



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKCE DĚROVACÍHO NÁSTROJE

A DESIGN OF PUNCHING TOOL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Bastl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Tůma, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky |
| Student: | Dominik Bastl |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Základy strojního inženýrství |
| Vedoucí práce: | Ing. Jiří Tůma, Ph.D. |
| Akademický rok: | 2020/21 |

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

Konstrukce děrovacího nástroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při výrobě zdravotnických a rehabilitačních potřeb pomocí ohýbání trubek obdélníkového průřezu vzniká potřeba zefektivnění výroby děr pro usazení pantů. Stávající proces pomocí řadové vrtačky nevyhovuje výrobnímu taktu, je snaha o integraci této operace přímo do procesu ohýbání. Cílem práce je návrh nástroje pro děrování kompatibilního se stávající CNC ohýbačkou.

Cíle bakalářské práce:

Popis současného stavu výroby a výrobních zařízení.
Nutné výpočty pro konstrukci vlastního návrhu.
Konstrukční návrh v libovolném CAD software.
Výkresová dokumentace vybraných dílů a sestavy, CAD model.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

Unipunch: Holes in parts. Fast. [online], 2020. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <https://www.unipunch.com/>.

Tube punching: Hydraulic punching, bending, cutting, forming solutions [online], 2020. [cit. 2020-1-22]. Dostupné z: <https://tubepunching.com/>.

Manufacturing guide: Tube punching with mandrel [online], 2020. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/tube-punching-mandrel>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem speciálního děrovacího nástroje na ohýbačku. Cílem je navrhnout děrovací nástroj, který by svoji kompatibilitou se stávající ohýbačkou umožnil děrovat a ohýbat trubky čtvercového průřezu na jedno upnutí profilu, a tím celou výrobu zefektivnil oproti stávajícímu výrobnímu procesu.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a special punching tool for a bending machine. The aim is to design a punching tool which, thanks to its compatibility with an existing bending machine, would allow punching and bending of square tubes in one profile clamping, thus streamlining the entire production compared to the existing production process.

KLÍČOVÁ SLOVA

děrovací nástroj, děrování na ohýbačce, zefektivnění výroby, paravány

KEYWORDS

punching tool, punching on a bending machine, streamlining production, screens

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BASTL, Dominik. *Konstrukce děrovacího nástroje*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132367>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Tůma.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Tůmovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky.

Dále bych rád poděkoval kolektivu firmy AUDY s.r.o. za spolupráci, zejména pak řediteli této firmy panu Romanu Audymu za jeho ochotu a za to, že mě tímto projektem pověřil a souhlasil s jeho zapracováním do mé bakalářské práce.

Rád bych poděkoval také nástrojárně pana Holešovského za poskytnutí cenných informací týkajících se výroby nástroje.

A poděkování patří také mé rodině za její podporu při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Tůmy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. 5. 2021

.....

Bastl Dominik

OBSAH

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ | 17 |
| 2.1 | O FIRMĚ AUDY S.R.O. | 17 |
| 2.2 | PARAVÁNY..... | 18 |
| 2.2.1 | DEFINICE..... | 18 |
| 2.2.2 | UPLATNĚNÍ | 18 |
| 2.2.3 | HISTORIE..... | 19 |
| 2.2.4 | SPECIFIKACE..... | 19 |
| 2.2.5 | DŮVODY ZMĚNY TECHNOLOGIE | 20 |
| 2.3 | OHÝBAČKA BLM ELECT 40 | 21 |
| 2.3.1 | INFORMACE O STROJI | 21 |
| 2.4 | PŮVODNÍ METODA VYHOTOVOVÁNÍ DĚR DO MATERIÁLU | 24 |
| 2.4.1 | VRTÁNÍ..... | 24 |
| 2.5 | METODY INSPIRUJÍCÍ KONSTRUKCI DĚROVACÍHO NÁSTROJE | 25 |
| 2.5.1 | KLASICKÉ DĚROVÁNÍ | 25 |
| 2.5.2 | STRÍHÁNÍ | 26 |
| 2.6 | VYHOTOVOVÁNÍ DĚR DO MATERIÁLU NA OHÝBAČCE | 27 |
| 2.6.1 | DĚROVÁNÍ NA OHÝBAČCE | 28 |
| 3 | KONSTRUKČNÍ NÁVRH NÁSTROJE | 33 |
| 3.1 | 3-DÍLNÁ ČELIST SE STŘIŽNÍKEM..... | 34 |
| 3.1.1 | 1. DÍL – UPÍNACÍ KOSTKA | 34 |
| 3.1.2 | 2. DÍL – VODICÍ KOSTKA | 35 |
| 3.1.3 | 3. DÍL – POHYLIVÁ ČELIST | 36 |
| 3.1.4 | OBECNÉ INFORMACE O ČELISTECH | 37 |
| 3.1.5 | STŘIŽNÍK..... | 37 |
| 3.1.6 | NORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI | 40 |
| 3.2 | KLADKA NA DĚROVÁNÍ | 42 |
| 3.2.1 | KLADKA..... | 42 |
| 3.2.2 | PEVNÁ ČELIST SVĚRÁKU | 43 |
| 4 | POUŽITÉ TECHNOLOGIE NA ZHOTOVENÍ NÁSTROJE | 45 |
| 4.1 | OBRÁBĚCÍ CENTRUM HAAS VF 4SS..... | 45 |
| 4.2 | ELEKTROEROZIVNÍ DRÁTOVÁ ŘEZAČKA FANUC ROBOCUT α -liD..... | 45 |
| 4.3 | UNIVERZÁLNÍ SOUSTRUH..... | 46 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5 | VÝPOČTY | 47 |
| 5.1 | TEORETICKÁ ČÁST | 47 |
| 5.1.1 | PRŮBĚH STRÍHÁNÍ..... | 47 |
| 5.1.2 | VZHLED STRÍŽNÉ PLOCHY..... | 48 |
| 5.1.3 | STRÍŽNÁ VŮLE..... | 49 |
| 5.1.4 | STRÍŽNÁ SÍLA | 50 |
| 5.2 | POČÍTANÉ PŘÍPADY | 51 |
| 5.3 | ZNÁMÉ PARAMETRY | 52 |
| 5.4 | TEORETICKÁ DĚROVACÍ SÍLA..... | 52 |
| 5.5 | SKUTEČNÁ DĚROVACÍ SÍLA | 53 |
| 5.6 | STRÍŽNÁ PRÁCE | 54 |
| 5.7 | STÍRACÍ SÍLA..... | 55 |
| 5.8 | PEVNOSTNÍ VÝPOČET STRÍŽNÍKU | 56 |
| 5.8.1 | KONTROLA NA OTLAČENÍ | 56 |
| 5.8.2 | KONTROLA NA VZPĚR..... | 57 |
| 5.9 | VÝPOČET PRUŽIN | 58 |
| 6 | ZHODNOCENÍ A DISKUZE | 59 |
| 6.1 | EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... | 60 |
| 6.2 | SOUČASNOST A VIZE DO BUDOUCNA..... | 60 |
| 7 | ZÁVĚR..... | 61 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 63 |
| 9 | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK..... | 67 |
| 9.1 | SEZNAM SYMBOLŮ | 67 |
| 9.2 | SEZNAM TABULEK | 69 |
| 9.3 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 69 |
| 10 | SEZNAM PŘÍLOH | 71 |
| 10.1 | 3D MODELY SESTAV (.step) | 71 |
| 10.2 | VÝKRESY SESTAV | 71 |
| 10.3 | VÝKRESY SOUČÁSTÍ..... | 71 |

1 ÚVOD

V dnešní dynamické době jsou ti, jež rozhodují o úspěchu či neúspěchu firmy na trhu, zákazníci. A právě proto je o ně mezi firmami sváděn nekonečný boj. Aby byla firma v tomto těžkém konkurenčním boji úspěšná a získala zákazníky na svoji stranu, musí veškeré své kroky směřovat ke spokojenosti zákazníků. Ti mají po většinou dosti širokou škálu požadavků, které je potřeba splnit. Od nejzákladnějších jako jsou kvalitní výrobek, nízká cena a rychlé doručení až po zcela specifické jako jsou atypické rozměry výrobku či jiný výrobní materiál apod.

Aby firma tento tlak ze strany zákazníků ustála a udržela se tak na trhu, je pro ni klíčové, aby se neustále rozvíjela, přecházela na nové technologie a vytvářela nové pracovní postupy. Jedná se sice opatření, která značně snižují rozpočet firmy, nicméně pokud by je firma nečinila a stále by zůstávala u svých starých, ačkoliv dříve prověřených metod, pravděpodobně by se tak odsoudila k zániku za schopnějšími konkurenčními firmami.

Kráčeni vstříc novým technologiím a změnám, firmě pomůže k urychlení výroby, čímž dojde ke snížení výrobních nákladů na kus a tím i ceny hotového výrobku. S urychlením dále souvisí navýšení počtu vyrobených kusů, což vede k rychlejší expedici hotového výrobku. A s novými technologiemi přichází také větší přesnost, která zvýší kvalitu výrobku. Tím jsou veškeré základní požadavky zákazníků splněny, čímž je vybudován i základní předpoklad pro úspěch.

Mezi firmami, které svádí každodenní boj s četnou konkurencí a snaží si na dnešním dynamickém trhu vybojovat co nejlepší postavení, je i česká firma AUDY s.r.o., zabývající se výrobou a prodejem zdravotní a rehabilitační techniky. A právě ve spolupráci s ní vznikl projekt, jenž se stal záměrem této bakalářské práce. Zmíněným projektem a zároveň hlavním cílem bakalářské práce je návrh konstrukce plně funkčního děrovacího nástroje na ohýbací lis BLM ELECT 40, jenž má za úkol zefektivnit a zpřesnit výrobu oproti dosavadnímu způsobu výroby, což by mělo vést ke splnění všech požadavků zákazníků uvedených v prvním odstavci.

Aby bylo možné takový nástroj navrhnout, je nezbytné, se nejdříve seznámit s firmou, pro kterou je nástroj konstruován. Dále si je zapotřebí představit výrobek, jehož výroba má být novým nástrojem vylepšena a také stroj, na kterém bude nástroj pracovat. Po tomto seznámení je zapotřebí vyhodnotit účinnost nové technologie vůči technologii dosavadní. Za tímto účelem budou obě metody vzájemně porovnány. Po vyhodnocení vhodnosti metody, už bude možné přistoupit k hlavní části bakalářské práce, kterou je samotný návrh nástroje. V ní budou nejdříve popsány jednotlivé díly a to zejména jejich funkce a způsob výroby včetně použitých technologií. A poté budou provedeny nezbytné výpočty pro konstrukci nástroje. Na konci bakalářské práce pak bude provedeno celkové zhodnocení projektu včetně doporučení pro praxi.

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

2.1 O FIRMĚ AUDY S.R.O.

Firma AUDY s.r.o. je česká rodinná firma založená v roce 1990 v Brně. Její zakladatelé jsou Alois a Dáša Audyovi. [1] Sídlo společnosti je od svého vzniku neustále v Brně, avšak se zvyšujícím zájmem o zdravotnické vybavení, již dílna v Brně svými rozměry nevyhovovala, a tak byl pořízen areál v Holubicích, kam byla celá výroba přesunuta. V Brně tak zůstaly pouze kanceláře s obchodem.

Stručně o firmě: [1]

- Strategickou orientací firmy je výroba a distribuce zdravotnické a rehabilitační techniky.
- Společnost má také dlouholeté zkušenosti v oblasti vývoje těchto produktů a snaží se o rozšiřování, zdokonalování a modernizaci svého portfolia.
- Nejvyššími prioritami společnosti jsou vysoká kvalita výrobků, dostupný servis a ochrana životního prostředí.
- Společnost má zavedený a certifikovaný systém jakosti ISO 9001 a prostředí ISO 14001.

V posledních letech firma zaznamenává největší poptávku u dvou produktů. Jsou jimi paravány a chodítka. A právě výrobu paravánů má usnadnit, urychlit, zpřesnit a celkově zlevnit děrovací nástroj na ohýbačku, jenž je záměrem této bakalářské práce. Další důvody, proč je tento speciální nástroj konstruován právě na paravány, jsou obsaženy v následující kapitole 2.2.5.



Obr. 1 Logo firmy AUDY s.r.o. [2]



Obr. 2 Prodejna s kanceláři v Brně [3]



Obr. 3 Výrobní hala s montáží v Holubicích

2.2 PARAVÁNY

2.2.1 DEFINICE

Paraván je mobilní zástěna s pevnou kostrou a neprůsvitnou nebo částečně průsvitnou výplní, která slouží k vytvoření soukromí. [4] Paraván se obvykle skládá z několika dílů. Ty jsou vzájemně spojeny, nejčastěji pomocí pantů nebo jednoduchých závěsů.

2.2.2 UPLATNĚNÍ

Dnes už se za nimi lidé jen nepřevlékají, ale používají je například jako dělicí příčky v interiéru, kde chtějí vytvořit soukromý koutek třeba sourozencům ve společném pokoji, nebo pro různé koníčky, případně práci. [5] K těmto účelům jistě přijdou vhod kompaktní paravány, které jsou vybavené, či je lze dovybavit poličkami, organizéry na náradí, háčky na pověšení oblečení nebo kapsami či zásuvkami pro získání úložného prostoru (obr. 4a). Objevují se i v takzvaných open space kancelářích, kde uživatelům poskytují určitý pocit soukromí a odstiňují hluk, čímž vytvářejí lepší pracovní komfort (obr. 4b). [5] Jiné mohou posloužit jako originální dekorace (obr. 4c), která v kombinaci s květinami a jinými doplňky vytvoří příjemné zákoutí. [4] Nebo se lze setkat i s typy paravánů, které mají za úkol zabezpečit nebezpečná místa, jakým je například krb v domácnosti (obr. 4d). V takovém případě je paraván většinou celokovový, nebo skleněný a je umístěn před krbové ohniště tak, aby nedošlo například k popálení dítěte.

Kromě interiérových se prodávají i exteriérové paravány, které jsou vhodné pro použití na terasy nebo balkony, kde mohou fungovat jako stínící prvky. [4]



a)



b)



c)



d)

Obr. 4 Různé typy paravánů

- a) Drátěný paraván [6]
- b) Akustický paraván [7]
- c) Dekorativní paraván [8]
- d) Krbový paraván [9]

2.2.3 HISTORIE

První zmínky o paravánech se objevují už ve 4. století př. n. l., a to v Číně, kde je lidé využívali nejenom jako nábytek, ale také jako originální dekorace. Jednalo se o velká, těžká a bohatě zdobená umělecká díla, která si mohli dovolit pouze movití jedinci. Jako materiál se na rám nejčastěji používalo dřevo a jako výplň posloužilo například hedvábí, které bylo ručně zdobeno různými znaky. Později se jejich používání rozšířilo do Japonska, kde byla konstrukce paravánu podstatně zjednodušena, čímž se otevřely další možnosti využití této stěny, zejména v domácnostech. Díky objevitelským cestám, které byly Evropany často podnikány, se tento, tehdy poměrně kuriózní, kus nábytku rozšířil z Japonska dál do celého světa. Konkrétně do Evropy jej jako první přivezli Španělé, a proto jsou paravány někdy také nazývány jako španělské stěny. V Evropě i v Americe pak řemeslníci začali vyrábět vlastní modely. [5]



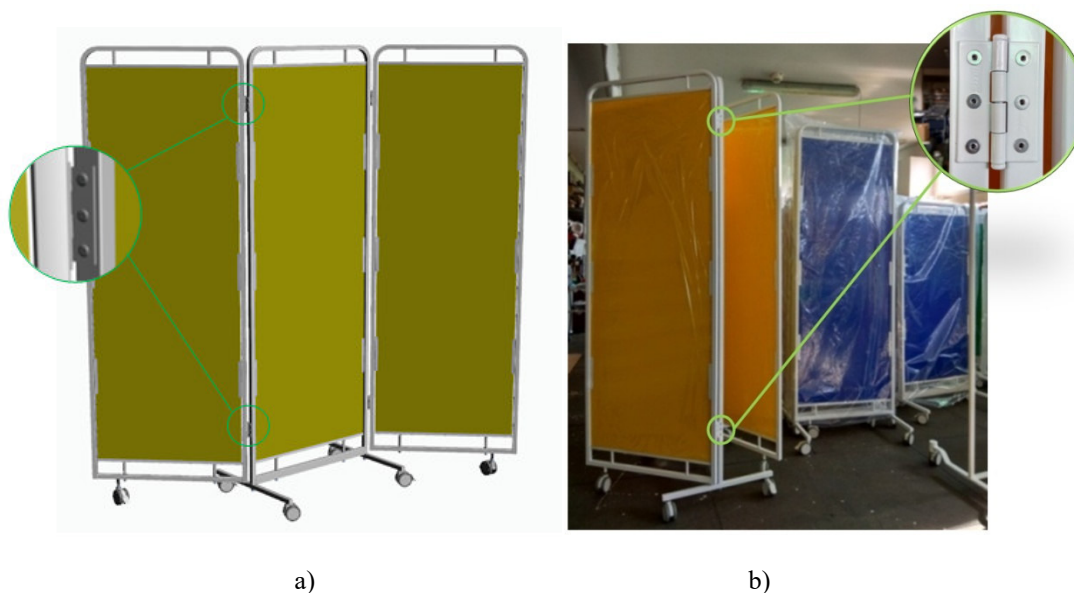
Obr. 5 Čínský císařský trůn, za nímž se nachází zdobený paravan [10]

2.2.4 SPECIFIKACE

Na trhu se je tedy možné setkat s různými typy paravánů, přičemž každý má svoji více, či méně důležitou funkci. A materiálů, z kterých jsou paravány vyráběny, je také celá řada.

Jelikož firma AUDY s.r.o. je firma zaměřená na výrobu medicínských potřeb, jsou paravány vyrobené v této firmě primárně určeny do nemocnic, kde slouží jako mobilní stěny, oddělující jednotlivá lůžka tak, aby bylo zajištěno soukromí pacientů, což je vyžadováno hlavně na oddělení JIP.

Paravány jsou zhotovovány ve dvoudílné nebo třídílné variantě, přičemž jednotlivé díly jsou k sobě spojeny dvěma panty, které jsou do ocelového rámu uchyceny pomocí 3 nýtů (obr. 6a) i b)). A to, jak ve vysoké, tak i nízké variantě, kterou firma vyrábí. Výplň rámu tvoří plastové neprůsvitné desky, což je velmi praktické z hlediska údržby, odolnosti a celkové hmotnosti zástěny. Mobilitu paravánům zajišťují kolečka a jejich konstrukce je vymyšlená tak, aby při složení zabíraly co nejméně místa. Hotový sestavený výrobek si je možné prohlédnout na obr. 6 b), kde je zachycen jak ve vysoké tak i v nízké variantě.



Obr. 6 Paraván vyráběný firmou AUDY s.r.o. s detailem na panty

a) Vizualizace

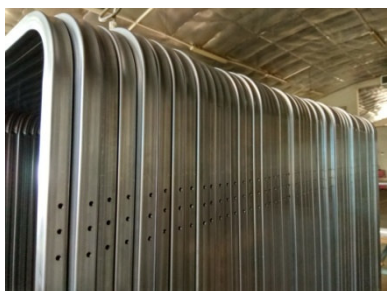
b) Zkompletované paravány na montáži

2.2.5 DŮVODY ZMĚNY TECHNOLOGIE

Prvním důvodem je, jak už bylo řečeno výše, že je tento produkt velice žádaný a tvoří nezanedbatelný podíl celkové produkce firmy, což samozřejmě souvisí s velkým množstvím času, který je výrobě tohoto produktu věnován.

Druhým důvodem je velké množství děr, které je zapotřebí do ocelového rámu výrobku vyhotovit (obr. 7). Konkrétně je zapotřebí vyhotovit celkem 6 děr do krajních ráků a u středových ráků je počet navýšen dokonce na 12 děr. Díry jsou do ráků zhotovovány pro nýty pantů, které by měly být ideálně pod sebou, aby bylo možné pant při montáži bez problému přinýtovat a rámy byly vůči sobě ideálně rovnoběžné. Přesnost je tedy dalším - třetím důvodem vzniku projektu.

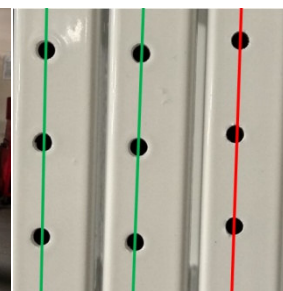
A čtvrtým důvodem je fakt, že polotovary v podobě čtvercových profilů 20x20x1,5 mm přesahují délku 4 metrů (obr. 8) a tudíž je s nimi obtížná manipulace, takže je snaha upravit výrobu tak, aby bylo s profilem během výroby, co nejméně manipulováno, čehož by se mělo sloučením operací děrování a ohýbání dosáhnout.



Obr. 7 Rámy s vyhotovenými dírami (zachyceny pouze horní)



Obr. 8 Délka polotovaru v porovnání řadovou vrtáčkou



Obr. 9 Díry s vyznačenou přesností po vrtání v přípravku

2.3 OHÝBAČKA BLM ELECT 40

V roce 2016 byl do firmy AUDY s.r.o. pořízen nový CNC ohýbací lis BLM ELECT 40, který nahradil již nevyhovující poloautomat.

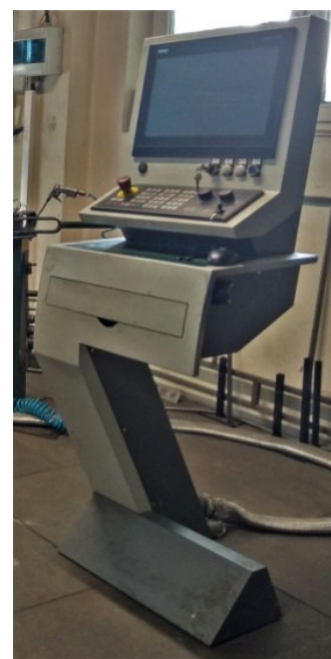
Zakoupením tohoto CNC stroje se ohýbání značně zrychlilo a zpřesnilo. Nicméně se záhy ukázalo, že stroj je natolik efektivní, že pro něj nelze stíhat připravovat materiál, který je nutné před ohýbáním nadělit na pásové pile a ve většině případů i vyvrtat na řadové vrtačce, což zabere velké množství času. A tak došlo k situaci, kdy stroj většinu času trávil bez využití. Jenže aby byla návratnost investice do stroje co nejrychlejší, je zapotřebí, aby byl stroj co nejvíce využit a vydělával firmě peníze pro její další rozvoj. A to je další problém, který by se měl uskutečněním tohoto projektu vyřešit a instalací navrženého děrovacího nástroje na ohýbačku by se stroj měl více zapojit do výroby, jelikož odpadne celá operace vrtání před ohýbáním a nadělený materiál zamíří rovnou k ohýbačce.

2.3.1 INFORMACE O STROJI

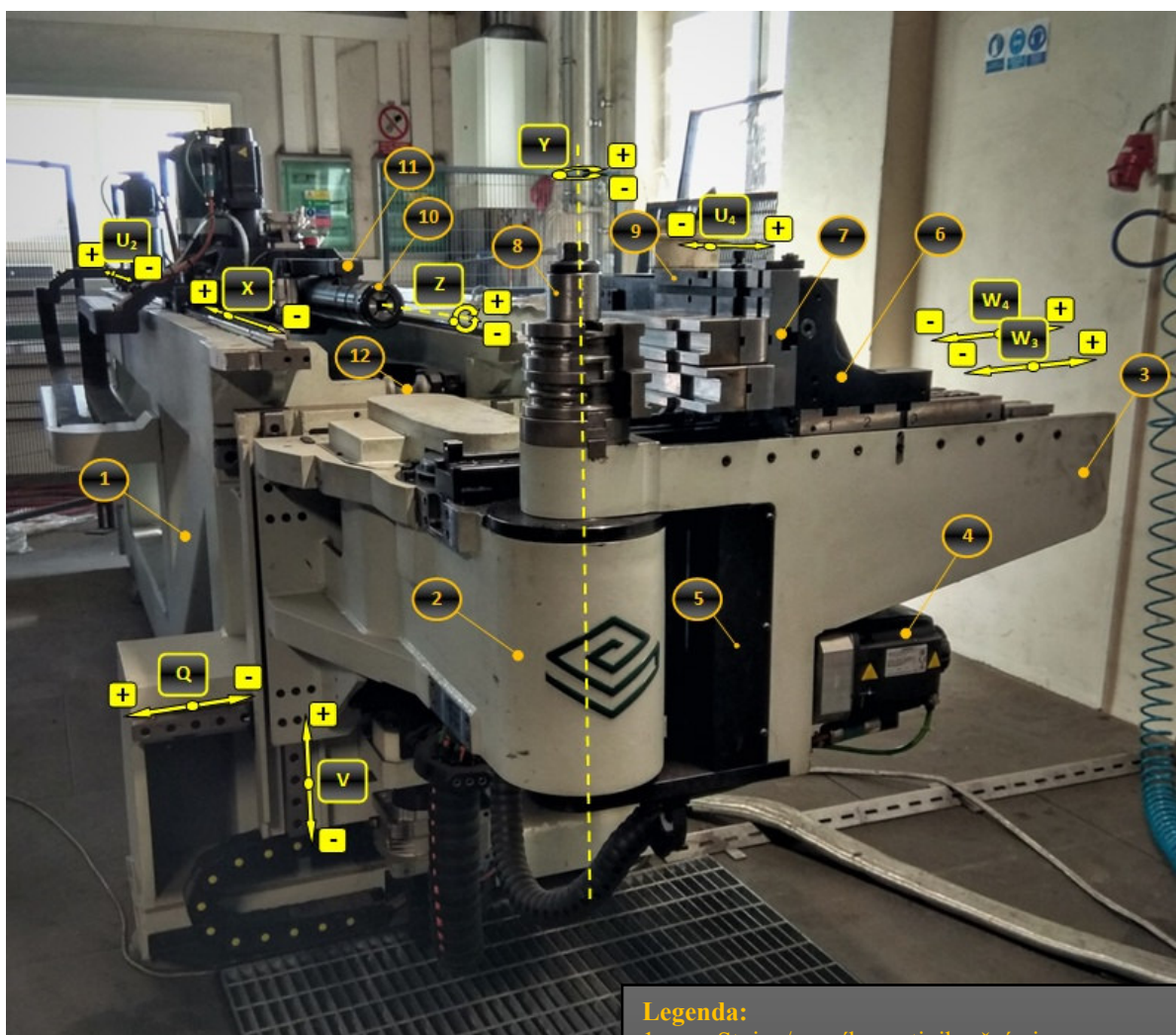
BLM ELECT 40 je nejmenší ohýbačka z řady ELECT, která byla navržena primárně pro ohýbání čtyřhranných, kulatých a oválných profilů, drátů a trubek do průměru 42 mm. [11] Stroj je ovšem řízen CNC systémem “Siemens SIMOTION”, čímž se stroj stává univerzálnějším a jeho primární účel není nikterak omezující. A právě toho je využito v tomto projektu. Po nahrání vhodného programu do stroje lze na ohýbačce s mírným omezením i děrovat. Tím mírným omezením je myšlen fakt, že ohýbačka je stroj určený na ohýbání, na tom se nic nemění, takže nelze tuto operaci zcela vynechat. V praxi to znamená, že pokud má za úkol materiál naděrovat opakovaným sevřením svěráku, pak to udělá, ovšem jen za předpokladu, že součástí programu bude ohyb, nebo alespoň otočení profilu v kleštině. V opačném případě stroj program nespustí. Ale i toto omezení se dá vyřešit, buď již zmiňovaným zařazením rotace profilu v kleštině, nebo stopnutím programu v požadované fázi, následným manuálním uvolněním děrovaného polotovaru ze stroje a resetem programu, což mírně prodlužuje čas spojený s touto operací a vyžaduje, aby obsluha byla po celou dobu chodu stroje připravena na zastavení programu. Přesnost výroby to však nijak neovlivní, a čas i přes toto mírné zdržení nepřekročí dobu potřebnou na vyhotovení děr klasickým vrtáním.

Celé řízení stroje včetně jeho programování je umožněno prostřednictvím rozhraní obsluhy, které je tvořeno pultem Simatic, panelem Pc 577B (s barevnou zobrazovací jednotkou, dotykovou obrazovkou, vestavěnou klávesnicí a rozhraním) a ovládacím panelem stroje MCP483 (obr. 10).

Existuje několik konfigurací tohoto typu stroje, přičemž firma AUDY s.r.o. zakoupila ELECT-M. Pod touto konfigurací se skrývá plně elektrický stroj na ohýbání trubek s 9 pracovními osami (obr. 11), které umožňují provádět pravé a levé ohyby manuální přeměnou stroje. Automaticky pak umožňují pouze jednostranné ohyby.



Obr. 10 Pult Simatic s panelem Pc 577B a ovládacím panelem stroje MCP483



Legenda:

Osa X Posuvník vysunutí trubky
 Osa Y Ohýbací rameno trubky
 Osa Z Rovina otáčení trubky
 Osa V Vertikální posun pro změnu průměrného poloměru
 Osa Q Horizontální posun hlavy pro změnu průměrného poloměru
 Osa U₂ Vytažení trnu
 Osa W₃ Upnutí trubky
 Osa W₄ Přítlačná čelist
 Osa U₄ Vodorovný posun pohyblivé přítlačné čelisti
 Podpěra trubky
 Doraz trubky
 Svěrák se uzavírá

Legenda:

1 Stojan/nosník s antivibračními vyrovnávacími nohami
 2 Ohýbací hlava
 3 Ohýbací rameno
 4 Bezkartáčový synchronní motor Siemens s planetovým reduktorem
 5 Ozubený převod
 6 Skluz svěráku
 7 Zásobník s upínacími čelistmi
 8 Trn s ohýbacími matricemi
 9 Opěrný skluz svěráku
 10 Upínací kleština
 11 Pneumatická lišta lokátoru
 12 Opěrný váleček
 13 Kuličkový šroub (obr. 12)
 14 Matice kuličkového šroubu (obr. 12)
 15 Vodicí drážky (obr. 12)

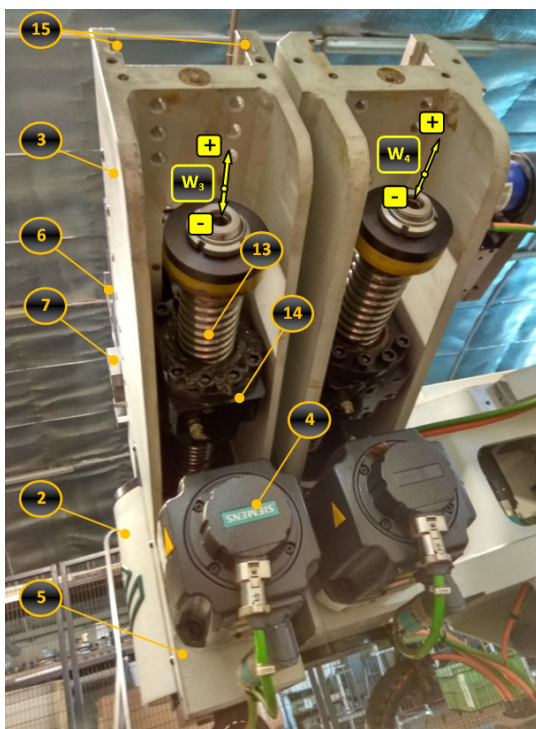
Obr. 11 Ohýbačka BLM ELECT 40 s vyznačenými pracovními osami a hlavními částmi

Na obr. 11 je vyobrazena ohýbačka BLM ELECT 40 s pracovními osami, na niž je nástroj konstruován. Nástroj bude připevněn do zásobníku svěráků (7) a jeho pracovní osou bude osa W_3 .

Přítomnost trubky ve stroji je automaticky detekována jedinou pneumaticky ovládanou částí stroje, a sice lištou lokátoru (11).

Na obr. 11 lze dobře vidět veškeré základní stavební prvky stroje, na které odkazují oranžové popisy. Žlutě jsou pak v obrázku popsány jednotlivé možné pracovní pohyby jednotlivých částí stroje. Co však už obr. 11 neposkytuje, je pohled na úplně pohybové ústrojí skluzu svěráku (6), na kterém je upevněn zásobník s upínacími čelistmi (7). Ten je pro projekt zcela stěžejní, protože právě tento pohon bude s nástrojem upevněným v zásobníku pohybovat a udávat mu tak sílu potřebnou pro děrování.

Detailnější pohled na pohon svěráku poskytuje obr. 12 vložený níže. Opět jsou jednotlivé části stroje opatřeny oranžovými popisy, jejichž legenda je umístěna pod obr. 11 a také pohyb je znázorněn stejně jako na obr. 11, tedy žlutou barvou, a taktéž je vázán k legendě u obr. 11.



Obr. 12 Detailnější pohled na pohon svěráku ohýbačky BLM ELECT 40 zajišťující práci děrovacího nástroje



Obr. 13 Pohled na bezkartáčový synchronní elektromotor Siemens se štítkem a na planetovou převodovku Wittenstein alpha LP 090S-MF1-10-1G1-3S [12]

Zdrojem posuvu je bezkartáčový synchronní motor Siemens (4) (obr. 13). Ten je spojen s planetovou převodovkou (obr. 13 nahoře, šipka odkazuje na její umístění), která výstupní moment redukuje. Na její výstupní hřídeli s redukovanými otáčkami se nachází ozubené kolo, které tvoří společně s dalšími dvěma ozubenými koly ozubený převod (5), na jehož konci dochází k rotaci kuličkového šroubu (13). Kuličkový šroub (13) pak svou rotací vyvolává translační pohyb matice (14) přímo spojené se skluzem svěráku (6) vybaveným kluznými segmenty, které zajišťují maximální tuhost. Skluz svěráku (6) se pohybuje v drážkách (15) na ohýbacím rameni (3) a je na něm upevněn zásobník (7), do kterého přijde děrovací nástroj přišroubovat.

2.4 PŮVODNÍ METODA VYHOTOVOVÁNÍ DĚR DO MATERIÁLU

2.4.1 VRTÁNÍ

Vrtání je metoda třískového obrábění, při které dochází k vyhotovování děr do materiálu zpravidla dvoubřitým nástrojem.

Nástroj: vrták

Stroj: vrtačka

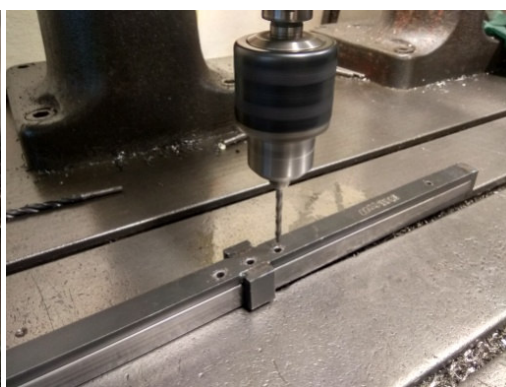
Hl. pohyb: otáčivý pohyb vrtáku (řezná síla je největší na obvodě a směrem k ose se snižuje a v ose je nulová)

Vedlejší pohyb: posuv vrtáku (přímočarý proti nehybnému obrobku)

Vzhledem k tomu, že se jedná o nejběžnější metodu vyhotovování děr do plného materiálu, tak zřejmě nebude velkým překvapením, že právě tato metoda je původní metodou, kterou byly díry pro nýty doposud vyhotovovány. Jedná se tedy o metodu, kterou tento projekt má nahradit metodou jinou – děrováním.



Obr. 14 Řádová vrtačka



Obr. 15 Vrtání děr v přípravku

Firma vlastní řadovou vrtačku (obr. 14), která není nikterak automatizována a je tedy plně závislá na obsluze, což do celého výrobního procesu vnáší jistou výrobní nepřesnost způsobenou lidským faktorem. Jelikož je zapotřebí, aby díry pro nýty byly ideálně v řadě pod sebou, tak bylo nutné pro tento úkon vyrobit speciální přípravek vymezující polohy děr (obr. 15), ale i ten má své stinné stránky. Je-li pomínut fakt, že přípravek byl vyroben s určitou nepřesností, tak ještě zbývá zmínit, že přípravek se s přibývajícím počtem vyvrtaných děr opotřebovává. Díry v něm se postupně zvětšují a různými směry rozšiřují, což

má za následek postupné snižování výrobní přesnosti a to až do chvíle, kdy je přípravek natolik opotřeben, že v něm vyvrtané díry již nemají požadovanou přesnost (obr. 9), která by zajišťovala bezproblémové přinýtování pantů a je nutné nevyhovující díry v lakovaných rámech na montáži převrtávat, což značně prodlužuje výrobní čas a komplikuje práci. V takové fázi je zapotřebí vyrobit přípravek nový.

Další **nevýhody** vrtání mimo výrobu přípravku jsou:

- pomalá výroba
- tupení vrtáků
- další chyby lidského faktoru
 - použití špatného přípravku, kterých musí být celá řada, aby pokryly všechny vrtané součásti
 - špatné ustavení přípravku na vrtaném profilu
 - zvolení nevhodného vrtáku
 - špatné upnutí vrtáku
 - špatně zvolené otáčky vrtačky

Naopak **výhody** této metody jsou:

- jednoduchost
- spolehlivost
- vrtáky jsou běžně dostupné nástroje a lze je pořídit na mnoha místech za nízkou cenu

2.5 METODY INSPIRUJÍCÍ KONSTRUKCI DĚROVACÍHO NÁSTROJE

Tato kapitola je zaměřená na metody, které svými vlastnostmi posloužily jako dobrý základ pro návrh děrovacího nástroje na ohýbačku.

2.5.1 KLASICKÉ DĚROVÁNÍ

Děrování na rozdíl od vrtání není technologií třískového obrábění, ale jedná se o technologii tváření a stejně jako vystřihování, ostřihování, přistřihování atd. patří mezi metody vycházející z nejrozšířenější metody tváření, stříhání. [13] Respektive se dá říci, že děrování je stříhání specializované na výrobu otvorů v profilech a tato metoda je zmiňována zvláště kvůli své specifčnosti oproti klasickému stříhání, které by bylo možné při děrování na ohýbačce využít.

Nástroj: razník, průbojník

Stroj: děrovačka (obr. 16)

Hl. pohyb: přímočarý pohyb nástroje do materiálu

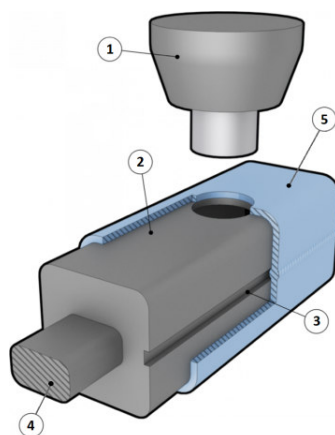
Vedlejší pohyb: přímočarý posuv děrovaného profilu (je zpravidla kolmý na hlavní pohyb)



Obr. 16 Děrovačka [14]



Obr. 17 Nástroj na děrování [15]

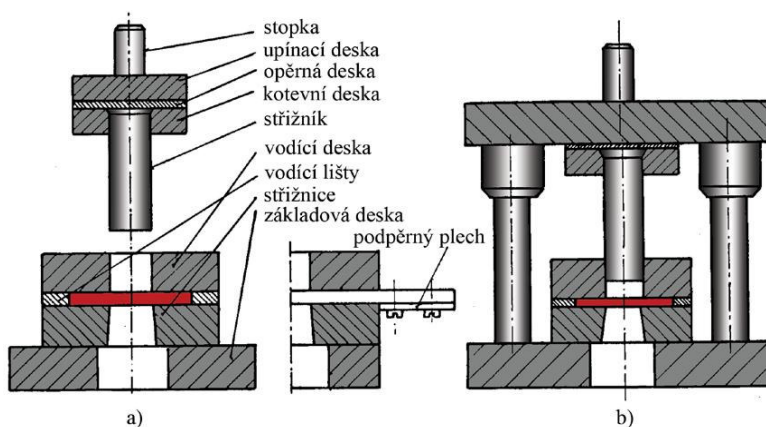


Obr. 18 Schéma děrování [15]

Na obrázku 18 je vyobrazeno schéma, na kterém je názorně vidět, jak celé děrování probíhá. Profil (5) je nasunut na trn (4) zakončený matricí (2), která musí být v případě děrování švových profilů vybavena drážkou (3), aby nedošlo k uvíznutí profilu na matrici. Matrice děrovaný materiál zevnitř podepírá, aby nedošlo ke zborcení materiálu. Díra je pak vyhotovena činností razníku (1), který koná vertikální pohyb. Ke stažení profilu z razníku pak slouží deska umístěná mezi razníkem a děrovaným profilem. Ta na obr. 18 není znázorněna, ale lze si ji všimnout na obr. 17, kde je přichycena čtyřmi šrouby k válečkovému vedení.

2.5.2 STŘÍHÁNÍ

Ačkoliv se z názvu „děrovací nástroj“ může zdát, že nemůže mít tato metoda s navrhovaným nástrojem nic společného, opak je pravdou. Právě tato metoda je základním pilířem konstrukce děrovacího nástroje na ohýbačku.



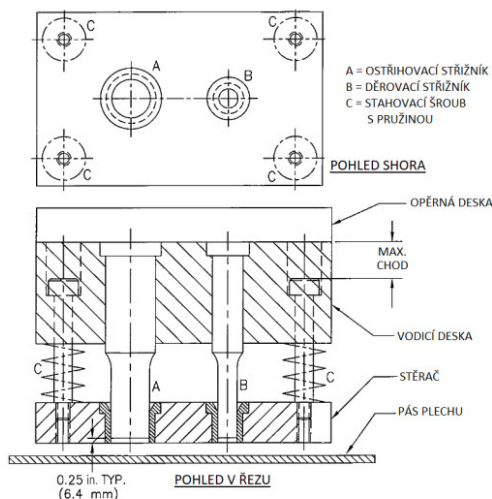
Obr. 19 Schéma střížného nástroje v řezu [16]

- a) bez vodícího stojánku
b) s vodícím stojánkem

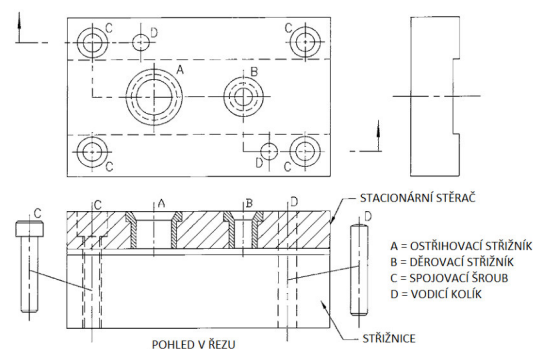
Stříhání, jak už bylo řečeno v minulé kapitole, je nejrozšířenější metodou tváření. Její využití je velmi široké: od přípravy polotovarů (stříhání tabulí či svitků plechů, stříhání profilů, vývalků, apod.), přes výrobky na další operace (ohýbání, protlačování, tažení, atd.) až po konečné výrobky (např. podložky). Kromě klasického stříhání má tato technologie ještě několik dalších odvozených operací nazvaných podle způsobu odstraňování materiálu, jako je děrování, vystříhování, ostříhování, přistříhování, atd. [13], přičemž klasické děrování bylo probráno již v předchozí kapitole 2.5.1.

- Nástroj:** střížník
Stroj: stříhadlo (obr. 19)
Hl. pohyb: přímočarý pohyb nástroje do materiálu
Vedlejší pohyb: přímočarý posuv děrovaného profilu (je zpravidla kolmý na hlavní pohyb)

Tak jako u každé metody, existuje i u stříhání mnoho kritérií, podle kterých lze metodu dělit. Asi nejzajímavějším a nejvíce užitečným rozdělením, které lze provést, aby se dalo v projektu zužitkovat, je dělení podle typu použitého stěrače, které obsahuje dva zástupce (viz obr. 20 a 21).



Obr. 20 Schéma postupového stříhadla s pružinovým stěračem [17]



Obr. 21 Schéma postupového stříhadla se stacionárním stěračem [17]

Na obr. 20 je vyobrazeno postupové stříhadlo s pružinovým stěračem, který má oproti postupovému stříhadlu se stacionárním stěračem (obr. 21) tu výhodu, že ho lze použít při stříhání polotovarů s výraznými výškovými rozdíly. [17]

2.6 VYHOTOVOVÁNÍ DĚR DO MATERIÁLU NA OHÝBAČCE

Děrování na ohýbačce bylo zvoleno jako nejvhodnější náhrada za zdlouhavý proces vrtání na řadové vrtačce z řady důvodu, z nichž ty zásadní již byly zmíněny v předchozích kapitolách. Nespornou výhodou, která k volbě této metody dosti zásadním způsobem přispěla, je skutečnost, že po správné konstrukci nástroje a nahrání programu do stroje lze bez jakýchkoliv dalších úprav na ohýbačce BLM ELECT 40 děrovat. Celkově tak odpadne

nutnost navštívit stanoviště s řadovou vrtačkou a nadělený materiál bude z pily rovnou přistaven k CNC ohýbačce. Ta vykoná v případě krajového dílu obě operace jak děrování, tak ohýbání na jedno upnutí. V případě dílu středového, kde jsou díry z obou stran, se pak kvůli mimoosému děrování počet upnutí zvyšuje na dvě.

Děrovací nástroj na ohýbačku, jak už bylo řečeno, vychází hlavně z klasického stříhání. Konkrétně potom z varianty stříhadla s pružinovým stěračem (obr. 20). Jaké společné rysy se stříhadlem nese a naopak jaké jsou jeho největší odlišnosti, je popsáno v téhle kapitole.

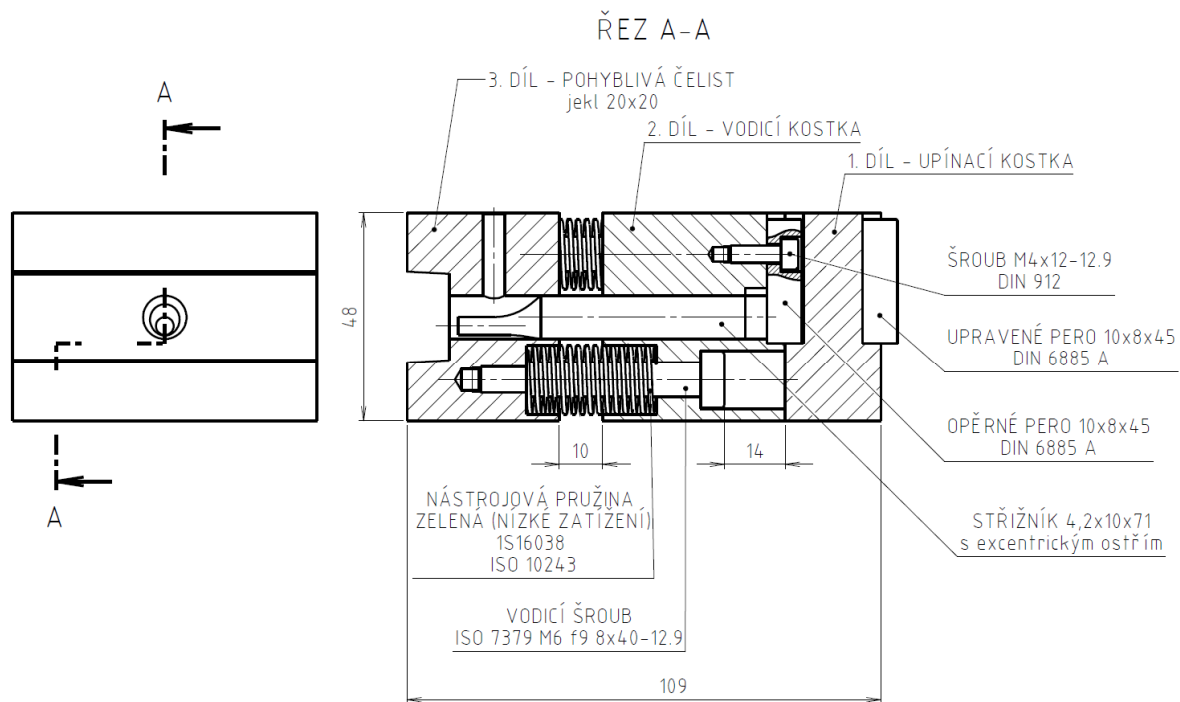
2.6.1 DĚROVÁNÍ NA OHÝBAČCE

Nástroj: střížník (kompatibilní s ISO 8020, typ B_x10x71)

Stroj: CNC ohýbačka, která umožňuje vykonat dvě operace na jedno upnutí (děrování + ohýbání)

Hl. pohyb: přímočarý pohyb nástroje do materiálu

Vedlejší pohyb: přímočarý posuv děrovaného profilu (je zpravidla kolmý na hlavní pohyb)

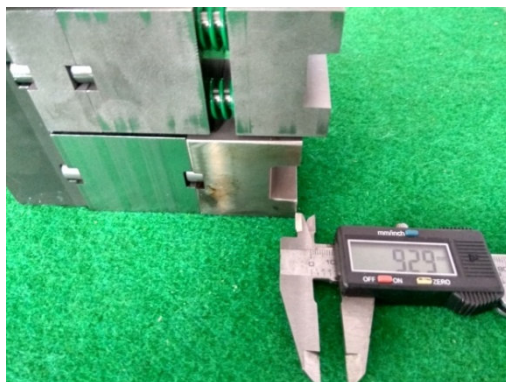


Obr. 22 Schéma navrženého děrovacího nástroje na ohýbačku

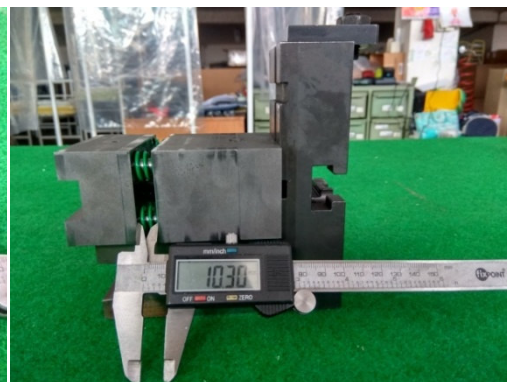
Při porovnání obr. 20 s obr. 22 si lze všimnout, že základní konstrukční prvky děrovacího nástroje jsou velice podobné těm na stříhadlu s pružinovým stěračem, ale jsou mezi nimi i značné rozdíly. Tím úplně největším rozdílem, který lze na první pohled spatřit, je pracovní poloha nástroje. Jelikož jsou nástroje vyobrazeny ve své skutečné pracovní poloze, tak si lze všimnout, že zatímco stříhadlo pracuje v poloze vertikální, děrovací nástroj naopak v poloze horizontální. Tento rozdíl je způsoben rozdílnými stroji, ve kterých nástroje pracují.

Ačkoliv není ze schématu na obr. 20 patrné, jak je celé stříhadlo upevněno do stroje, lze předpokládat, že způsob upevnění bude podobný, jak je tomu u jednoduchého stříhadla (obr. 19), tedy pomocí stopky, popřípadě pomocí šroubů, kterými se nástroj připevní do lisu. U děrovacího nástroje slouží k podobnému účelu upínací kostka, ve které jsou vyhotoveny dvě díry se závitem pro šrouby, pomocí kterých se celý nástroj připevní nejdříve do zásobníku čelistí k čelistem na ohýbání a následně se celý zásobník s čelistmi uchytí do stroje pomocí speciální úpinky zabudované ve skluzu svěráku. Správnou polohu nástroje v zásobníku pak zajišťují výměnná pera připevněná k upínací desce.

Opěrná deska na stříhadle plní jednak funkci opory střížníků a jednak funkci dorazů stahovacích (vodících) šroubů a vymezují tak maximální chod stříhadla. U děrovacího nástroje plní tyto funkce více prvků. Oporou střížníku je upravené těsné pero, které lze po vymačkání jednoduše nahradit perem novým, aniž by se musela vyrábět a měnit celá nová opěrná deska. Dále maximální pracovní zdvih není u děrovacího nástroje dán vzdáleností od hlavy vodícího šroubu po upínací kostku, jak je to řešeno u stříhadla s pružinovým stěračem znázorněným na obr. 20, ale je dán ohýbací čelistí, která je připevněna v zásobníku společně s děrovacím nástrojem a slouží k ohnutí profilu po jeho naděrování (obr. 23). Naopak vzdálenost nad hlavou vodícího šroubu k upínací desce je ještě o něco větší, než jaká je vzdálenost mezi vodící kostkou a pohyblivou čelistí (stěračem) (obr. 24), aby bylo zaručeno, že nebude docházet k rázům do upínací desky od hlav šroubů. V nejhorším případě tak bude docházet k narážení vodící desky a pohyblivé čelisti (stěrače), kde je kontaktní plocha větší a síla se tak lépe rozloží, což vede k zabránění lokálnímu vymačkávání materiálu. Další funkce vodící kostky s vodící deskou jsou totožné. Slouží k vedení šroubů, kterými je připevněna ke zbytku nástroje čelist, resp. stěrač, kterému je tím umožněn translační pohyb. Aby však pohyblivá čelist mohla sloužit jako stěrač, je nezbytně nutné, aby tento díl vyvozoval sílu, která zaručí setření naděrovaného profilu ze střížníku. Tuto sílu pohyblivé čelisti poskytuje sada čtyř nástrojových pružin (ISO 10243). Nástrojové pružiny se nachází mezi vodící kostkou, resp. deskou a čelistí, resp. stěračem a jsou v obou případech vedeny šrouby. V děrovacím nástroji jsou pak pro ně ještě ve vodící kostce a pohyblivé čelisti vytvořena osazení, do kterých jsou pružiny vloženy. Ke stírání profilu dochází vlivem síly kumulované ve stlačených pružinách a uvolňující se při jejich vratném pohybu. Pohyblivá čelist, resp. stěrač se tak vrací do své výchozí polohy a současně stírá i naděrovaný profil ze střížníku.

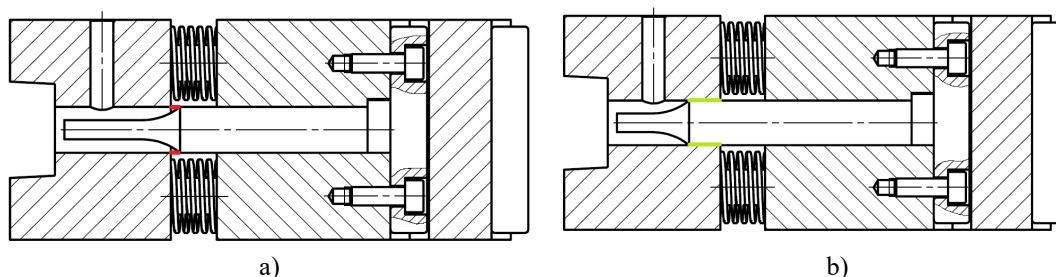


Obr. 23 Pracovní chod nástroje



Obr. 24 Vzdálenost mezi vodící kostkou a pohyblivou čelistí

Oba nástroje se tedy skládají ze tří hlavních částí, přičemž 2. a 3. část je vzájemně spojena pomocí 4 vodicích šroubů, na kterých jsou navlečeny pružiny a 3. část tak slouží jako stěrač materiálu, i když v každém případě se jedná o jiný důvod, ze kterého bylo k tomuto řešení stírání materiálu přistoupeno. V případě stříhadla je tato koncepce použita z důvodu umožnění stříhání materiálu o rozdílných tloušťkách, zatímco u děrovacího nástroje na ohýbačku je použita z důvodu nemožnosti montáže stacionárního stěrače (obr. 21 i 19). Dále si lze všimnout, že stěrač ve stříhadle má vlisované vodicí pouzdra pro střížníky, kterými jsou vedeny pouze jejich zúžené části. Ty jsou oproti střížníku v děrovacím nástroji delší a více náchylné na zlomení. Při konstrukci děrovacího nástroje bylo naopak přistoupeno k řešení, při kterém je střížník veden přes jeho větší průměr ve středovém vodicím otvoru a je zakončen kratší zúženou excentrickou částí, která je kvůli montáži pantů požadována. I přes tento speciální požadavek bylo při návrhu střížníku vycházeno z normy ISO 8020, typ B, která délky a průměry jednotlivých částí střížníku definuje. Toto rozhodnutí vedlo k zachování podstatné výhody, kterou vedení střížníku přes jeho větší průměr nabízí. Zmíněnou výhodou je myšlena větší univerzálnost nástroje. V normě ISO 8020, typ B je uvedeno, že stupňovitý střížník o větším průměru 10 mm může mít zakončení v rozsahu 4,0÷9,9 mm a vzhledem k tomu, že je nástroj veden přes větší průměr, nic nebrání výměně střížníku za normalizovaný stupňovitý střížník o jiném průměru zakončení. Avšak pozor, je nutné, aby střížník svým větším průměrem zasahoval do pohyblivé čelisti. Jedině tak bude zajištěno správné vedení střížníku. Tuto podmínku splňuje střížník o celkové délce 71 mm pouze od zúženého průměru 6,9 mm, u průměru (4÷6,9) mm by došlo k situaci, která je na obr. 25 a), což by mohlo vést ke kolizi. V takovém případě je tedy zapotřebí zakoupit střížník o celkové délce 80 mm a zkrátit jeho užší část tak, aby celková délka střížníku byla opět 71 mm a nevyčnívala tak v nezátíženém stavu ven z čelisti (obr 25 b)). Zkrácením střížníku nejenže dojde k zajištění funkčnosti, ale také ke zpevnění zúžené části střížníku. Ta se tak stane odolnější vůči zlomení. Druhým řešením je pak zhotovení střížníku na zakázku, což je vzhledem k požadavku excentrického děrování i řešením v tomto projektu.



Obr. 25 Pohled na děrovací nástroj v řezu s různými střížníky a zvýrazněnou vůlí, resp. přesahem

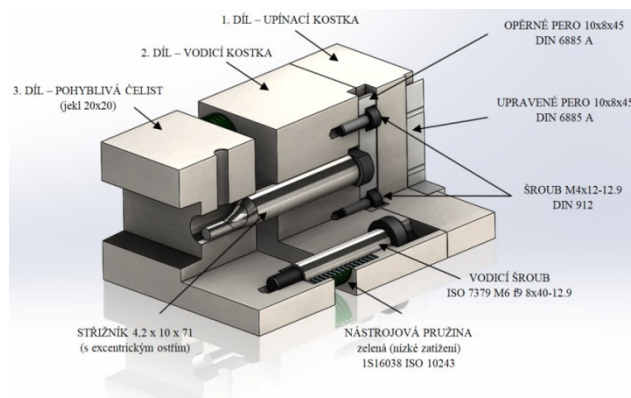
a) střížník 4x10x71 ISO 8020-B (vůle = nevyhovující)

b) zkrácený střížník 4x10x80 ISO 8020-B (přesah = vyhovující)

Další úpravou, kterou stěrač na děrovacím nástroji má, stříhadlo však nikoliv, je mazací otvor, kterým lze dopravit mazivo ke střížníku a ten se tak může snáze dostat z díry v materiálu. A také nelze opomenout rozdílný tvar stěračů. Zatímco na stříhadle je po většinou stříhaný materiál veden pomocí vodicích lišt (viz obr 19) a stěrač je plochý, na ohýbačce nic takového, jako jsou vodicí lišty instalovat nelze, a tak je vedení děrovaného profilu zajištěno právě pomocí čelistí, které mají tvar poloviny děrovaného profilu. Druhá

polovina je pak umístěna na druhé sestavě nástroje – kladce, která je na stroji umístěna v matici a má v případě děrování pouze vodící funkci.

Z obou schémat (obr. 20 a 22) se může zdát, že jejich popis a vzájemné porovnávání je u konce. Avšak nelze opomenout fakt, že oba obrázky se zaměřují pouze na první sestavu z kompletního nástroje. V případě stříhadla je druhá sestava nástroje vyobrazena na obr. 19. Konkrétně se jedná o střížnici a základovou desku s vodícími lištami, k nimž již samozřejmě v případě pružinového střížníku není připevněna vodící deska. Její funkci totiž zastává stěrač, který je součástí první, již popsané, sestavy. Střížnice obsažená v druhé sestavě nástroje má pak za úkol podepírat stříhaný materiál a její součástí je druhá střížná hrana. V případě děrovacího nástroje však tvoří druhou sestavu pouze již zmíněná kladka, která tvoří druhou část vedení, ale žádnou střížnou hranou již nedisponuje. Z toho vyplývá, že díry tvoří pouze střížník, který vniká do zevnitř nepodepřeného ocelového profilu, což má za následek zborcení materiálu v oblasti vytvořených děr. To však pro zamýšlenou aplikaci nástroje na děrování ocelového profilu pro nýty pantů není žádným velkým problémem, jelikož bude vzniklé zborcené místo vždy schováno pod plechem pantu a jediný problém, který tak reálně hrozí, je nutnost výměny doposud používaných nýtu o určité délce za nýty o několik milimetrů delší, aby bylo možné panty přinýtovat. To ale neznamená, že by se tento problém nedal vyřešit. Pokud by nebylo zborcení profilu akceptovatelné, bylo by možné vyjít z technologie děrování na děrovačkách, kde je použit pro podporu profilu zevnitř trn zakončený maticí se střížnou hranou (obr. 18). Tuto matici s trnem by nebyl problém do stroje uchytit místo ohýbacího trnu, který se používá pouze při ohýbání trubek kruhového průřezu, nikoliv u ohýbání profilů o čtvercovém průřezu, z kterých jsou rámy paravánů vyráběny. Důvodem, proč není součástí děrovacího nástroje i střížnice, není tedy nemožnost uchycení, ale nepotřebnost střížnice, která by celou konstrukci komplikovala. Její výroba by stála další peníze, její provoz by vyžadoval další péči a seřízení stroje tak, aby střížná hrana matrice byla naproti střížníku. Dále by se instalací střížnice značně zkomplikovalo vkládání profilů k děrování. A u čtyřmetrových polotovarů, ze kterých jsou rámy zhotovovány, je jejich nasouvání na trn téměř nemyslitelné. A není ani vyloučeno, že by nebylo nutné pro ohnutí profilu naděrovaný profil vytáhnout ze stroje, vyjmout matici s trnem, profil znovu do stroje upnout a teprve pak ohnout. Tím by se oproti vrtání doba výroby příliš neurychlila, spíše naopak a navíc by tím zanikla asi nejdůležitější výhoda, kterou děrování na ohýbačce přináší a tou je spojení dvou operací do jednoho stroje a výroba téměř celého rámu na jedno, u středového dílu na dvě, upnutí.



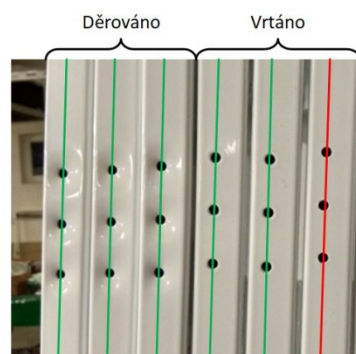
Obr. 26 3D model děrovacího nástroje v řezu

SHRNUTÍ

Děrování na ohýbačce je nepříliš používaná metoda na vyhotovování děr a její zařazení do výrobního procesu přináší řadu výhod.

Výhody:

- Sloučení dvou operací (děrování + ohýbání) do jednoho stroje
 - Krajový rám zhotoven na 1 upnutí, středový na 2
- Výrazná úspora času
- Téměř neměnná přesnost (obr. 27)
- Minimalizace chyby lidského faktoru



Obr. 27 Naděrované rámy
v porovnání s vrtanými

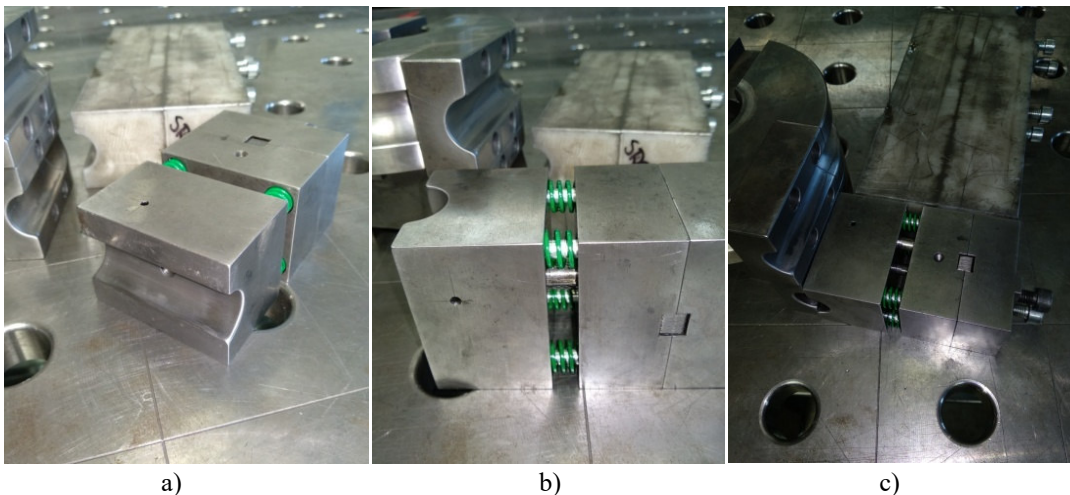
Ale bohužel i tato metoda, jako všechny ostatní, má i své slabé stránky, kvůli kterým se stává pro řadu podniků neefektivní či zcela nepoužitelnou.

Nevýhody:

- Nutnost vytvořit funkční program a nahrát jej do CNC stroje
- Střížník, jenž je u této metody nástrojem není tak běžný a je-li dokonce požadována jeho speciální konstrukce jako je v případě tohoto projektu, je ho nutné pokaždé nechat zhotovit na zakázku v nástrojárně, což je jak finančně, tak i časově náročnější, než zajít do obchodu a koupit vrták či jiný běžně prodávaný nástroj.
- Vznik výrazného zborcení materiálu v blízkosti děrovaných otvorů (obr. 27), které by mohlo být v některých případech neakceptovatelné a metoda děrování na ohýbačce by se tak neobešla bez vnitřní podpory (matrice), která by celý nástroj a péči o něj značně zkomplikovala.

3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH NÁSTROJE

Celý návrh byl inspirován již existujícím děrovacím nástrojem zachyceným na obr. 28, který již nějakou dobu úspěšně děruje ocelové trubky kruhového průřezu v jiné firmě a bylo by jej možné pořídit za částku 50 000,- Kč, což je částka vyšší, než kterou by byla ochotná firma AUDY s.r.o. za tento nástroj zaplatit a tak raději zvolila cestu investice do vývoje vlastní konstrukce.



Obr. 28 Inspirativní nástroj

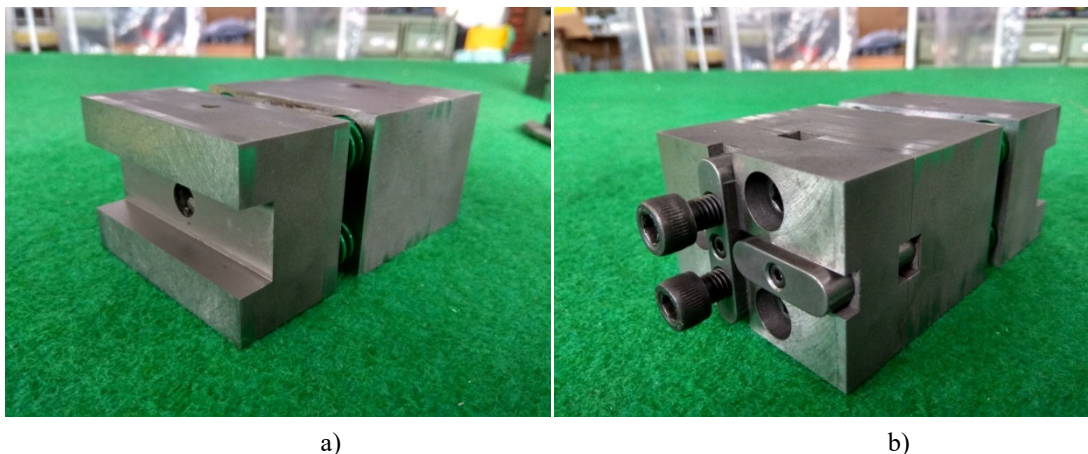
Základní parametry nástroje, jako jsou jeho výška, umístění drážek pro pera nebo pozice závitových děr pro upínací šrouby apod., byly předem pevně dány konstrukcí zásobníku čelistí a matrice, do nichž se nástroj upíná. Vzhledem k tomu, že způsob upnutí děrovacího nástroje se nijak neliší od způsobu upínání ohýbacích nástrojů, byly tyto hodnoty z velké části převzaty právě z již existujících ohýbacích nástrojů. A další parametry nástroje, jako je jeho šířka či délka, byly zvoleny tak, aby nebyly příliš vzdáleny od hodnot, kterých nabývá nástroj pro ohyb rámu, jenž bude na stroji instalován současně s děrovacím nástrojem a rám po děrování ohne. Zároveň je však nutné, aby nástroj obsahoval všechny potřebné komponenty umožňující děrování, což vzhledem k poměrně malým rozměrům nástroje není úplně snadné splnit. A i když snaha přiblížit se rozměrům ohýbacího nástroje, hlavně na délku, byla maximální, tak i přesto se daný záměr zcela nepodařilo splnit a bylo nutné nechat na ohýbací nástroj zhotovit delší upínací kostku, která ohýbací čelist více vysunula a vymezila tak chod děrovacího nástroje. Zároveň také zaručila bezproblémový sevření profilu a jeho následný ohyb po jeho naděrování, který by se zasunutou ohýbací čelistí nebylo možné uskutečnit.

Aby byl získán základní přehled o přibližných rozměrech a počtu potřebných komponent, byl nejdříve celý nástroj vymodelován v programu SolidEdge, jehož licenci měla firma AUDY s.r.o. v době návrhu zakoupenou. Proto i v této čtvrté části bakalářské práce zaměřené na samotnou konstrukci nástroje, proběhne nejdříve seznámení s jednotlivými komponentami, bez nichž by nástroj nefungoval a až poté bude přistoupeno k výpočtům, které celý nástroj kontrolují a zjišťují vzniklé síly při děrování.

Celý nástroj je složen ze dvou sestav, z nichž každá má několik dílů. Celkově byl nástroj konstruován tak, aby byl co nejjednodušší a to jak z hlediska výroby, tak i jeho kompletace a údržby. Dále je nutné podotknout, že níže popisované komponenty jsou finálními verzemi, kterým předcházelo několik rozměrových i tvarových úprav z počátečního konceptu nezohledňující výpočty.

3.1 3-DÍLNÁ ČELIST SE STŘIŽNÍKEM

Tato sestava se skládá ze tří ocelových kostek, střížníku a několika normalizovaných dílů. Celá sestava je namontována na otočné rameno ohýbačky a tvoří tak pohyblivou část nástroje.



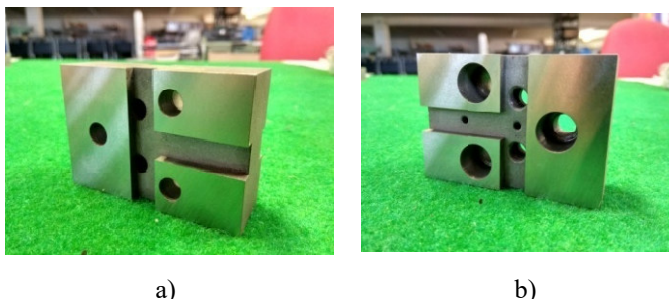
Obr. 29 3-dílná čelist se střížníkem (1. sestava nástroje)

3.1.1 1. DÍL – UPÍNACÍ KOSTKA

Materiál: W. Nr. 1.2842
(ČSN 19 312)

Rozměry: 22x48x70 mm

Polotovar: 27x52x74 mm



Obr. 30 1. díl – upínací kostka

Popis:

U tohoto dílu byla zvažována jeho nutnost, poněvadž čím méně dílů by nástroj měl, tím lépe. Jeho výrobní cena by byla nižší a montáž s údržbou jednodušší. Navíc se tento díl v první chvíli jevil jako nadbytečný a o jeho nezbytnosti nebyl pochyb až po vytvoření jeho 3D modelu v programu SolidEdge, který odhalil, že bez tohoto dílu nebude možné sestavu upnout do zásobníku kvůli upínacím šroubům M8, které by vycházely přesně do míst střížníku a tudíž by pro ně nebylo možné vyhotovit závitové díry. A tak se stal součástí nástroje i tento díl, jehož hlavní funkcí, jak už bylo řečeno, je upevnění celé sestavy (obr. 29) do zásobníku čelistí pomocí 2 šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem o velikosti M8. Za tímto účelem jsou do kostky vyhotoveny 2 díry se závitem M8. Další 3 průchozí díry se zapuštěním pro šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem velikosti M8 se zde nacházejí kvůli šroubům spojovacím 1. díl s 2. dílem. Další funkcí, kterou tento díl plní je fixace správné polohy nástroje v zásobníku, aby nástroj pracoval přesně a aby nedošlo ke kolizi. Za tímto účelem

jsou do kostky vyfrézovány drážky pro pera. Do těchto drážek jsou umístěny 2 upravená těsná pera, která požadovanou polohu vymezují tím, že jedno pero znemožňuje vertikální pohyb a jedno pero znemožňuje horizontální pohyb nástroje. Fixace správné polohy je však za potřeby i mezi jednotlivými díly, a tak jsou drážky pro pera vyfrézovány i na protější straně kostky.

Výroba:

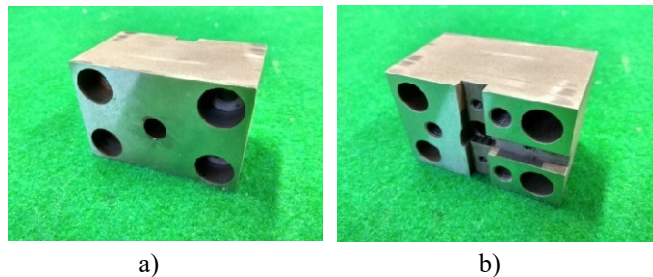
Polotovár byl nejdříve upnut do 5-ti osého obráběcího centra Haas VF 4 SS, kde byl obroben na požadovaný rozměr s přídávkem na dosedací ploše kostky pro broušení po kalení. Následně byly vyhotoveny drážky pro pera, všechny díry s osazením i s tvářenými závit. Poté byl obrobek ve svěráku otočen za účelem obrobení druhé strany kostky na požadovaný rozměr s přídávkem na dosedací ploše, kde byly opět vyhotoveny drážky pro pera. Poté byl obrobek ze stroje vyjmut a zakalen. Po zakalení byly dosedací plochy přebroušeny a zbroušeny byly také případné větší nerovnosti vzniklé pnutím v materiálu při kalení na ostatních plochách kostky.

3.1.2 2. DÍL – VODICÍ KOSTKA

Materiál: W. Nr. 1.2842
(ČSN 19 312)

Rozměry: 42x48x70 mm

Polotovár: 47x52x74 mm



Obr. 31 2. díl – vodicí kostka

Popis:

2. díl nástroje je podstatně komplikovanější, než 1. díl a celkově se dá říci, že se jedná o nejkomplicovanější součást celého nástroje. O její nezbytnosti bylo jasno už od samého začátku. Jedná se o ocelovou kostku, jejíž poloha vůči 1. dílu je opět vymezena pomocí upravených těsných per umístěných ve vyfrézovaných drážkách na jedné ze stran kostky, přičemž jedno pero zároveň slouží i jako opěrka pro střižník. V kostce se dále nachází několik průchozích děr. Středová je určena pro vsazení střižníku a její osazení ve tvaru D slouží k zafixování střižníku ve správné pracovní poloze, které je nutné kvůli jeho excentricitě. Další čtyři průchozí díry se nacházejí v rozích kostky a jsou určeny pro vodicí šrouby. Z toho důvodu musí být velice přesně vyrobeny, jinak hrozí vychýlený chod nástroje, což by vedlo ke zhoršené přesnosti děrování a v mezním případě k ulomení střižníku. Z obr. 31 si lze všimnout, že tyto díry mají oboustranné velmi hluboké zapuštění. Zapuštění z první strany (obr. 31 a)) je určené pro vložení nástrojových pružin, přičemž dno zapuštění slouží jako dosedací plocha pružiny a zapuštění z druhé strany (obr. 31 b)) slouží jako vodicí otvor pro hlavu vodicího šroubu. I když tyto dva úseky vyžadují také určitou přesnost, rozhodně ne tak vysokou jako vyžaduje úsek nacházející se mezi nimi. Ten slouží k vedení hlazené a velmi přesné části vodicího šroubu a zásadně tedy ovlivňuje chod celého nástroje.

Výroba:

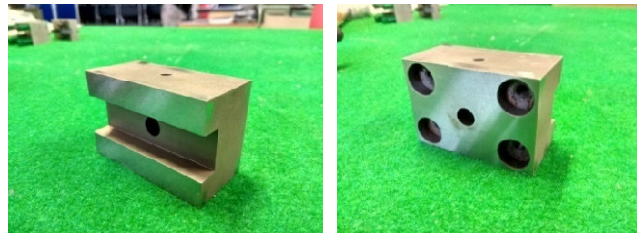
Výroba tohoto dílu byla provedena obdobně jako u 1. dílu. Jediným výrazným rozdílem byla výroba vodicích otvorů pro vodicí šrouby a pro střížník, které byly dokončovány až po zakalení elektroerozivním obráběním na drátovačce. K tomuto kroku bylo přistoupeno z toho důvodu, aby byly vodicí otvory co nejpřesnější, čehož by před zakalením součásti nebylo možno dosáhnout, protože kalením v materiálu vzniká značné pnutí, které součást deformuje. A elektroerozivní metoda zajistí velmi dobrou přesnost i při obrábění tvrdých součástí po zakalení.

3.1.3 3. DÍL – POHYBLIVÁ ČELIST

Materiál: W. Nr. 1.2842
(ČSN 19 312)

Rozměry: 35x48x70 mm

Polotovar: 40x52x74 mm



a)

b)

Obr. 32 3. díl – pohyblivá čelist (jekl 20x20)

Popis:

Jedná se o část nástroje, v níž je ukryto ostří střížníku. Čelist může po překonání sil vyvozených od pružin konat vůči zbytku nástroje translační pohyb, čímž dojde k odkrytí ostří střížníku a vytvoření otvoru v materiálu sevřeném mezi čelistmi.

Dále tento díl slouží jako stěrač děrovaného materiálu ze střížníku. U stírání je využito sil kumulovaných ve čtyřech stlačených pružinách mezi 2. a 3. dílem nástroje.

Pro pružiny jsou v rozích vyfrézovány zapuštění, aby nedošlo při provozu k jejich vybočení. Na jejich dno pak pružiny dosedají a uprostřed jsou vyhotoveny tvářené závity pro vodicí šrouby, přes které je 3. díl pohyblivě spojen se zbytkem nástroje.

Prostřední otvor je opět určen pro střížník a jeho vedení. Jenže oproti 2. dílu se 3. díl vůči střížníku pohybuje a z toho důvodu je ze shora vyhotoven ještě jeden otvor, sloužící pro ruční mazání střížníku. Přivedené mazivo snižuje tření mezi pohybující se čelistí a střížníkem a také mezi střížníkem a zhotovovanou dírou. To má za následek snazší vyproštění střížníku z tvářeného materiálu. Ovšem je potřeba dávat pozor, aby se mazivo nedostalo do čelistí pro ohýbání. Mohlo by to vést k prokluzu materiálu ve svěráku, což je nežádoucí.

Výroba:

Při výrobě 3. dílu bylo stejně jako v předchozích dvou případech použito obráběcí centrum Haas VF 4SS, ve kterém byly do polotovaru vyhotoveny díry s tvářenými závity a osazením. Polotovar zde také dosáhl požadovaných rozměrů s přídavky na broušení. Po zakalení a broušení tento díl, stejně jako 2. díl, zamířil na drátovačku, kde byl drátem vyjiskřen vodicí otvor pro střížník společně s vybráním pro děrovaný profil.

3.1.4 OBECNÉ INFORMACE O ČELISTECH

K úchopu materiálu dochází mezi dvěma čelistmi, přičemž pro každou operaci jsou na ně kladeny jiné požadavky. Zatímco u čelistí na ohýbání je poměr zahloubení pro profil 1:2 s hlubší pohyblivou čelistí, u čelistí na děrování je poměr 1:1. Jedná se tedy o shodné vybrání obou čelistí.

Čelisti obsahují několik technologických prvků, které je nutné dodržet. Mezi nimi jsou třístupňové úkopy spodní a horní plochy vybrání. Ty zaručují správné usazení tvářeného materiálu mezi čelisti. Dalším technologickým prvkem, který dělá nástroj funkčním, je rozměrově menší zahloubení, než je šířka tvářeného profilu. To znamená, že pokud by došlo k sečtení zahloubení na obou čelistech svěráku, byla by tato hodnota přibližně o 1 mm nižší, než jakou hodnotu by se dalo odečíst při změření šířky tvářeného profilu. A tento technologický prvek je, jak u ohýbacích, tak děrovacích čelistí, protože zaručuje upnutí materiálu před samotným ohýbáním či děrováním a také zamezuje vzájemnému otláčování čelistí.

3.1.5 STŘIŽNÍK

Materiál: W. Nr. 1.2842
(ČSN 19 312)

Rozměry: Ø13–71 mm

Polotovar: Ø16–100 mm



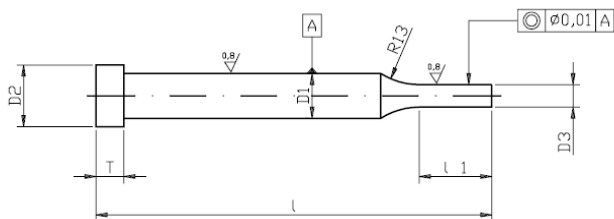
a)

b)

Obr. 33 Excentrický střížník s rovným ostřím

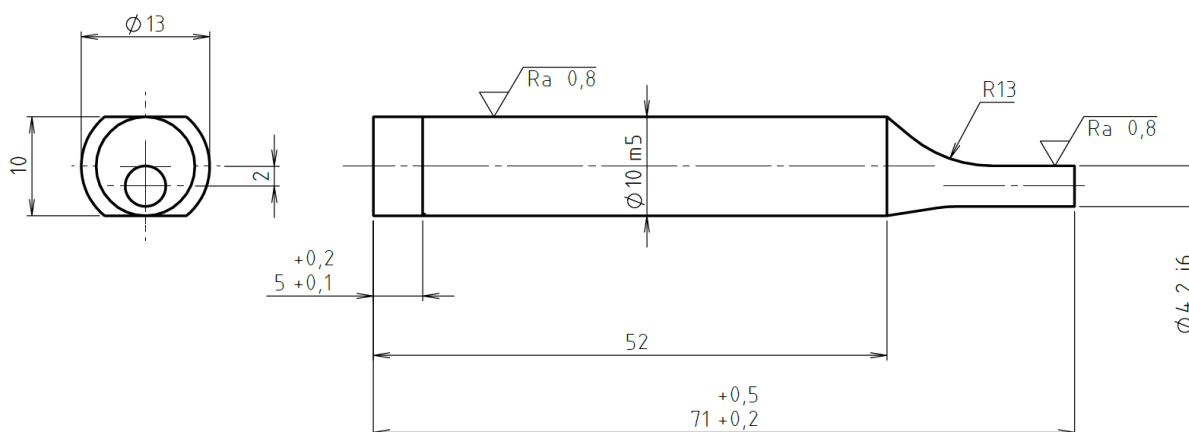
Popis:

Ačkoliv jsou střížníky normalizované součásti, které lze nalézt v normě ISO 8020, musela být i tato součást zadána na výrobu do nástrojárny. Důvodem je požadované excentrické děrování, které vyžaduje speciální konstrukci střížníku. Protože je však při návrhu nástroje myšleno i na univerzálnost nástroje a na možnost budoucího rozšíření využití i na jiné výrobky, u kterých je zapotřebí vyhotovovat díry a to i větších průměrů, než jsou díry pro nůty, bylo při návrhu střížníku rozměrově vycházeno z normy pro přesné střížníky ISO 8020, typ B. Konkrétně pak ze střížníku s rozměrovým rozsahem průměrů 4,0–9,9 mm pro jednotný větší průměr nástroje 10 mm. Konstrukce střížníku podle normy zajistí zaměnitelnost nenormalizovaného střížníku za střížník normalizovaný bez jakékoliv úpravy nástroje s výjimkou střížníku, na jehož hlavě bude nutné vybrousit plošku (pro aretaci), aby bylo možné normalizovaný střížník vložit do těla vodící kostky. Rozměrovou shodnost nástroje si lze ověřit z obrázků 34 a 35. Z nich je také patrné, že nenormalizovaný střížník se od normalizovaného liší pouze vyosením zúžené části střížníku o požadované 2 mm a vybroušenými ploškami na hlavě střížníku, sloužící k aretaci jeho pracovní polohy. 1. a 2. typ střížníku se pak ještě liší tvarem ostří (obr. 37), který snižuje sílu v průběhu stříhu a je tak dosaženo hladšího chodu.



| D ₃ j6 | Stufung d ₁ | D ₂ 0 - 0,15 | D ₁ m5 | T + 0,2 + 0,1 | l ₁ + 0,5 0 | l + 0,5 + 0,2 | | | | |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|----|----|----|-----|
| | | | | | | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 |
| 0,8 bis 2,9 | 0,1 | 5 | 3 | 3 | 10 | • | • | • | | |
| 1,0 bis 3,9 | | 6 | 4 | | | • | • | • | | |
| 1,2 bis 4,9 | | 8 | 5 | | | • | • | • | | |
| 1,6 bis 5,9 | | 9 | 6 | 5 | 13 | • | • | • | • | • |
| 2,5 bis 7,9 | | 11 | 8 | | | • | • | • | • | • |
| 4,0 bis 9,9 | | 13 | 10 | | | • | • | • | • | • |
| 5,0 bis 12,9 | | 16 | 13 | | | • | • | • | • | • |
| 8,0 bis 15,9 | 19 | 16 | 17 | 17 | • | • | • | • | • | |
| 12,0 bis 19,5 | 24 | 20 | | | | | • | • | • | |
| 16,5 bis 24,5 | 29 | 25 | | | | | • | • | • | |

Obr. 34 Střížník podle normy ISO 8020, typ B [18; str. 75]



Obr. 35 Navržený excentrický střížník (3. typ - rovné ostří)

Výroba:

Střížník byl téměř kompletně vyroben na univerzálním soustruhu. Při soustružení většího průměru střížníku byl obrobek upnut za hlavu střížníku ve sklíčidle a při soustružení excentrické zúžené části byl obrobek upnut excentricky (v ose zúžené části) mezi hroty. Středící důlky jsou patrné z obr. 36 a). Samotné ostří nástroje vzniklo až po zakalení a přebroušení, přičemž k jeho vytvoření byla použita elektroerozivní drátovačka, jež umožňuje zhotovit libovolný tvar ostří. Výsledek si lze prohlédnout, jak na obr. 36 a), tak na obr. 36 b), kde je lépe vidět tvar 1. typu ostří, který se později neosvědčil kvůli své krátké životnosti a byl nahrazen dalšími dvěma typy. Výroba 2. typu ostří (obr. 37) je shodná s výrobou 1. typu (obr. 36) a 3. typ (obr. 37) kvůli jednoduchému rovnému ostří ke své výrobě nepotřebuje drátovačku a dá se kompletně vyrobít na soustruhu, což jeho výrobu usnadňuje a zlevňuje.



a)

b)

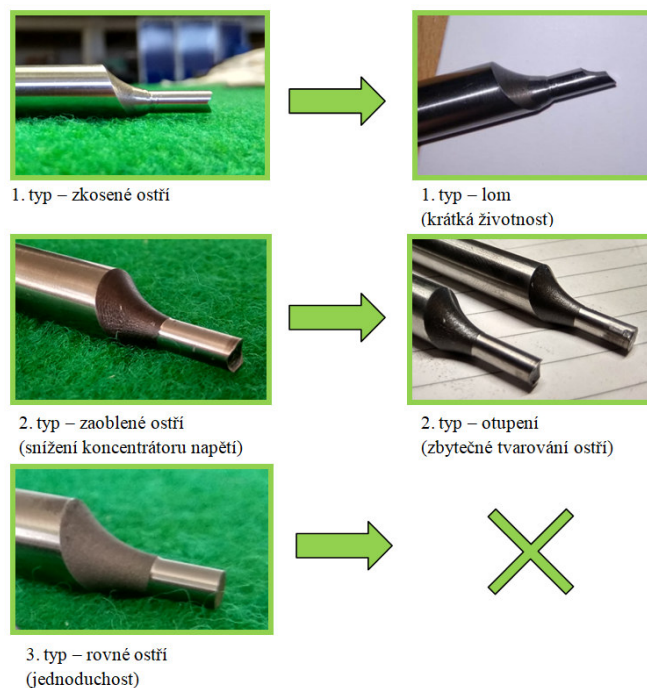
Obr. 36 Navržený excentrický střížník (1. typ) _výroba:

- a) excentricity (pohled na středící důlky)
- b) ostří (pohled na tvar ostří)

Vývoj ostří:

Během několika měsíců došlo kvůli různým důvodům k obměně typu ostří. Prvním použitým ostřím bylo zkosené ostří, které však příliš dlouho nevydrželo a došlo k jeho lomu. Po tomto ne příliš úspěšném tvarování bylo použito ostří zaoblené, které vydrželo o mnoho déle, než jeho předchůdce a i přes jeho otupení děroval materiál bez problémů. Zjištění, že střížník je schopen děrovat i s rovným ostřím, aniž by došlo ke zhoršení kvality děr, vedlo k přechodu na 3. a zatím poslední typ ostří, které je zcela rovné a jeho výroba je tak podstatně jednodušší (při výrobě odpadá elektroerozivní drátovačka) a jeho funkce je zcela plnohodnotná. Jen při děrování vznikají větší síly, čehož si lze všimnout ve výpočtech.

Všechny typy použitých ostří jsou na obr. 37.



Obr. 37 Vývoj postupných změn použitého ostří

3.1.6 NORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI

Mimo díly vyrobené v nástrojárně na zakázku obsahuje děrovací nástroj i mnoho normalizovaných součástí, které byly na nástroj zakoupeny v různých obchodech.

Jedná se o:

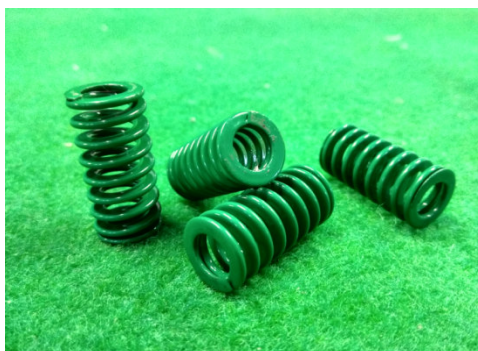
Šroub lícovaný s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem ISO 7379 M6 f9 8x40-12.9 - bez úpravy



Obr. 38 Šrouby lícované s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem ISO 7379 M6 f9 8x40-12.9

Nástrojová pružina ISO 10243 (č. 1S16038)

Zelená barva (ozn. 1S) značí, že se jedná o pružinu pro nízké zatížení. Další údaje, které lze s č. 1S16038, pod kterým je pružina u výrobce Alcomex Spring Works, s.r.o., vyčíst je vnější průměr (16 mm) a délka pružiny ve volném stavu (38 mm).



Obr. 39 Nástrojové pružiny ISO 10243 (č. 1S16038)

Další barvy a zatížení pružin, které by bylo možné v nástroji použít za účelem snížení nebo naopak navýšení stírací síly:

| Barva pružiny | Zatížení |
|---------------|-------------------------|
| fialová | velice nízké zatížení |
| zelená | nízké zatížení |
| modrá | střední zatížení |
| červená | středně vysoké zatížení |
| žlutá | vysoké zatížení |
| hnědá | velice vysoké zatížení |

Tab. 1 Barevné značení nástrojových pružin a jejich síly [19; str. 63]

3.2 KLADKA NA DĚROVÁNÍ

Tato sestava se skládá z ocelové kladky, čelisti a 4 normalizovaných šroubů. Celá sestava je instalována do matrice stroje, která je soustředná s osou rotace ramene ohýbačky a tvoří tak pevnou čelist svěráku. Poloha kladky v matrici je vymezena ocelovými tělisky, která znemožňují pootočení. Všechny kladky s případnými vymezovacími podložkami jsou shora staženy maticí namontovanou na závit nacházející se v horní části matrice.



Obr. 42 Kladka na děrování (2. sestava nástroje)

3.2.1 KLADKA

Materiál: W. Nr. 1.2842
(ČSN 19 312)

Rozměry: Ø112-50 mm

Polotovar: Ø120-55 mm



Obr. 43 Kladka

Popis:

Kladka slouží k uchycení pevné čelisti děrovacího nástroje a na rozdíl od ohýbacích kladek nedisponuje profilovou drážkou na jejím vnějším průměru. Její výroba je tak podstatně snazší a levnější.

Výroba:

První práce na kladce byly odvedeny na soustruhu, kde byla obrobena na požadovaný rozměr. Na drátovačce pak byly vyhotoveny tvarové prvky kladky, jako jsou ustavující drážky, vybrání pro čelist a průchozí otvor pro trn matrice. Nakonec byly v obráběcím centru zhotoveny tvářené závity.

3.2.2 PEVNÁ ČELIST SVĚRÁKU

Materiál: W. Nr. 1.2842
(ČSN 19 312)

Rozměry: 25,3x48x70 mm

Polotovár: 30x52x74 mm



a)
b)
Obr. 44 Pevná čelist svěráku

Popis:

Pevná čelist nástroje je přišroubována ke kladce čtyřmi šrouby a tvoří 2. čelist nástroje, která se nachází proti pohyblivé čelisti a slouží ke správnému ustavení profilu pro děrování. Správná pozice profilu je zajištěna drážkou v čelisti odpovídající tvaru profilu.

Výroba:

Stejně jako u většiny dílů bylo pro výrobu pevné čelisti použito obráběcí centrum Haas VF 4SS, ve kterém byla odvedena velká část práce. Polotovár zde dosáhl požadovaných rozměrů s přídavky na broušení a byly do něj vyhotoveny díry se zapuštěním pro šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, které čelist spojují s kladkou. Po zakalení a broušení byla na drátovače udělána drážka pro profil 20x20, pro který je nástroj určený.

4 POUŽITÉ TECHNOLOGIE NA ZHOTOVENÍ NÁSTROJE

Nástroj byl zadán na výrobu do nástrojárny pana Holešovského, který vlastní mimo klasických strojů i stroje ne příliš obvyklé jako je elektroerozivní drátová řezačka či hloubička, které mu umožňují vykonat naprosto precizní práci.

Nástrojárna Holešovský s.r.o. je česká soukromá firma založená v roce 2011, která je nástupnickou organizací firmy Holešovský Jan Ing., provozující nástrojařství jako fyzická osoba od roku 1995. [20]

4.1 OBRÁBĚCÍ CENTRUM HAAS VF 4SS

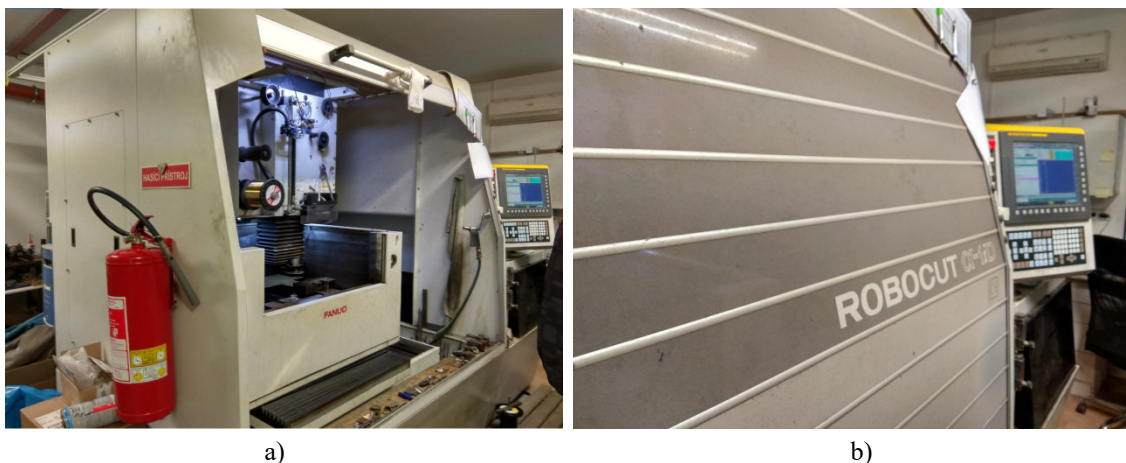
Většina výrobních operací byla uskutečněna v tomto obráběcím centru vyobrazeném na obr. 45.



Obr. 45 Obráběcí centrum HAAS VF 4SS

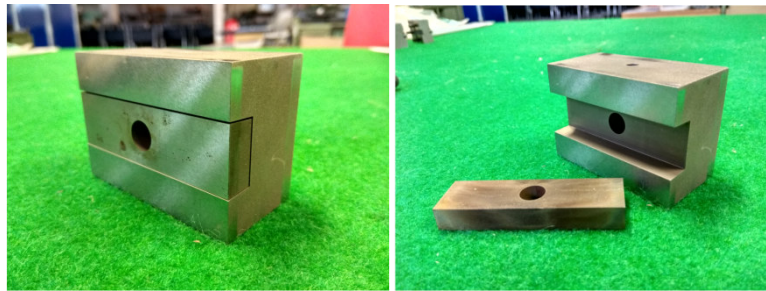
4.2 ELEKTROEROZIVNÍ DRÁTOVÁ ŘEZAČKA FANUC ROBOCUT α -1iD

Přesné vodící otvory a drážky čelistí byly zhotoveny velmi přesnou nekonvenční metodou na stroji, který je na obr. 46 a výsledek jeho práci lze vidět jak na obr. 47 a) i b), tak i na obr. 36 a) i b).



Obr. 46 Elektroerozivní drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -1iD

- a) otevřená
- b) zavřená



a)

b)

Obr. 47 Výsledek práce elektroerozivní drátové řezačky FANUC ROBOCUT α -liD
(po 4 cyklech => drátek je 8x tenčí, než je horní mezera)

4.3 UNIVERZÁLNÍ SOUSTRUH

Rotační součásti nástrojárna vysoustružila na klasickém univerzálním soustruhu.



Obr. 48 Univerzální soustruh

5 VÝPOČTY

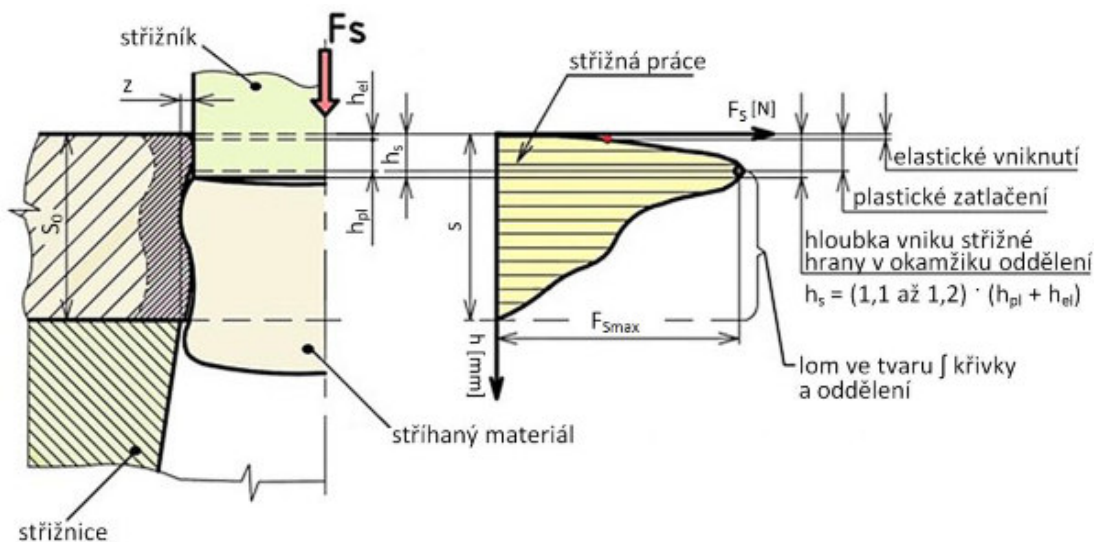
V této kapitole bude ověřeno, zdali jsou všechny komponenty navrženy správně a nedojde tak k poškození některé z nich. A také budou zjištěny důležité veličiny, které jsou s procesem děrování, resp. stříhání bez střížnice, pevně spjaty. Jedná se zejména o síly, které během procesu vznikají a je nutné je znát, aby bylo možné ověřit, zdali stroj, na který je nástroj konstruován, je vůbec operace typu děrování schopen.

5.1 TEORETICKÁ ČÁST

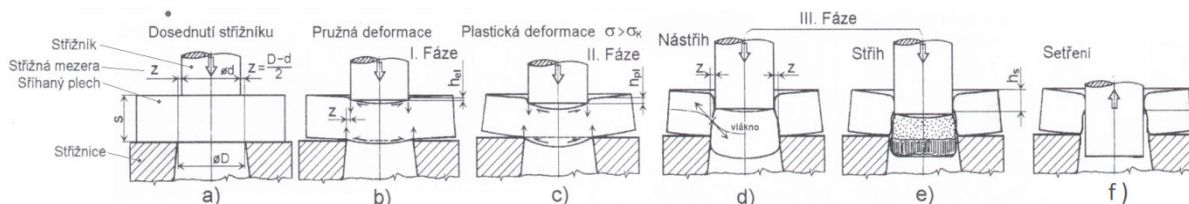
Jak už bylo uvedeno v kapitole 2.5.2, metoda děrování na ohýbačce vychází z klasického stříhání a tak i provedené výpočty budou vycházet ze vzorců, které jsou používány ve spojitosti se stříháním. A tato kapitola slouží pro lepší pochopení jednotlivých kroků ve výpočtu.

5.1.1 PRŮBĚH STŘÍHÁNÍ

Stříhání se skládá celkem ze tří fází, které lze spatřit na následujících dvou obrázcích. Na obr. 49 jsou všechny tři fáze včetně jednotlivých hloubek vniku střížníku do materiálu, při kterém vznikají, zachyceny do jednoho obrázku a v pravé části obrázku je i názorně vykreslen průběh síly během procesu stříhání. A obr. 50 je zaměřen na jednotlivé fáze, které při stříhu vznikají, a poskytuje lepší představu o chování materiálu při jednotlivých fázích.



Obr. 49 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [21]



Obr. 50 Fáze stříhu [21]

I. fáze - pružná (elastická) deformace (obr. 50 b))

První fáze stříhu je započata dosednutím střížníku (obr. 50 a)) na povrch stříhaného materiálu. Střížník dále pokračuje do materiálu, který se pružně deformuje (stlačuje, ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice) a to až do hloubky $h_{el}=(5\div 8\%)s$ v závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Při této fázi dochází také k nežádoucímu ohybu materiálu. [21]

II. fáze - plastická deformace (obr. 50 c))

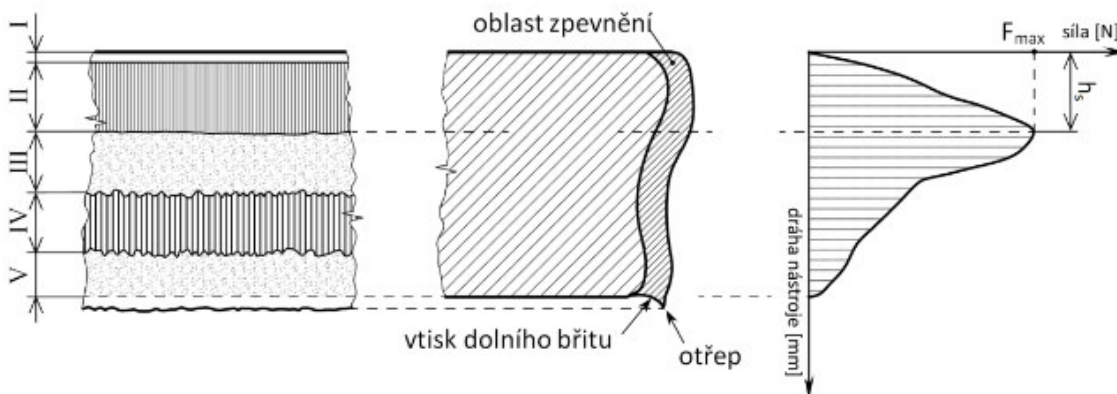
Střížník postupuje dále do materiálu, čímž vyvodí napětí v materiálu přesahující mez kluzu a na střížných hranách se blíží mezi pevnosti. V materiálu tak dochází k trvalým plastickým deformacím. [13] Opět v závislosti na mechanických vlastnostech tvářeného kovu je hloubka plastického vniknutí $h_{pl}=(10\div 25\%)s$. [21]

III. fáze - plastická deformace (obr. 50 d) a e))

Ve třetí fázi je překročena hodnota meze napětí ve smyku τ_s . Na střížných hranách začínají vznikat trhlinky, které se materiálem rychle šíří (obr. 50 d)) až dojde k jeho uštížení (obr. 50 e)). [13]

Celý stříh je zakončen setřením materiálu ze střížníku (obr. 50 f)), který se vrací do své výchozí polohy, aby byl připraven na další stříh.

5.1.2 VZHLED STŘIŽNÉ PLOCHY



Obr. 51 Vzhled střížné plochy [21]

Oblast I: pásmo pružné deformace (zeslabení)

Vzniká při vnikání střížníku do materiálu. [22]

Oblast II: pásmo plastické deformace

Jedná se o hladkou a lesklou část střížné plochy vytvořenou plastickou deformací-plastickým stříhem. [22]

Oblast III a V: pásmo lomu

Probíhá samovolné oddělování stříhané části pod smykovým napětím. [22]

Oblast IV: pásmo otěru

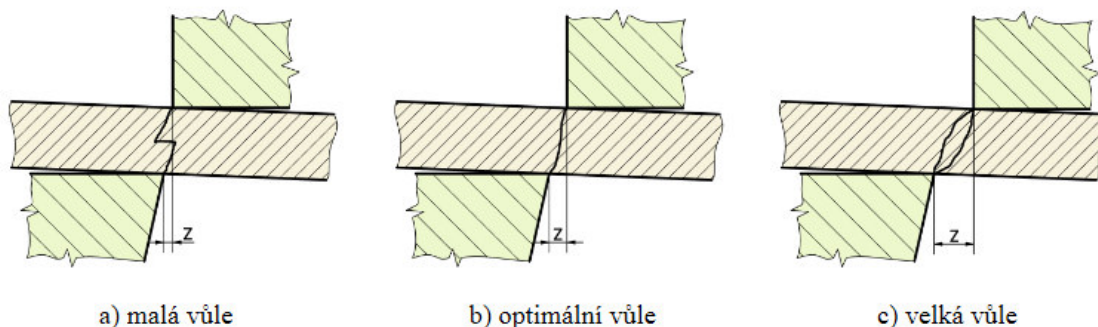
Vzniká při vzájemném tření částí pásma lomu základního materiálu a výstřížku. [21]

h_s : hloubka vniku střížné hrany nástroje do materiálu v okamžiku oddělení

Zde se nabízí zopakovat skutečnost, že při děrování na ohýbačce nebude použita střížnice, která stříhaný materiál podepírá a tudíž se při této metodě více projeví nežádoucí ohyb děrovaného materiálu, který vzniká při I. fázi. Výrazně se tak prodlouží pracovní dráha střížníku. Ta končí dosažením určité hloubky vniknutí střížníku h_s , jejíž hodnota se mění v závislosti na typu stříhaného materiálu, avšak nejpozději při vniknutí střížníku do hloubky $h_s = 60\%$ tloušťky stříhaného materiálu, kdy se jedná o skutečně velmi měkký a houževnatý materiál. U tvrdého a křehkého materiálů pak střížníku stačí k ustřížení materiálu vniknout do hloubky $h_s = 10\%$ tloušťky stříhaného materiálu. [21]

5.1.3 STŘIŽNÁ VŮLE

Jeden z hlavních a nejdůležitějších parametrů při stříhání. Velikost střížné vůle ovlivňuje zásadním způsobem průběh celého procesu a také je určující pro jakost střížné plochy. Jednotlivé vůle a tvar střížné plochy v různých případech zobrazuje obr. 52. Z něj je patrné, že jedině při nastavení optimální vůle dojde k plynulému napojení šířících se trhlin od hran střížníku a střížnice. V ostatních případech k napojení dojde, buď velmi ostře (malá vůle), nebo k propojení vůbec nedojde a obě trhliny se šíří přes celou šířku materiálu, což má negativní dopad na řadu aspektů, jako je rozměrová přesnost výstřížku, jakost stříhu, potřebná síla stříhu životnost nástroje a další neméně důležité aspekty ovlivňující celý proces stříhání.



Obr. 52 Vliv velikosti střížné vůle na kvalitu stříhu [23]

Jelikož se střížnou vůlí rozumí vůle mezi střížníkem a střížnicí, je jasné, že v případě děrování na ohýbačce nebude možné tento parametr určit z důvodu absence střížnice při této metodě. V případě, že by se časem do stroje přeci jen střížnice (matrice) instalovala, je nutné střížnou vůli zjistit. Lze tak učinit dvěma způsoby. Buď pomocí jednoduchého vztahu (0.2), nebo pomocí tabulky (tab. 2). Dále je nutné znát vztah:

$$v = 2 \cdot z \quad (0.1)$$

, kde: v [mm] Střížná vůle
 z [mm] Velikost střížné mezery

$$v = (6 \div 10\%) \cdot s \quad (0.2)$$

, kde: v [mm] Střížná vůle
 s [mm] Tloušťka stříhaného materiálu

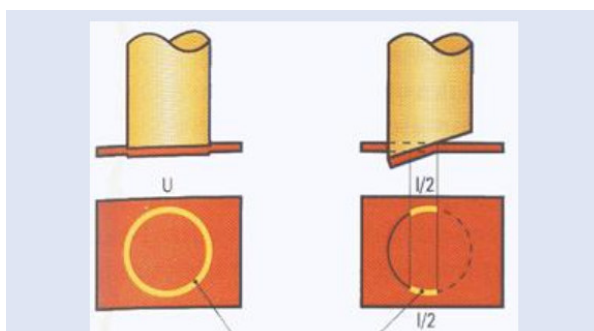
| Druh materiálu | Střížná vůle v % t | |
|-------------------------|--------------------|-------------|
| | do 2,5 mm | 2,5 až 6 mm |
| Ocel měkká | 5 | 7 až 8 |
| Ocel středně tvrdá | 6 | 6 až 8 |
| Ocel tvrdá | 7 až 9 | 7 až 10 |
| Hliník | 4 až 7 | 5 až 9 |
| Dural | 7 až 8 | 7 až 10 |
| Měď měkká | 4 až 5 | 5 až 6 |
| Měď polotvrdá a tvrdá | 6 až 7 | 6 až 7 |
| Mosaz měkká | 4 až 5 | 4 až 6 |
| Mosaz polotvrdá a tvrdá | 5 až 6 | 5 až 7 |
| Papír, lepenka | 2 až 3 | 3 |
| Fibr, textil | 2 až 4 | - |

Tab. 2 Tabulka pro určení střížné vůle [24]

5.1.4 STŘIŽNÁ SÍLA

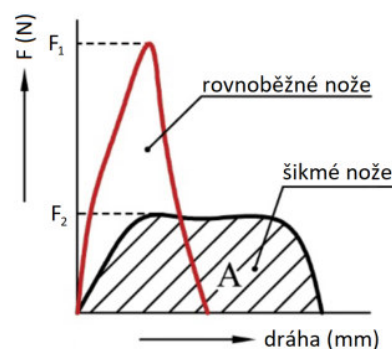
Další velmi důležitou veličinou, bez které se návrh děrovacího nástroje neobejde, je střížná síla. Znalostí této veličiny zamezíme nepříjemnému zjištění při testování nástroje, při kterém by se mohlo stát, že stroj, na který je nástroj navržen, nebude schopen operaci, jako je děrování, vykonat, kvůli nedostatku síly.

Volbou vhodně tvarovaného ostří střížníku se dá velikost střížné síly značně ovlivnit. Zkosení na střížníku zajistí, že střížník bude do materiálu vnikat postupně a ne rázovitě, jak je tomu v případě rovného ostří. Vzhledem k tomu, že střížník do materiálu vniká postupně, tak nikdy není v kontaktu příliš velká střížná plocha, jako například u rovného ostří (obr. 53). Na proděravění materiálu tak stačí menší síla. Celý průběh střížné síly a práce střížníku se šikmým ostřím, včetně porovnání střížné síly a práce střížníku s rovným ostřím je zaznamenán na obr. 54.

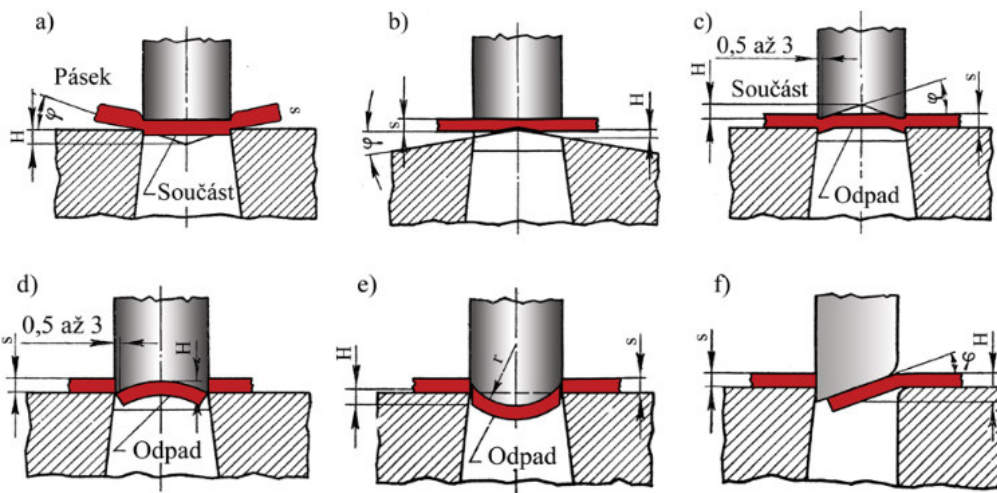


Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži

Obr. 53 Délky stříhu [13]



Obr. 54 Porovnání průběhu střížné síly F a střížné práce A [13]



Obr. 55 Různé druhy zkosení břitů střížníků a střížnic [25]

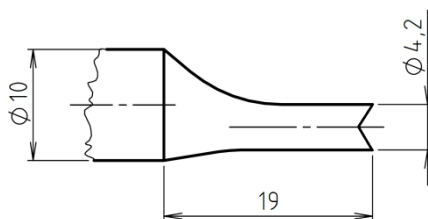
- a), b) pro vystřihování
- c), d), e) pro děrování
- f) pro nastřihování

5.2 POČÍTANÉ PŘÍPADY

Každý parametr bude spočítán pro 3 případy.

1. případ: Střížník s oboustranně šikmým ostřím (obr. 56)

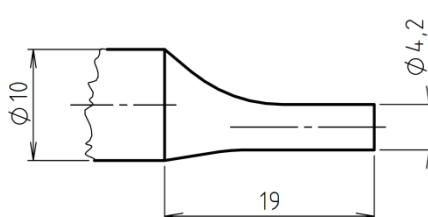
Vlastnost střížníku se šikmým ostřím koncentrovat sílu na malou plochu má za následek nejen snížení střížné síly, ale také podobu vzorce pro výpočet střížné (děrovací) síly. Pro případ šikmého ostří ve vzorci figuruje pouze tloušťka děrovaného materiálu t , střížný odpor τ_s a tangens úhlu sklonu břitu střížníku γ , z čehož vyplývá, že tento výpočet bude platný pro **jakýkoliv průměr díry**. To je způsobeno velmi malou plochou okamžitého záběru ostří, která zůstává u všech průměrů střížníku stejná.



Obr. 56 Oboustranně zkosený břit střížníku

2. případ: Střížník s rovným ostřím a průměrem pro nýty (obr. 57)

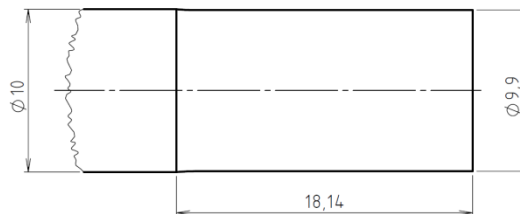
Tato varianta je počítána pro případ, že by byl použit střížník s rovným ostřím, popřípadě to lze brát jako kontrolu, že by byl nástroj schopen děrovat i při značném otupení šikmého ostří. Tento případ bude počítán s průměrem otvorů pro nýty pantů, tj. **d=4,2 mm**



Obr. 57 Rovné ostří střížníku s průměrem pro děrování rámu

3. případ: Strážník $d_{\max} \times 10 \times 71$ ISO 8020 – B s rovným ostřím a maximálním průměrem (obr. 58)

Tato varianta je počítána pro nejnepříznivější případ, který by teoreticky mohl při provozu nastat, kdyby se nástroj osvědčil natolik, že by s ním byly vyhotovovány i otvory pomocí strážníku ISO 8020 – B s největším průměrem d_{\max} , který strážník $d_{\max} \times 10 \times 71$ dovoluje a lze jej tedy do nástroje ještě vložit, tj. $d_{\max} = D = 9,9$ mm.



Obr. 58 Rovné ostří strážníku ISO 8020 – B s maximálním možným průměrem

5.3 ZNÁMÉ PARAMETRY

Nástroj je konstruován na děrování ocelových rámců čtvercového průřezu $20 \times 20 \times 1,5$ mm z materiálu E235+CR1, z čehož plynou některé základní parametry, které jsou nezbytné pro další výpočet.

t [mm] tloušťka stříhaného (děrovaného) materiálu

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

Stříhání je jedinou tvářecí operací, která směřuje k žádoucímu porušení materiálu, což se při výpočtu tvářecích sil projeví tím, že místo meze kluzu se bude počítat s mezí pevnosti. [13]



Obr. 59 Polotovary na výrobu rámců s údaji ze štítku

R_m [MPa] Mez pevnosti materiálu ve smyku (pro E235+CR1) [26]

$$R_m = 390 \text{ MPa}$$

5.4 TEORETICKÁ DĚROVACÍ SÍLA

1. případ:

$$F_{dtš} = n \cdot t^2 \cdot \frac{\tau_s}{\text{tg}(\gamma)} \quad (1.1)$$

$$F_{dtš} = 1,55 \cdot 1,5^2 \cdot \frac{312}{\text{tg}(10^\circ)}$$

$$F_{dtš} \cong 6\,170,922 \text{ N}$$

2. případ:

$$F_{dtD} = n \cdot S_d \cdot \tau_S \quad (2.1)$$

$$F_{dtD} = n \cdot l \cdot t \cdot \tau_S$$

$$F_{dtD} = 1,55 \cdot \frac{21}{5} \pi \cdot 1,5 \cdot 312$$

$$F_{dtD} \cong 9\,571,428 \text{ N}$$

3. případ:

$$F_{dtD} = n \cdot S_D \cdot \tau_S \quad (3.1)$$

$$F_{dtD} = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_S$$

$$F_{dtD} = 1,55 \cdot \frac{99}{10} \pi \cdot 1,5 \cdot 312$$

$$F_{dtD} \cong 22\,561,222 \text{ N}$$

,kde: n [-] součinitel otupení břitu

$n=(1,2 \div 1,55) \Rightarrow$ jelikož bude děrování probíhat bez střížnice budou voleny
nejméně příznivé podmínky
 $\Rightarrow n=1,55$

t [mm] tloušťka děrovaného materiálu

τ_S [MPa] střížný (děrovací) odpor

$$\tau_S = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 390 = 312 \text{ MPa} \quad (0.3)$$

γ [°] úhel stříhu; úhel sklonu ostří střížníku

$$\gamma = 10^\circ$$

$l; L$ [mm] délka střížné hrany (obvod díry)

$$l = \pi \cdot d = \pi \cdot 4,2 = \frac{21}{5} \pi \text{ mm} \quad (0.4)$$

$$L = \pi \cdot D = \pi \cdot 9,9 = \frac{99}{10} \pi \text{ mm} \quad (0.5)$$

S [mm²] plocha stříhané díry

$$S_d = l \cdot t = \frac{21}{5} \pi \cdot 1,5 = \frac{63}{10} \pi \text{ mm}^2 \quad (0.6)$$

$$S_D = L \cdot t = \frac{99}{10} \pi \cdot 1,5 = 4,727 \text{ mm}^2 \quad (0.7)$$

5.5 SKUTEČNÁ DĚROVACÍ SÍLA

Při skutečném stříhání nevzniká čistý stříh, ale kombinované namáhání. To v materiálu vzniká přítomností nežádoucího ohybu, který je negativním produktem pružné (elastické) deformace tvářeného materiálu během I. fáze stříhání. Vlivem ohybu roste střížný průřez, kterým musí střížník projít, aby se materiál oddělil. Tato skutečnost společně s průběžným tupením břitu navyšuje střížnou sílu o 10 až 30%. [13]

1. případ:

$$F_{dsš} = 1,3 \cdot F_{dtš} \quad (1.2)$$

$$F_{dsš} = 1,3 \cdot 6\,170,922$$

$$F_{dsš} \cong 8\,022,198 \text{ N}$$

2. případ:

$$F_{dsd} = 1,3 \cdot F_{dtd} \quad (2.2)$$

$$F_{dsd} = 1,3 \cdot 9\,571,428$$

$$F_{dsd} \cong 12\,442,856 \text{ N}$$

3. případ:

$$F_{dsD} = 1,3 \cdot F_{dtD} \quad (3.2)$$

$$F_{dsD} = 1,3 \cdot 22\,789,113$$

$$F_{dsD} \cong 29\,329,589 \text{ N}$$

5.6 STŘIŽNÁ PRÁCE

Střížná práce je práce, kterou musí nástroj během stříhu vykonat. Na obrázku 54 se jedná o plochu pod křivkou síly v závislosti na dráze. A je dobré si povšimnout, že ačkoliv šikmé ostří střížnou sílu snížilo, střížná práce zůstala stejná. K navýšení dojde až po změně průřezu střížníku.

1. případ:

$$A_s = K_A \cdot F_{dsš} \cdot l \cdot \operatorname{tg}(\gamma) \quad (1.3)$$

$$A_s = 0,55 \cdot 8\,022,198 \cdot \frac{21}{5} \pi \cdot \operatorname{tg}(10^\circ)$$

$$A_s \cong 10\,265,356 \text{ J}$$

2. případ:

$$A_d = K_A \cdot F_{dsd} \cdot t \quad (2.3)$$

$$A_d = 0,55 \cdot 12\,442,856 \cdot 1,5$$

$$A_d \cong 10\,265,356 \text{ J}$$

3. případ:

$$A_D = K_A \cdot F_{dsD} \cdot t \quad (3.3)$$

$$A_D = 0,55 \cdot 29\,329,589 \cdot 1,5$$

$$A_D \cong 24\,196,911 \text{ J}$$

,kde: K_A [-] součinitel hloubky vtlačení střížníku (tab. 3)

| Materiál | Tloušťka materiálu [mm] | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | do 1 | 1 až 2 | 2 až 4 | nad 4 |
| Ocel měkká | 0,70 až 0,65 | 0,65 až 0,60 | 0,60 až 0,50 | 0,45 až 0,35 |
| Ocel středně tvrdá | 0,60 až 0,55 | 0,55 až 0,50 | 0,50 až 0,42 | 0,4 |
| Ocel tvrdá | 0,45 až 0,42 | 0,42 až 0,38 | 0,38 až 0,33 | 0,30 až 0,20 |
| Hliník, měď (žíhané) | 0,75 až 0,70 | 0,70 až 0,65 | 0,65 až 0,55 | 0,5 |

Tab. 3 Součinitel hloubky vtláčení střížníku K_A [27]

5.7 STÍRACÍ SÍLA

Stírací sílu je nutné znát, aby bylo možné správně navrhnout stěrač nástroje, který má za úkol střížník z díry pokaždé vyprostit a umožnit mu tak návrat do své výchozí polohy.

Stírací sílu lze, podobně jako střížnou vůli, určit dvěma způsoby. Buď pomocí vztahu (0.8) a tabulky (tab. 2), přičemž součinitelé stírání jsou z ní voleny nižší, jedná-li se o výpočet samostatného a jednoduchého stříhadla a vyšší při výpočtu stříhu více střížníky, zvláště jsou-li umístěny blízko sebe a pro složitější tvary střížníku. Druhým způsobem, jak stírací sílu vypočítat je pomocí jednoduššího vztahu, který pracuje se zkušeností z praxe, kde je stírací síla brána jako 10% síly střížné.

| Tloušťka materiálu | Součinitel stírání c_1 |
|--------------------|--------------------------|
| Ocel do 1 mm | 0,02 až 0,12 |
| 1 až 5 mm | 0,06 až 0,16 |
| nad 5 mm | 0,08 až 0,20 |
| Mosaz | 0,06 až 0,07 |
| Slitiny hliníku | 0,09 |

Tab. 4 Hodnoty součinitele stírání c_1 [27]

$$F_T = c_1 \cdot F_{ds} \quad (0.8)$$

1. případ:

$$F_{T\text{š}} = c_1 \cdot F_{ds\text{š}} \quad (1.4)$$

$$F_{T\text{š}} = 0,1 \cdot 8\,022,198$$

$$F_{T\text{š}} \cong 802,220 \text{ N}$$

2. případ:

$$F_{Td} = c_1 \cdot F_{dsd} \quad (2.4)$$

$$F_{Td} = 0,1 \cdot 12\,442,856$$

$$F_{Td} \cong 1\,244,286 \text{ N}$$

3. případ:

$$F_{TD} = c_1 \cdot F_{dsD} \quad (3.4)$$

$$F_{TD} = 0,1 \cdot 29\,625,847$$

$$F_{TD} \cong 2\,932,959 \text{ N}$$

, kde: c_1 [-] součinitel stírání (tab. 4)

5.8 PEVNOSTNÍ VÝPOČET STŘIŽNÍKU

5.8.1 KONTROLA NA OTLAČENÍ

Aby byl střížník z hlediska namáhání na tlak bezpečný, musí platit následující vztah. Přičemž dovolené namáhání v tlaku σ_{dov} se pro nástrojovou ocel W.Nr.1.2842 (ČSN 19 312), ze které je střížník vyroben, pohybuje v rozmezí (2 200÷3 000) MPa v závislosti na tvrdosti (55÷62 HRC). [28]

$$\sigma_d = \frac{F_{ds}}{S_d} \leq \sigma_{dov} \quad (0.9)$$

, kde: σ_{dov} [MPa] dovolené namáhání v tlaku

Dovolené namáhání v tlaku pro nástrojovou ocel W.Nr.1.2842 (ČSN 19 312), při tvrdosti 62 HRC dosahuje hodnoty 3 000 MPa. [28]

$$\sigma_{dov} = 3\,000 \text{ MPa}$$

1. případ:

$$\sigma_{dš} = \frac{F_{dsš}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (1.5)$$

$$\sigma_{dš} = \frac{4 \cdot 8\,022,198}{\pi \cdot 4,2^2}$$

$$\sigma_{dš} \cong 579,035 \text{ MPa} \leq 3\,000 \text{ MPa}$$

2. případ:

$$\sigma_{dd} = \frac{F_{dsd}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{dd} = \frac{4 \cdot 12\,442,856}{\pi \cdot 4,2^2}$$

$$\sigma_{dd} \cong 898,114 \text{ MPa} \leq 3\,000 \text{ MPa}$$

3. případ:

$$\sigma_{dD} = \frac{F_{dsD}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{dD} = \frac{4 \cdot 29\,625,847}{\pi \cdot 9,9^2}$$

$$\sigma_{dD} \cong 381,018 \text{ MPa} \leq 3\,000 \text{ MPa}$$

Podmínka je tedy splněna a střížník z hlediska otlačení ve všech případech **vyhovuje**.

5.8.2 KONTROLA NA VZPĚR

Vzhledem k tomu, že nástroj je konstruován tak, aby byl střížník z velké části ukryt ve vodící kostce a zbylá část byla vedena v pohyblivé čelisti, bude kontrolována pouze užší část střížníku, která není vedena a je tak nejnebezpečnější částí a potenciálním rizikem vzniku vzpěru. Nevedené části se zakótovanými délkami jsou na obrázcích 56÷58.

1. případ:

$$l_{kš} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_d}{k_b \cdot F_{dsš}}} \quad (1.6)$$

$$l_{kš} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 15,274}{2 \cdot 8\,022,198}}$$

$$l_{kš} = 62,820 \text{ mm}$$

2. případ:

$$l_{kd} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_d}{k_b \cdot F_{dsd}}} \quad (2.6)$$

$$l_{kd} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 15,274}{2 \cdot 12\,442,856}}$$

$$l_{kd} = 50,440 \text{ mm}$$

3. případ:

$$l_{kD} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_D}{k_b \cdot F_{dsD}}} \quad (3.6)$$

$$l_{kD} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 471,531}{2 \cdot 29\,329,589}}$$

$$l_{kD} = 182,542 \text{ mm}$$

, kde: E [MPa] modul pružnosti v tahu

Pro ocel: $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa

I [mm⁴] kvadratický moment průřezu

pro kruhový průřez

$$I_s = I_d = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4,2^4}{64} = 15,274 \text{ mm}^4 \quad (0.10)$$

$$I_D = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 9,9^4}{64} = 471,531 \text{ mm}^4 \quad (0.11)$$

k_b [-] součinitel bezpečnosti

$$k_b = 1,5 \div 2$$

$$\Rightarrow \text{Volím } k_b = 2$$

V žádném z případů nedojde ke vzpěru a lze tedy střížníky použít, poněvadž všechny výsledky značně překračují délku zúžené části nástroje. Vyhovující výsledky bylo možné přepokládat, poněvadž bylo při návrhu střížníku vycházeno z normy ISO 8020 při jejíž sestavování byly zajisté všechny střížníky kontrolovány a to nejen na vzpěr.

5.9 VÝPOČET PRUŽIN

Pružiny mají za úkol „vyprostit“ - setřít střížník z děrovaného materiálu. Z funkce pružin lze tedy logicky odvodit, že při maximálním pracovním stlačení pružin, by tyto pružiny měly v součtu vyvinout sílu, jenž bude větší nebo rovna síle stírací, která byla vypočtena v kapitole 5.7.

=> Bude-li brána v úvahu situace, kdy střížník bude zcela rovný, ať už z důvodu volby, nebo extrémního otupení břitu střížníku, bude zapotřebí překonat sílu $F_{Td} = 1\,244,286\text{ N}$. Jelikož je však nástroj konstruován na 4 nástrojové pružiny, tak výsledná síla, kterou musí každá pružina vyvinout, se vypočítá podle vztahu (0.12).

$$F_{PRmin} = \frac{F_{Td}}{i_p} \quad (0.12)$$

$$F_{PRmin} = \frac{1\,244,286}{4}$$

$$F_{PRmin} = 311,071\text{ N}$$

Aby bylo možné skutečnou sílu pružiny vypočítat, je nutné si nějakou pružinu nejdříve zvolit. V případě, že by zvolená pružina nevyhovovala, musela by být nahrazena nově zvolenou pružinou s odpovídajícími parametry. Z obrázku již existujícího nástroje, ze kterého je vycházeno, je zřejmé, že se jedná o nástrojové pružiny zelené barvy. Tedy o pružiny pro nízkou zátěž. A odpověď na otázku, z jakých rozměrů vybírat, nám dává průměr lícovaného šroubu ISO 7379 M6 f9 8x40-12.9, který slouží jako vodící trn, procházející skrz pružinu. Volit tedy lze některou z pružin pro trn o průměru 8 mm. U firmy Alcomex Spring Works, s.r.o., od které byly pružiny pořízeny, se tak jedná o pružiny s rozměry, které jsou vypsány v tab. 5. (Pozn. Tabulka neobsahuje všechny rozměry. Ty jsou uvedeny v katalogu výrobce pružin [19; str. 62÷79].)

Z tab. 5 byla zvolena zelená pružina o délce 38 mm. (č. položky: 1S16038)

$$F_{PR} \geq F_{PRmin} \quad (0.13)$$

$$F_{PR} = k \cdot h \quad (0.14)$$

$$F_{PR} = 19,3 \cdot 17,29$$

$$F_{PR} = 333,70\text{ N}$$

$$333,70\text{ N} > 311,071\text{ N}$$

Podmínka je splněna a proto lze zvolenou pružinu, dle ISO 10243 pro nízké zatížení (zelená barva) o délce 38 mm ve volném stavu, použít.



| Lo | Ln | Trn | Pouzdro | Fn (N) | c N/mm | Č. položky | Cenová skupina |
|----|------|-----|---------|--------|--------|------------|----------------|
| | 12,5 | | | 253 | 20,2 | 1L16025 | DS2 |
| | 15,0 | | | 234 | 23,4 | 1S16025 | DS2 |
| 25 | 15,6 | 8 | 16 | 463 | 49,4 | 2S16025 | DS3 |
| | 17,5 | | | 568 | 75,7 | 3S16025 | DS4 |
| | 18,7 | | | 738 | 118,0 | 4S16025 | DS4 |
| | 16,0 | | | 230 | 14,4 | 1L16032 | DS2 |
| | 19,2 | | | 293 | 22,9 | 1S16032 | DS2 |
| | 20,0 | | | 445 | 37,1 | 2S16032 | DS3 |
| 32 | 22,4 | 8 | 16 | 507 | 52,8 | 3S16032 | DS4 |
| | 24,0 | | | 712 | 89,0 | 4S16032 | DS5 |
| | 27,2 | | | 2155 | 449,0 | 5S16032 | DS13 |
| | 19,0 | | | 234 | 12,3 | 1L16038 | DS3 |
| | 22,8 | | | 293 | 19,3 | 1S16038 | DS3 |
| | 23,7 | | | 483 | 33,9 | 2S16038 | DS4 |
| 38 | 26,6 | 8 | 16 | 553 | 48,5 | 3S16038 | DS4 |
| | 28,5 | | | 685 | 72,1 | 4S16038 | DS6 |
| | 32,3 | | | 2069 | 363,0 | 5S16038 | DS14 |

Tab. 5 Parametry nástrojových pružin [19]

6 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Podařilo se sestrojít plně funkční děrovací nástroj na ohýbačku. Nástroj, který nahradil původní metodu vyhotovování děr na řadové vrtačce, a tím celý proces značně zjednodušil a celkově zefektivnil.

Návrh děrovacího nástroje byl provázen výpočty, kterými byly zjištěny potřebné síly pro děrování a práce, která musí být během operace odvedena. Dále byla provedena kontrola stírací síly od zvolených pružin. Zvolené pružiny dokážou vyvinout požadovanou sílu na setření profilu ze střížníku, ale jejich síla není o mnoho vyšší. To znamená, že pokud by bylo rozhodnuto o využití nástroje i pro vyhotovování větších otvorů, než jsou otvory pro nýty pantů, pak by bylo nutné zvolit, buď delší pružiny pro mírné zatížení, jež jsou v nástroji použity a jsou výrobcem označeny zelenou barvou, nebo zvolit některou z pružin o stejné nebo větší délce z řady pro střední či vysokou zátěž. Ty jsou výrobci označeny modrou, červenou, žlutou nebo hnědou barvou v závislosti na tom o jakou zátěž se jedná.

Po výrobě nástroje, jeho instalaci do stroje a nahráním patričního programu byl děrovací nástroj otestován. Test dopadl z konstrukčního hlediska naprosto v pořádku. Nedošlo k zalomení ani ulpění střížníku v otvoru ani k jiné kolizi. Zkušebním provozem byl také potvrzen předpoklad, že děrováním bez střížnice bude docházet ke zborcení profilu. S touto skutečností se však počítalo už na samém počátku projektu a tak se nejednalo o žádný problém, který by projekt učinil neúspěšným a nástroj nepoužitelným. Zborcení u tohoto výrobku nikterak nevadí, jelikož je schováno pod nanýtovanými panty. A nemělo by vadit ani při budoucím použití u jiných typů výrobku firmy, protože většina zhotovovaných otvorů je určena pro šrouby, které svoji hlavou deformaci úspěšně zakryjí a také se mírně zapustí, což je spíše výhodou. Nicméně ne vždy tomu tak musí být. Pokud by bylo zborcení materiálu neakceptovatelné, a přesto by bylo výhodné děrovat na ohýbačce, pak je možné borbění materiálu eliminovat instalací střížnice na trn ohýbačky, který jinak slouží pro podporu tenkostěnných trubek při ohybu. Toto řešení je však vhodné pouze pro kratší ocelové profily, které není problém na trn nasunout, což by u dlouhých polotovarů, vzhledem k absenci podpěry, mohl být problém. Při použití tohoto řešení je také důležité myslet na zvýšené nároky na seřízení stroje, aby nedošlo ke kolizi v důsledku naboření střížníku do matrice, nacházející se ve špatné poloze (osa střížnice mimo osu střížníku) a na údržbu nástroje, aby nedošlo k zaseknutí stroje z důvodu vzpříčení výstřížku, který nemá možnost volně vypadat ven.

Avšak ne všechno šlo během projektu podle plánu. První komplikací bylo zjištění, že ani autorizovaný servis BLM ohýbaček nemá k dispozici údaje o síle svěráku, kterou je nutné znát, aby bylo možné určit, zdali je stroj dostatečně výkonný, aby operaci, jako je děrování, zvládl a popřípadě stanovil, jaký je maximální možný průměr, který lze ještě na použité ohýbačce děrovat. Vzhledem ke složitosti pohonného ústrojí svěráku by byl výpočet velmi komplikovaný a navíc by bylo zapotřebí mnoho parametrů zjistit tak, že by se stroj musel rozebrat. Takže jako jediné rozumné řešení, jak zjistit sílu ve svěráku je pomocí měřicího přístroje. V této fázi úvahy však vystupuje otázka, jaký tenzometr o jakém rozsahu by bylo vhodné použít, aby nedošlo k jeho zničení z důvodu přetížení. Nakonec bylo na základě zkušeností z firmy, kde podobný nástroj na ohýbačce BLM provozují i pro zhotovování děr větších průměrů, než kterých je zapotřebí pro nýty pantů (4,2 mm), že s výkonem pro

děrování by stroj neměl mít žádný problém. A toto tvrzení je možné potvrdit i na základě provedených výpočtů, prostřednictvím kterých bylo zjištěno, že potřebná děrovací síla pro vyhotovení děr o požadovaném průměru 4,2 mm, je zapotřebí síla přibližně 12,5 kN, což odpovídá 1,25 tunám, přičemž tuto hodnotu mnohdy překračují i klasické strojní svěráky na ruční pohon. Co se týče vyhotovování děr o průměru 9,9 mm největším střížníkem, který lze do navrženého nástroje vložit, tak pro ně děrovací síla činí přibližně 29,5 kN, což odpovídá 2,95 tunám a jedná se taktéž o hodnotu, kterou lze vyvinout i na klasickém strojním svěráku a tudíž by svěráku ohýbačky, poháněným servomotorem, skutečně nemělo dělat problém tuto sílu vyvinout.

Další problém se vyskytl až při samotném provozu nástroje. Střížník s šikmým ostřím, který byl pro děrování zvolen pro snížení děrovací síly, neměl příliš dlouhou životnost, což vedlo ke změně tvaru ostří. Zaoblený tvar, který se stal nástupcem ostrého tvaru, již vydržel podstatně více. Ale ani u tohoto typu nezůstalo. 2. typ se totiž v průběhu životnosti otupil, a protože bylo zjištěno, že i s rovným ostřím jsou díry stále ve stejné kvalitě, bylo rozhodnuto, že po zlomení tohoto střížníku se budou objednávat pouze střížníky s rovným ostřím, které jsou na výrobu podstatně snazší a tak i jejich cena je nižší.

Dále je nutné konstatovat, že při použití této metody je nutné neustále myslet na proveditelnost operace a přizpůsobovat tomu pracovní postup. Například při děrování tenkostěnné trubky, která vyžaduje aplikaci ohýbacího trnu, není možné prvně naděrovat a pak provést za dírou ohyb, poněvadž by zborcená oblast znemožnila vsunutí ohýbacího trnu. Avšak ne všechny problémy se dají vyřešit pouze správným pracovním postupem. Existuje i řada případů, kdy děrováním na ohýbačce nelze provést zcela všechny úkony a je tak nutné dohotovení součásti vrtáním, či doděrováním na obyčejném hydraulickém lisu. Z toho vyplývá, že děrovací nástroj je velmi efektivní a dokáže velmi znatelně urychlit a zpřesnit výrobu avšak jen za určitých podmínek. A rozhodně tedy nelze říci, že děrováním na ohýbačce lze nahradit vrtání vždy. To však není případ výrobku, pro který byl tento nástroj primárně navržen.

6.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklady na výrobu nástroje činily přibližně 25 000,-Kč. K této částce je zapotřebí přičíst ještě cenu za práci strávenou při návrhu nástroje, která však nepřekročila ani 10 000,-Kč a tudíž finální částka nepřesáhla částku, za kterou bylo možné podobný nástroj pořídit, tj. 50 000,-Kč. Takže se jednoznačně podařilo snížit náklady firmy, a navíc díky vypracované výkresové dokumentaci si může firma kdykoliv nechat vyrobit tento nástroj znovu, přičemž zaplatí pouze za jeho výrobu, z čehož vyplývá, že na každém dalším nástroji ušetří 50%, což je poměrně slušná úspora.

6.2 SOUČASNOST A VIZE DO BUDOUCNA

V současné době již nástroj slouží nejen na děrování rámu paravánů, ale také na děrování dalších dílů, které bylo dříve v rámci výrobního procesu vrtat. A do budoucna se uvažuje o přechodu ze stávajících pantů na panty, které by umožňovaly přinýtování ve středu profilu, čímž by odpadl požadavek na excentricitu střížníku a také by se tím umožnilo děrování středového dílu na jedno upnutí, což v současné době není možné a středový rám je děrován na dvě upnutí.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout děrovací nástroj kompatibilní s CNC ohýbačkou BLM ELECT 40 za účelem zefektivnění celé výroby ocelových rámu paravánů, čehož bylo nakonec dosaženo.

Celá práce je členěná do několika částí. K postupnému uvedení do řešené problematiky celého projektu slouží první část práce. V ní se je možné dozvědět něco o firmě, pro kterou byl nástroj navržen a zkonstruován, o výrobku, jehož produkce se aplikací nového nástroje výrazně urychlila a o stroji, na který byl nástroj konstruován a na němž nástroj pracuje. Dále se tato část věnuje rozboru metod vyhotovování děr do plného materiálu, přičemž první metodou je vrtání, což je původní metoda, která byla nahrazena právě děrováním na ohýbačce. Dalšími metodami jsou metody, ze kterých děrování na ohýbačce vychází a poslední zmíněnou metodou je již samotné děrování na ohýbačce. U původní a nové metody jsou také vypsány výhody a nevýhody, které daná metoda přináší, díky čemuž je možné snadno dojít k závěru, zda je daná metoda pro firmu použitelná a zda je pro ni spíše přínosem, nebo naopak.

Na poslední kapitulu v první části bakalářské práce dále navazuje samotná konstrukce nástroje. V této části jsou popsány veškeré součásti, které děrovací nástroj obsahuje a to včetně jejich výroby. Technologie použité na jejich výrobu pak tuto část práce uzavírají.

Další část práce je věnována výpočtům, které bylo nutno provést, aby bylo ověřeno, že zkonstruovaný nástroj bude schopen plnit svoji funkci a při jeho běžném provozu nedojde k poškození žádné z jeho částí či jinému problému spojené s provozem nástroje. Za účelem lepšího porozumění počítaných veličin byla do této části práce zařazena také teoretická část, ve které je možnost se více seznámit s počítanými veličinami a dozvědět se něco o jejich chování za daných podmínek. Za teoretickou částí se nacházejí již samotné výpočty jednotlivých veličin s číselnými výsledky.

Na závěr celé práce bylo provedeno zhodnocení celého projektu, v rámci kterého se je možné dozvědět, jak bylo při konstrukci nástroje postupováno, s jakými komplikacemi se bylo nutné vypořádat a je v něm také zahrnuto ekonomické zhodnocení celého projektu včetně vize do budoucna.

Co se týče doporučení pro praxi, tak těch je opravdu mnoho a celá tato bakalářská práce je jimi protkána, přičemž asi nejvíce jich lze nalézt v kapitole 6.

Součástí práce jsou také přílohy obsahující 3D modely sestav nástroje ve formátu step a výkresová dokumentace.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] O firmě. *Audy: zdravotnická a rehabilitační technika* [online]. Copyright © 2009 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <http://www.audy.eu/o-firme-art>
- [2] *Audy: zdravotnická a rehabilitační technika* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <http://www.audy.eu/content/img/logo.gif>
- [3] *Google* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: https://www.google.cz/maps/@49.2253094,16.5279407,3a,90y,60.76h,89.07t/data=!3m6!1e1!3m4!1sX6Btv_rDjTtslnNwMJECBg!2e0!7i16384!8i8192
- [4] Moderní byt. Paravány mají svůj účel i kouzlo. *Moderní byt: Nejlepší stránky Vašeho bydlení* [online]. 04. 02. 2019 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: https://www.modernibyt.cz/rubriky/interier/paravany-maji-svuj-ucel-i-kouzlo_5256.html
- [5] PILÁTOVÁ, Lucie. Hledáte originální doplněk do interiéru? Vyzkoušejte paraván. *Útulně.cz* [online]. 02. 01. 2019 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: [https://utulne.cz/531/hledate-originální-doplněk-do-interieru-vyzkousejte-paravan](https://utulne.cz/531/hledate-originalni-doplněk-do-interieru-vyzkousejte-paravan)
- [6] Drátěná stěna 600. *dratene-stojany.cz: stojany na katalogy a letáky, síťové stojany* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://www.dratene-stojany.cz/dratene-steny-a-site/1410-dratena-stena-paravan-600.html>
- [7] Designový Nábytek. Přírodní dřevěný paraván Bizzotto Aili 180 cm. *DESIGNOVYNABYTEK.CZ: INTERIÉR S PŘÍBĚHEM* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: https://www.designovynabytek.cz/prirodni-dreveny-paravan-bizzotto-aili-180-cm/?gclid=Cj0KCQjwpdqDBhCSARIsAEUJ0hPERQiGBY0xW_dEz18yj9t60BbrZM90so7beERMeBcBBkw5dhhZFScaAsAGEALw_wcB
- [8] RYGAROVÁ, Viktorie. Paraván. *23design* [online]. 2020/2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.23design.cz/ade/work/paravan>
- [9] Nábytek se stylem. Paravan ke krbu 1131. *Nábytek se stylem* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.nabyteksestylem.cz/Paravan-ke-krbu-1131-d2842.htm?tab=description>
- [10] *100+1 zahraniční zajímavost* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: https://www.stoplusjednicka.cz/sites/default/files/styles/full/public/obrazky/2019/09/pala_c_nebeske_cistoty.jpg?itok=DPfXrkzu
- [11] BLM GROUP. ELECT: all-electric left-handed or right-handed CNC tube bending machine. *BLM GROUP* [online]. Copyright © 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.blmgroup.com/tube-benders/elect>
- [12] eBay. WITTENSTEIN ALPHA LP 070F-MF1-10-1D1-3S , 6 MONTHS WARRANTY. *eBay: Electronics, Cars, Fashion, Collectibles & More* [online]. Copyright © 1995 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.ebay.co.uk/itm/WITTENSTEIN-ALPHA-LP-070F-MF1-10-1D1-3S-6-MONTHS-WARRANTY-/324062305891>

- [13] LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů a zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [14] Děrovací stroj | Děrování profilů Brno. *Kovovýroba Brno: Svařování dělení vrtání frézování Brno* [online]. Copyright © COPYRIGHT 2015 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.kovovyroba-crdesign.cz/derovani-profilu-brno/derovaci-stroj>
- [15] *Manufacturing Guide: Tube punching with mandrel* [online], 2020. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/tube-punching-mandrel>
- [16] NOVOTNÝ, Karel. *Přípravky a nástroje: Část tvářecí nástroje* [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8221273-Pripravky-a-nastroje.html>
- [17] SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. Second edition. New York: McGraw-Hill, [2006]. McGraw-Hill handbooks. ISBN 00-714-6271-6.
- [18] NORMTEILWERK ROBERT BLOHM GmbH. *Das Programm der Spezialisten! Normalien für den Schnitt- und Stanzenbau nach DIN und ISO* [online]. Copyright © DocPlayer.cz. s. 75 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://docplayer.org/31940782-Das-programm-der-spezialisten-normalien-fuer-den-schnitt-und-stanzenbau-nach-din-und-iso.html>
- [19] *Alcomex: vše pro vaše technické, průmyslové a vratové pružiny* [online]. Copyright © [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: https://www.alcomex.cz/wp-content/uploads/2018/03/Alcomex-Productbrochure_CZ.pdf
- [20] *Nástrojárna Holešovský s.r.o.* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.naradovna.cz/>
- [21] FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA a Vysoké učení technické v Brně. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:0ec08710-3486-11e7-8e0f-005056827e52>
- [22] AMBROŽ, Oldřich, Zdeněk MACHÁČEK, Milan HORÁČEK a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie slévání, tváření a spojování: Laboratorní cvičení : Určeno pro posl. fak. strojní*. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1989. ISBN 80-214-0043-9. Dostupné také z: <https://dnmt.mzk.cz/uuid/uuid:5cda61a0-5294-11e3-ae59-005056827e52>
- [23] NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3. Dostupné také z: <https://dnmt.mzk.cz/uuid/uuid:57759a70-63bd-11e2-9d9f-005056827e52>
- [24] *MM Průmyslové spektrum: Akademie tváření: Strihání* [online]. Copyright © 2001 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>

- [25] NEČAS, Petr. *Výroba součásti dveřního zamykání sdruženým nástrojem*. Brno, 2014. 59 s., 5 výkresů, 6 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Peterková, Ph.D. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84024
- [26] *CZ FERRO STEEL: hutní materiál, ocelové trubky kalibrované, tažené, uzavřené profily* [online]. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky2-E235.pdf>
- [27] BOBČÍK, Ladislav. *Střižné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 213 s.
- [28] *Halfar knives* [online]. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <http://www.halfarknives.cz/documents/19312.pdf>

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 SEZNAM SYMBOLŮ

| Symbol | Jednotka | Veličina |
|-------------|-----------------|---|
| A_D | J | Střižná práce nástroje při děrování střižníkem s rovným ostřím a průměrem D |
| A_d | J | Střižná práce nástroje při děrování střižníkem s rovným ostřím a průměrem d |
| A_ξ | J | Střižná práce nástroje při děrování střižníkem s šikmým ostřím |
| c_1 | - | Součinitel stírání |
| D | mm | Maximální průměr střižníku, který lze do nástroje vložit |
| d | mm | Průměr střižníku pro vyhotovování otvorů pro nýty pantů |
| E | MPa | Modul pružnosti v tahu |
| F_{dsD} | N | Skutečná děrovací síla střižníku s rovným ostřím a průměrem D |
| F_{dsd} | N | Skutečná děrovací síla střižníku s rovným ostřím a průměrem d |
| $F_{ds\xi}$ | N | Skutečná děrovací síla střižníku s šikmým ostřím |
| F_{dtD} | N | Teoretická děrovací síla střižníku s rovným ostřím a průměrem D |
| F_{dtd} | N | Teoretická děrovací síla střižníku s rovným ostřím a průměrem d |
| $F_{dt\xi}$ | N | Teoretická děrovací síla střižníku s šikmým ostřím |
| F_{PR} | N | Skutečná síla vyvozená od pružiny |
| F_{PRmin} | N | Minimální potřebná síla od pružiny |
| F_{TD} | N | Stírací síla střižníku s rovným ostřím a průměrem D |
| F_{Td} | N | Stírací síla střižníku s rovným ostřím a průměrem d |
| $F_{T\xi}$ | N | Stírací síla střižníku s šikmým ostřím |
| h | mm | Stlačení pružiny |
| I | mm ⁴ | Kvadratický moment průřezu |
| I_D | mm ⁴ | Kvadratický moment průřezu střižníku s průměrem D |
| I_d | mm ⁴ | Kvadratický moment průřezu střižníku s průměrem d |

| | | |
|----------------|---------------|--|
| I_{ξ} | mm^4 | Kvadratický moment průřezu střížníku s šikmým ostřím |
| i_p | - | Počet pružin |
| K_A | - | Součinitel hloubky vtlačení střížníku |
| k | N/mm | Tuhost pružiny |
| k_b | - | Součinitel bezpečnosti |
| L | mm | Délka střížné hrany střížníku s rovným ostřím a průměrem D |
| l | mm | Délka střížné hrany střížníku s rovným ostřím a průměrem d |
| l_{kD} | mm | Kritická délka nevedené části střížníku s průměrem D |
| l_{kd} | mm | Kritická délka nevedené části střížníku s průměrem d |
| $l_{kš}$ | mm | Kritická délka nevedené části střížníku s šikmým ostřím a průměrem d |
| n | - | Součinitel otupení břitu |
| S_D | mm^2 | Plocha stříhané díry pro střížník s rovným ostřím a průměrem D |
| S_d | mm^2 | Plocha stříhané díry pro střížník s rovným ostřím a průměrem d |
| s | mm | Tloušťka stříhaného materiálu |
| R_m | MPa | Mez pevnosti stříhaného (děrovaného) materiálu ve smyku |
| t | mm | Tloušťka stříhaného (děrovaného) materiálu |
| v | mm | Střížná vůle |
| z | mm | Velikost střížné mezery |
| γ | $^\circ$ | Úhel sklonu břitu střížníku |
| π | - | Matematická konstanta |
| σ_d | MPa | Namáhání v tlaku |
| σ_{dD} | MPa | Namáhání v tlaku střížníku s rovným ostřím a průměrem D |
| σ_{dd} | MPa | Namáhání v tlaku střížníku s rovným ostřím a průměrem d |
| $\sigma_{dš}$ | MPa | Namáhání v tlaku střížníku s šikmým ostřím |
| σ_{dov} | MPa | Dovolené namáhání v tlaku |
| τ_s | MPa | Střížný (děrovací) odpor |

9.2 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Barevné značení nástrojových pružin a jejich síly | 40 |
| Tab. 2 Tabulka pro určení střížné vůle | 50 |
| Tab. 3 Součinitel hloubky vtlačení střížníku K_A | 55 |
| Tab. 4 Hodnoty součinitele stírání c_1 | 55 |
| Tab. 5 Parametry nástrojových pružin..... | 58 |

9.3 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Logo firmy AUDY s.r.o. | 17 |
| Obr. 2 Prodejna s kanceláři v Brně..... | 17 |
| Obr. 3 Výrobní hala s montáží v Holubicích..... | 17 |
| Obr. 4 Různé typy paravánů..... | 18 |
| Obr. 5 Čínský císařský trůn, za nímž se nachází zaoblený paraván..... | 19 |
| Obr. 6 Paraván vyráběný firmou AUDY s.r.o. s detailem na panty..... | 20 |
| Obr. 7 Rámy s vyhotovenými dírami (zachyceny pouze horní)..... | 20 |
| Obr. 8 Délka polotovaru v porovnání s řadovou vrtačkou | 20 |
| Obr. 9 Díry s vyznačenou přesností po vrtání v přípravku..... | 20 |
| Obr. 10 Pult Simatic s panelem Pc 577B a ovládacím panelem stroje MCP483 | 21 |
| Obr. 11 Ohýbačka BLM ELECT 40 s vyznačenými pracovními osami a hlavními částmi | 22 |
| Obr. 12 Detailnější pohled na pohon svěráku ohýbačky BLM ELECT 40 zajišťující práci děrovacího nástroje..... | 23 |
| Obr. 13 Pohled na bezkartáčový synchronní elektromotor Siemens se štítkem a na <i>planetovou převodovku Wittenstein alpha LP 090S-MF1-10-1G1-3S</i> | 23 |
| Obr. 14 Řadová vrtačka | 24 |
| Obr. 15 Vrtání děr v přípravku | 24 |
| Obr. 16 Děrovačka..... | 26 |
| Obr. 17 Nástroj na děrování | 26 |
| Obr. 18 Schéma děrování | 26 |
| Obr. 19 Schéma střížného nástroje v řezu | 26 |
| Obr. 20 Schéma postupového stříhadla s pružinovým stěračem..... | 27 |
| Obr. 21 Schéma postupového stříhadla se stacionárním stěračem..... | 27 |
| Obr. 22 Schéma navrženého děrovacího nástroje na ohýbačku | 28 |
| Obr. 23 Pracovní chod nástroje | 29 |
| Obr. 24 Vzdálenost mezi vodící kostkou a pohyblivou čelistí..... | 29 |
| Obr. 25 Pohled na děrovací nástroj v řezu s různými střížníky a zvýrazněnou vůlí, resp. přesahem..... | 30 |
| Obr. 26 3D model děrovacího nástroje v řezu..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Obr. 27 Naděrované rámy v porovnání s vrtanými..... | 32 |
| Obr. 28 Inspirativní nástroj | 33 |
| Obr. 29 3-dílná čelist se střížníkem (1. sestava nástroje)..... | 34 |
| Obr. 30 1. díl – upínací kostka | 34 |
| Obr. 31 2. díl – vodící kostka..... | 35 |
| Obr. 32 3. díl – pohyblivá čelist (jekl 20x20) | 36 |
| Obr. 33 Excentrický střížník s rovným ostřím | 37 |
| Obr. 34 Střížník podle normy ISO 8020, typ B | 38 |
| Obr. 35 Navržený excentrický střížník (3. typ – rovné ostří) | 38 |
| Obr. 36 Navržený excentrický střížník (1.typ)_ výroba | 39 |
| Obr. 37 Vývoj postupných změn použitého ostří | 39 |
| Obr. 38 Šrouby lícované s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem ISO 7379 M6 f9 8x40-12.9 | 40 |
| Obr. 39 Nástrojové pružiny ISO 10243 (č. 1S16038)..... | 40 |
| Obr. 40 Šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem DIN 912 | 41 |
| Obr. 41 Pera těsná DIN 6885 A | 41 |
| Obr. 42 Kladka na děrování (2. sestava nástroje) | 42 |
| Obr. 43 Kladka..... | 42 |
| Obr. 44 Pevná čelist svěráku..... | 43 |
| Obr. 45 Obráběcí centrum HAAS VF 4SS | 45 |
| Obr. 46 Elektroerozivní drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -1iD | 45 |
| Obr. 47 Výsledek práce elektroerozivní drátové řezačky FANUC ROBOCUT α -1iD (po 4 cyklech => drátek je 8x tenčí, než je horní mezera)..... | 46 |
| Obr. 48 Univerzální soustruh | 46 |
| Obr. 49 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly | 47 |
| Obr. 50 Fáze stříhu | 47 |
| Obr. 51 Vzhled střížné plochy | 48 |
| Obr. 52 Vliv velikosti střížné plochy na kvalitu stříhu | 49 |
| Obr. 53 Délky stříhu..... | 50 |
| Obr. 54 Porovnání průběhu střížné síly F a střížné práce A | 50 |
| Obr. 55 Různé druhy zkosení břitů střížníků a střížnic..... | 51 |
| Obr. 56 Oboustranně zkosený břit střížníku | 51 |
| Obr. 57 Rovné ostří s průměrem pro děrování rámu | 51 |
| Obr. 58 Rovné ostří střížníku $d_{max} \times 10 \times 71$ ISO 8020 – B s maximálním možným průměrem | 52 |
| Obr. 59 Polotovary na výrobu rámu s údaji ze štítku..... | 52 |

10 SEZNAM PŘÍLOH

10.1 3D MODELY SESTAV (.step)

- 3-DILNA CELIST SE STRIZNIKEM
- KLADKA NA DEROVANI

10.2 VÝKRESY SESTAV

- 3-DILNA CELIST SE STRIZNIKEM BP_208416/001
- KLADKA NA DEROVANI BP_208416/002

10.3 VÝKRESY SOUČÁSTÍ

- 1. DIL_UPINACI KOSTKA BP_208416/01
- 2. DIL_VODICI KOSTKA BP_208416/02
- 3. DIL_CELIST NA JEKL 20x20 BP_208416/03
- STRIZNIK 4,2x10x71 BP_208416/04
- OPERNE_PERO DIN 6885 A 10x8x45 BP_208416/05
- UPRAVENE_PERO DIN 6885 A 10x8x45 BP_208416/06
- UPRAVENE_PERO DIN 6885 A 10x8x32 BP_208416/07
- UPRAVENE_PERO DIN 6885 A 10x8x28 BP_208416/08
- DEROVACI KLADKA BP_208416/10
- CELIST DEROVACI KLADKY NA JEKL 20x20 BP_208416/11