporučeno použití nástrojů se střížnou mezerou určenou přímo pro danou jmenovitou tloušťku materiálu. Spolu s konstrukčními zásadami uvedenými v kapitole „Konstrukce střížného nástroje“ by tyto návrhy měly vést k razantnímu zvýšení životnosti funkčních částí střížného nástroje.

Seznam literatury

- [1] *Tváření kovů - teorie* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=38835&revision=-1&instance=2>
- [2] *Technologie tváření kovů. TUL* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [3] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_4.htm
- [4] BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
- [5] TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. *Akademie tváření: Stříhání. MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
- [6] *Sheet metal cutting* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: http://thelibraryofmanufacturing.com/sheetmetal_cutting.html
- [7] *Technologie plošného tváření - Stříhání. TUL* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [8] HALAMA, Radim a kol. *Pružnost a pevnost. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Západočeská univerzita v Plzni* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost_a_pevnost.pdf
- [9] ZAJÍČEK, M. a V. ADÁMEK. *Vzpěr přímých prutů* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/shrnuti.pdf>
- [10] *Ztráta stability tenkých přímých prutů - vzpěr* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: http://drone.fsid.cvut.cz/pp2/prezentace/vzper_vzper_ohyb.pdf
- [11] SVOBODA, Jaroslav. *Mechanika, pružnost pevnost: Vzpěr, mezní stav stability, pevnostní podmínky pro tlak, nepružný a pružný vzpěr. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7203160-Vzper-mezni-stav-stability-pevnostni-podminky-pro-tlak-nepruzny-a-pruzny-vzper-ing-jaroslav-svoboda.html>
- [12] TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. *Akademie tváření: Ohýbání. MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: [https://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tvareni_ohybani\(1\).pdf](https://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tvareni_ohybani(1).pdf)
- [13] *Technologie plošného tváření - Ohýbání. TUL* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
- [14] *Technologie plošného tváření - tažení. TUL* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm

- [15] TATÍČEK, František. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
- [16] *Strojírenství – Engineering: Strojírenská technologie* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <http://www.strojirenstvi.wz.cz/image.php?subject=1&class=6&topic=51&image=0>
- [17] *Lisovací nástroje. Stříhání* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/9040980-Lisovaci-nastroje-strihani.html>
- [18] KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 9788001010037.
- [19] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 8021404019.
- [20] ČSN EN 10130. *Ploché výrobky z hlubokotažných ocelí válcované za studena k tváření za studena - Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [21] ČSN EN 10139. *Pásky z nízkouhlikových ocelí válcované za studena, bez povlaku, pro tváření za studena - Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [22] ČSN EN 10111. *Plechý a pásy z nízkouhlikových (hlubokotažných) ocelí kontinuálně válcované za tepla k tváření za studena - Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [23] ČSN EN 10143. *Ocelové plechy a pásy kontinuálně pokovené - Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [24] *Rentgenové spektrometry ED-XRF - PRINCIP* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <https://www.bas.cz/rentgenove-spektrometry/xrf-rentgenove-spektrometry.php>
- [25] Nástrojová ocel 1.2379 , informativní list. *Bolzano* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/NO/1.2379_cesky.pdf
- [26] Nástrojová ocel 1.2842 , informativní list. *Bolzano* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/NO/1.2842_cesky.pdf
- [27] ČIŽMÁROVÁ, Elena a Jana SOBOTOVÁ. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
- [28] Převodník tvrdosti. *Converter.cz* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost-online.htm>
- [29] Přepočítání tvrdosti. *Bolzano* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/tvrdost>
- [30] W. NR. 1.2080. *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. [cit. 2018-07-25]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-studena/w-nr-12080/>



- [31] W. NR. 1.2379. *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. [cit. 2018-07-25]. Dostupné z:
<http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-studena/w-nr-12379/>
- [32] W. NR. 1.2718. *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. [cit. 2018-07-25]. Dostupné z:
<http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-studena/w-nr-12718/>
- [33] Současnost a trendy povlakování technologií PVD. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z:
<https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologiei-pvd.html>
- [34] PÍŠKA, Miroslav. Trendy v PVD a CVD povlakování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z:
<https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-pvd-a-cvd-povlakovani.html>

Seznam obrázků

Obr. 2-1 Fáze stříhání [7].....	11
Obr. 2-2 Princip stříhání pomocí stříhadla [7]	11
Obr. 2-3 Závislost průběhu střížné síly na poloze střížníku [5]	12
Obr. 2-4 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [4]	13
Obr. 2-5 Schéma střížné vůle [5]	14
Obr. 2-6 Uvažované případy pevnostního namáhání [11]	14
Obr. 2-7 Princip ohýbání s průběhem napětí [12].....	16
Obr. 2-8 Princip odpružení materiálu [12].....	16
Obr. 2-9 Tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [14].....	17
Obr. 3-1 Schéma střížného nástroje [16]	19
Obr. 3-2 Střížníky[4].....	20
Obr. 3-3 Úpravy střížníku a střížnice [7]	20
Obr. 4-1 Vlastnosti oceli DC01 dle normy ČSN EN 10130 [20].....	23
Obr. 4-2 Vlastnosti oceli DC01 dle normy ČSN EN 10139 [21].....	23
Obr. 4-3 Vlastnosti oceli DD11 dle normy ČSN EN 10111 [22].....	24
Obr. 4-4 Tolerance tloušťky oceli DC01 dle normy ČSN EN 10143 [23].....	24
Obr. 4-5 Tolerance tloušťky oceli DD11 dle normy ČSN EN 10143 [23]	24
Obr. 5-1 Střížnice modifikace označené A	25
Obr. 5-2 Střížnice modifikace označené B	25
Obr. 5-3 Střížník modifikace označené B.....	26
Obr. 5-4 Střížnice modifikace označené C	26
Obr. 5-5 Střížník modifikace označené C.....	26
Obr. 5-6 Odlomení části střížnice a její následné přivaření, malá tloušťka materiálu střížnice.....	27
Obr. 5-7 Vylomení části střížné hrany	28
Obr. 5-8 Celkové roztržení střížnice	28
Obr. 5-9 Rozlomení a zpětné navaření části střížnice, ulpívání materiálu	28
Obr. 5-10 Nadměrné opotřebení, vylomení části nástroje v oblasti střížné hrany	29

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce materiálu [5].....	13
Tab. 3-1 Tvar střížnice a rozsah jejich použití [4]	21
Tab. 5-1 Chemická analýza.....	29
Tab. 5-2 Chemické složení vytipovaných materiálů dle Bolzano.cz [25] [26]	30
Tab. 5-3 Naměřené hodnoty tvrdosti [28] [29]	31
Tab. 5-4 Shrnutí výpočtových hodnot a střížných sil	32
Tab. 5-5 Souhrn hodnot pro kontrolu na tlak	32
Tab. 5-6 Stanovení maximální délky střížníků	33