

Konstrukční řešení a výroba postupového nástroje

Bc. Michal Zezulka

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Zezulka**
Osobní číslo: **T15413**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukční řešení a výroba postupového nástroje**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracování literární studie na dané téma**
2. **Model a výkres součásti vyráběné postupným tvářením**
3. **Konstrukce postupového nástroje vč. výkresu sestavy a kusovníku**
4. **Výroba postupového nástroje**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2014



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou konstrukce a výroby postupového nástroje dle požadavků zadavatele. V teoretické části je zpracována literární rešerše na dané téma. V praktické části jsou popsány jednotlivé vyráběné díly postupového nástroje s technologií jejich výroby, montáž celku a závěrečné testování vyrobeného nástroje. Pro ucelení představy o postupovém nástroji jsou přiloženy jednotlivé výrobní výkresy, výrobní postupy a 3D model sestavy.

Klíčová slova: plošné tváření, postupový nástroj, ohýbání, stříhání, výkresová dokumentace

ABSTRACT

This dissertation deals with the problems of the construction and production of the progressive tool according to the requirements of the customer. There is elaborated a literary research of the topic in the theoretical part. In the practical part are described the individual manufactured parts of progressive tool with the technology of their production, assembly of the unit and the final testing of this manufactured tool. For clearing the concept of the progressive tool are enclosed the completed production drawings, production procedures and a 3D assembly model.

Keywords: surface forming, progressing tool, bending, cutting, drawing documentation

Na tomto místě bych chtěl velice poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph. D. za vždy dobře míněné a odborné rady, návrhy a připomínky.

Mé rodině a spolupracovníkům chci poděkovat za pomoc, podporu a pochopení, které mi poskytovali nejen při studiu a tvorbě této závěrečné práce.

Velký dík patří také Ing. Martině Urbánkové, Petře Urbánkové a Lumírovi Urbánkovi za veškerou pomoc, které se mi při tvorbě této práce a v průběhu celého studia z jejich strany dostávala.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ.....	12
1.1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	12
1.1.1 Základy stříhání.....	12
1.1.2 Průběh stříhání	12
1.1.3 Technologie přesného stříhání	14
1.1.4 Napjatost a deformace při stříhání	15
1.1.5 Střížná práce a síla	16
1.1.6 Střížná vůle.....	16
1.2 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ.....	16
1.2.1 Napjatost a deformace.....	17
1.2.2 Maximální a minimální poloměr ohybu.....	17
1.2.3 Odpružení	18
1.2.4 Technologie ohýbaných součástí	18
2 SOUČÁSTI POSTUPOVÉHO NÁSTROJE.....	19
2.1 ZÁKLADOVÉ, KOTEVNÍ, UPÍNACÍ, OPĚRNÉ DESKY A DESKY STŘIŽNIC	19
2.2 STŘIŽNÍK A STŘIŽNICE	20
2.3 OHYBNÍK A OHYBNICE	20
2.4 VODÍCÍ LIŠTY, POUZDRA A ČEPY.....	20
2.5 UPÍNACÍ STOPKY A PRUŽINY	21
2.6 HLEDÁČKY A DORAZY	21
3 TEORIE TVORBY VÝROBNÍCH POSTUPŮ	22
3.1 ČLENĚNÍ VÝROBNÍCH POSTUPŮ	23
3.2 SLED OPERACÍ	23
4 JEDNOTLIVÉ ETAPY POTŘEBNÉ KE ZHOTOVENÍ POSTUPOVÉHO NÁSTROJE	27
4.1 SOUSTRUŽENÍ.....	28
4.2 FRÉZOVÁNÍ	29
4.3 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ	29
4.4 BROUŠENÍ	30
4.4.1 Technologická charakteristika broušení.....	30
4.5 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	30
4.5.1 Elektroerozivní obrábění.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	36
6 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI.....	37
6.1 STROJNÍ PARK SPOLEČNOSTI.....	37
7 KONSTRUKCE A VÝROBA POSTUPOVÉHO NÁSTROJE PRO DANÝ VÝROBEK.....	39

7.1	SESTAVA POSTUPOVÉHO NÁSTROJE	41
7.2	PŘEHLED A POPIS JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ POSTUPOVÉHO NÁSTROJE	42
7.2.1	Vrchní část postupového nástroje	42
7.2.2	Spodní část nástroje.....	50
	Opěrné desky	51
7.2.3	Sestava mezidesky	58
7.2.4	Sestava navádění pásku.....	61
8	MONTÁŽ POSTUPOVÉHO NÁSTROJE	62
9	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI POSTUPOVÉHO NÁSTROJE V REÁLNÉM PROCESU	64
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	67
	ZÁVĚR	69
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

ÚVOD

Již po několik století patří strojírenství do historie podnikání ve společnosti – ať už se začínalo například jednoduchou výrobou zprvu méně složitých strojních součástí až po výrobu těch složitějších.

Strojírenství a s ním spojené technologie hrají nyní jednu z nejdůležitějších průmyslových rolí. Jelikož se však technologie neustále inovují a zkvalitňují, musí i firmy, které chtějí být na současném trhu konkurenceschopné, investovat finanční prostředky do nových výrobních procesů z hlediska inovace techniky, jakož i v neposlední řadě projevit snahu o výchovu kádrů pro danou firmu k těmto procesům potřebných.

Metody strojního obrábění se staly mnohem rozmanitějšími a vypracovanějšími, až se celý tento obor strojního obrábění přechýlil k výrobě strojních součástí pomocí počítačově řízených strojů, kde člověk – obsluha stroje – splňuje funkci hlavně coby „dozorčí orgán.“ Využití klasické výroby, tj. výroby na klasických obráběcích strojích, kde hlavní díl práce koná člověk z hlediska obsluhy a samokontroly, je však i dnes velmi frekventované a žádané, hlavně u kusové a malosériové výroby – stejně jako ve společnosti ZV-nástroje.

Tato diplomová práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou.

Teoretická část se zabývá vysvětlením jednotlivých odborných pojmů a je zpracována jako literární rešerše za pomoci tuzemské a zahraniční literatury. První, teoretická část, se zabývá plošným a objemovým tvářením, technologickými postupy a technologií výroby.

Praktická část v úvodu vysvětlí stručnou historii firmy, postup výroby a poté se zaměřuje na konstrukci jednotlivých částí postupového nástroje, vytvořením technologických postupů a výkresové dokumentace, montáží nástroje a jeho testováním v ostrém provozu.

Závěr diplomové práce obsahuje diskuzi výsledku, kde je souhrnně popsána hlavní problematika a vyhodnocení samotného postupového nástroje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

1.1 Technologie stříhání

Základní podstatou stříhání je oddělování materiálu protilehlými bříty nožů. Na výslednou přesnost a kvalitu stříhu má vliv mnoho faktorů. K těm nejdůležitějším patří způsob stříhání, kvalita střižného nástroje, velikost střižné mezery a v neposlední řadě také samotné vlastnosti stříhaného materiálu.

K zabránění deformace výstřížku a vzniku nekvalitní střižné plochy může být dosaženo různými konstrukčními úpravami. Největší vliv na kvalitu má volba samotného způsobu stříhání. Výše uvedené nedostatky v celkové kvalitě střižné plochy se dají, oproti klasickému stříhání odstranit za pomoci technologie přesného stříhání. [8]

1.1.1 Základy stříhání

Samotný proces stříhání je velmi progresivní způsob zpracování materiálu. Při samotném stříhání je potřeba brát v úvahu některé zákonitosti a nedostatky:

- drsnost střižné plochy, daná průběhem deformace a jakostí materiálu,
- zkosení střižné plochy vlivem střižné vůle,
- zaoblení a zeslabení tloušťky výstřížku podél střižné plochy,
- zpevnění střižné plochy do určité hloubky,
- prohnutí některých výstřížků ohybovým momentem obou složek střižné síly. [3]

Při zvýšení nákladů na výrobu samotného nástroje a dosažení přesného stříhání například dalšími přídatnými operacemi (kalibrování), se eliminují nebo minimalizují výše zmíněné nedostatky. [3]

1.1.2 Průběh stříhání

Při využití střižných nástrojů začíná stříhání a děrování po dosednutí střižníku na střižný plech a je ukončeno finálním oddělením materiálu. Celkový průběh je rozdělen na tři základní fáze.

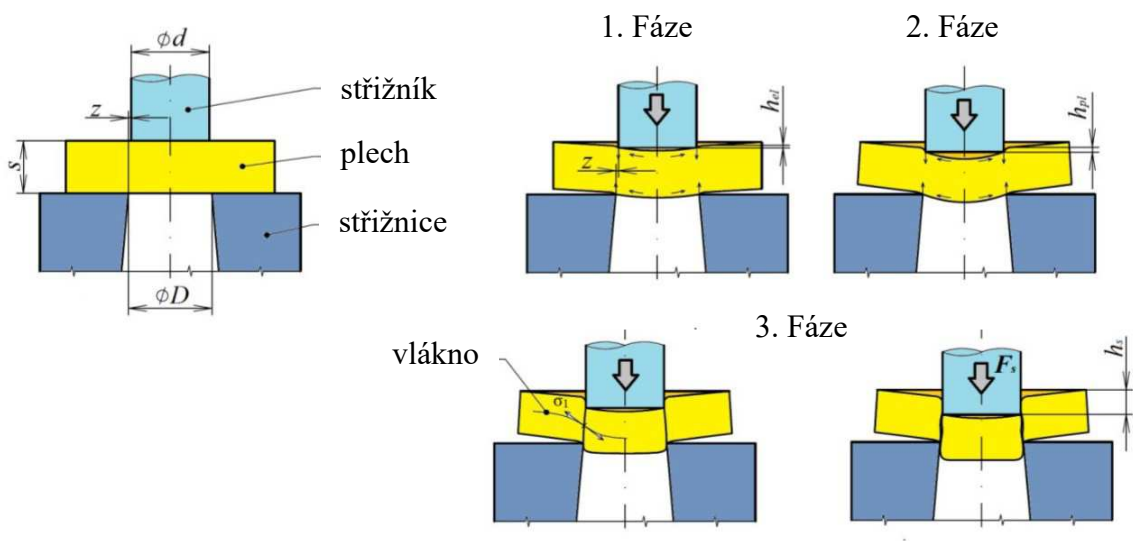
V první tlačí střižník na plech a vyvolává napětí v tvářeném kovu. Toto napětí musí být menší než samotná mez pružnosti, čímž dochází pouze k pružné deformaci. Hloubka vniku střižníku do stříhaného materiálu bývá 5 až 8 % jeho tloušťky. Hlavním faktorem při vnikání jsou samotné mechanické vlastnosti stříhaného materiálu. Vznikem silových dvojic

v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá. Díky tomu dochází ke vzniku zaoblení na stříhaném materiálu – vtláčením na straně střížníku a vytlačení na straně střížnice.

Ve druhé fázi dochází ke zvýšení napětí nad mez kluzu materiálu. Díky tomu dochází k trvalé deformaci. V této fázi dochází ke vniku střížníku do materiálu mezi 10 až 25 % tloušťky stříhaného materiálu. Ke konci druhé fáze dochází k nárůstu napětí v materiálu na hodnoty pevnosti ve stříhu.

Při třetí fázi je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu a hloubka vniku střížníku do materiálu je mezi 10 až 60 % tloušťky stříhaného materiálu. Tato hodnota je závislá na velikosti střížné mezery a volbě materiálu. Dochází ke vzniku mikroskopických a následně makroskopických trhlin v materiálu u hran střížníku a střížnice. Tyto trhliny se rychle prodlužují, až nakonec dojde k výslednému oddělení výstřížku od výchozího materiálu. Průběh tvorby trhlin je závislý na velikosti střížné mezery a rychlost postupu zase závisí na vlastnostech stříhaného materiálu. U měkkého materiálu dochází k oddělení poměrně pomalu, naproti tomu tvrdý a křehkých materiál se oddělí téměř okamžitě.

Pokud se u střížného nástroje zvolí jako střížná mezera normální střížná vůle, nástřihy od střížných hran obou střížných prvků se setkají a vytvoří ve stříhaném průřezu jednu plochu bez ostrin. Pokud se však zvolí střížná mezera příliš malá anebo naopak příliš velká, dochází k vytvoření nerovného povrchu v ploše stříhu, protože se nástřihy nesetkají. [3]



Obr. 1 Fáze stříhání [1]

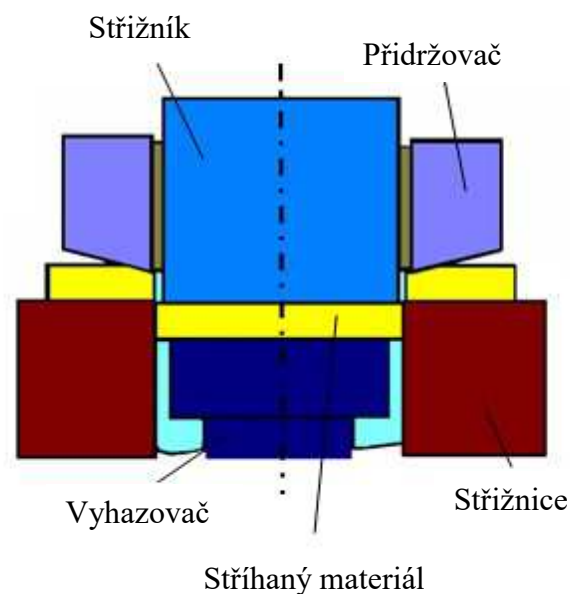
1.1.3 Technologie přesného stříhání

Metody stříhání, které vedou k dosažení hladké střížné plochy kolmé k rovině plechu, jsou označovány termínem přesné stříhání. Přesnosti výstřížku i vzniklé díry při takto označovaných technologiích přesahují hodnoty dosahované běžnými technologiemi stříhání. Mezi tyto technologie se řadí:

- přistříhování,
- přesné stříhání s tlačnou hranou,
- stříhání se zaoblenou střížnou hranou. [6, 7]

Přistříhování

Hladké střížné plochy se dosahuje dodatečným odstřížením nerovností. Lze přistříhovat s kladnou anebo zápornou vůlí podle vzájemné velikosti střížníku a střížnice. Za pomoci přistříhování se dá dosáhnout třídy přesnosti IT6 až IT9. Drsnost povrchu bývá v rozmezí $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$ a úkos $0,02/10$ mm. Nejvhodnějšími materiály pro přistříhování jsou tvrdé a polotvrde nelegované oceli. [6, 7]

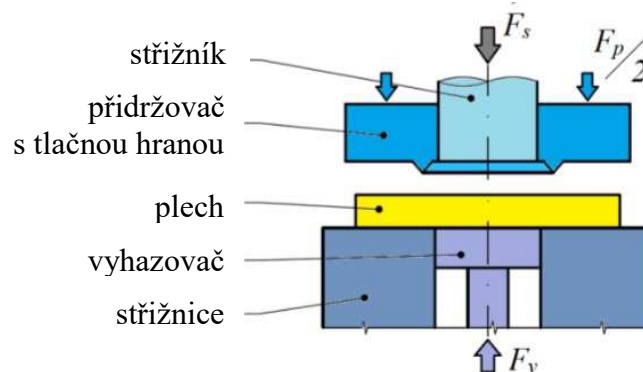


Obr. 2 Stříhání s přidržovačem [15]

Přesné stříhání s tlačnou hranou

Díky oboustrannému sevření stříhaného plechu a působením tlačné hrany je ve střížné oblasti vyvolán trojosý stav napjatosti. Tlačná hrana ve většině případů kopíruje obrys výstřížku.

Běžně se dá dosáhnout drsnosti střížné plochy $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$, výjimečně až $0,1 \mu\text{m}$. Maximální rozměrová přesnost, které se dá dosáhnout, je IT6. [6, 7]



Obr. 3 Stříhání s tlačnou hranou [1]

1.1.4 Napjatost a deformace při stříhání

Pokud se vezme v potaz volné stříhání, platí zde přibližně rovinný stav deformace, tedy $\varepsilon_2 = 0$. Za pomoci testování a zkoušek bylo dokázáno, že napětí na břit střížníku v okamžiku lomu je σ_2 přibližně roven nule. Aby došlo k překonání soudružnosti materiálu, musí přetvářecí odpor dosáhnout meze pevnosti v tahu. Ze všech těchto předpokladů vznikne rovnice pro střížné napětí:

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \quad (1)$$

Stav napjatosti při volném stříhání

Při volném stříhání silovou dvojicí střížných sil vytváří mezera mezi noži na rameni potřebné délky a . Takto vzniklý moment $M_o = F_s \cdot a$ nutí materiál se natáčet a vklínit mezi střížné nože. Tímto momentem může dojít k přetočení materiálu. K zabránění výše zmíněné situace, musí být využita i přidržovací síla, která působí na rameni délky b a vytváří moment:

$$M_p = F_p \cdot b \quad (2)$$

Stav napjatosti při uzavřeném stříhání

Při využití stříhadel může díky vlivu ohybového momentu docházet k nežádoucím plastickým deformacím. Největší problémy vznikají hlavně u malých výlisků s velikou tloušťkou stěny. Díky tření v pružně svírané části střížné plochy dochází k nárůstu střížné síly. [2, 11, 16, 19, 22]

1.1.5 Střížná práce a síla

Jelikož střížná síla díky mezeře mezi střížníkem a střížnicí nepůsobí ideálně, rozkládá se na tečnou a normálovou složku. Tato dvojice sil způsobuje nežádoucí ohyb a vznik jednotlivých pásem na střížné ploše.

V první fázi stříhání dochází k elastickému vnikání a následně k plastické deformaci pod břitem nástroje. Díky využití zpevnění materiálu dochází k plynulému nárůstu střížné síly. K oddělení výstřížku dochází po dosažení meze pevnosti materiálu ve stříhu. Samotná zpevňená oblast na výstřížku zasahuje do 20 až 30% tloušťky stříhaného materiálu. [8, 9, 11, 16, 19, 28]

1.1.6 Střížná vůle

Střížná vůle se dá definovat jako mezera mezi rozměrem střížníku a střížnice. Tato vůle má zásadní vliv na průběh střížného procesu, životnost nástroje a v neposlední řadě také na kvalitu střížné plochy.

Velmi často se využívá také termínu střížná mezera, který je definován jako vzdálenost břitů střížných nožů. Střížná mezera má hodnotu poloviny střížné vůle.

V případě, že je vůle nastavena příliš málo nebo příliš moc, dochází k rozšíření pásma otěru a díky tomu k nárůstu střížné síly a práce. Zvýšení střížné síly bývá většinou sice nepatrné, ale střížná práce může vzrůst až o 40 %.

Samotná střížná vůle je závislá na mnoha faktorech. Nejdůležitější jsou mechanické vlastnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťka. [4, 6, 11, 12]

1.2 Technologie ohýbání

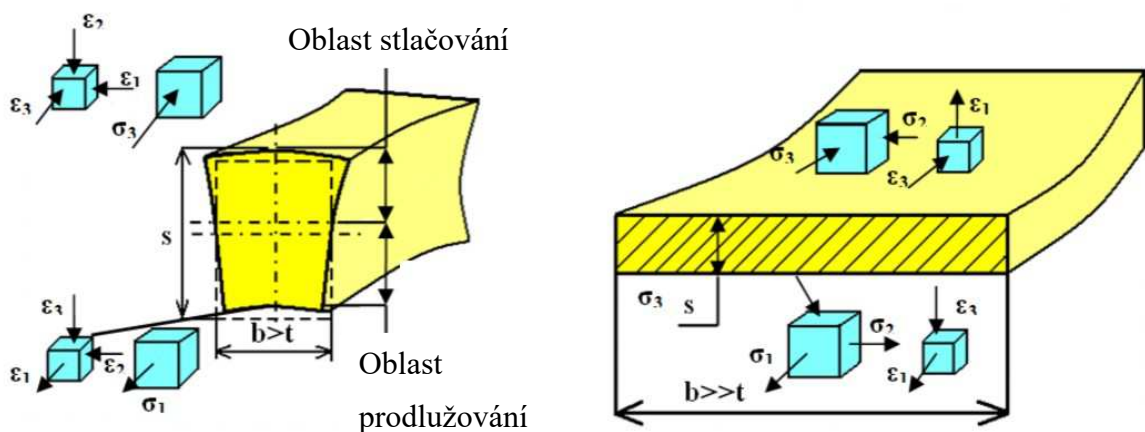
Do oblasti plošného tváření patří také technologie ohýbání. Tato technologie se řadí mezi jedny z nejpoužívanějších technologií ve strojní výrobě. Samotné ohýbání se dá definovat jako elasticko-plastické deformování materiálu. Materiál se v důsledku zatěžující síly buďto ohýbá anebo rovná, záleží na stylu použití. Požadovaného tvaru se většinou dosahuje za použití více za sebou jdoucích operací. Většina ohýbacích operací materiálu se provádí za studena. U křehkých, tvrdých a materiálů s velkými průřezy se používá způsob tzv. kovářský, tedy za tepla. Ohýbání se rozlišuje na dva základní způsoby, a to ohyb vnějšími momenty a ohyb lokální silou.

Při výrobě součástí za pomoci ohybu, vznikají v materiálu různá napětí. Na vnitřní straně dochází ke generování tlakových napětí a na vnější straně ke generování tahových napětí. Rozhodujícím parametrem procesu jsou napětí tahová. Největších hodnot napětí v tahu se dosahuje v krajních vláknech materiálu. Ve střední oblasti materiálu napětí nepřesahují mez kluzu a materiál se nachází v oblasti elastické deformace. Tato oblast označuje zlom mezi tahovým a tlakovým napětím. Tato oblast je označována jako neutrální a leží na poloměru ρ . [8, 11, 19, 25]

1.2.1 Napjatost a deformace

Pokud je řešena napjatost a deformace, je potřeba rozlišovat, zda jsou ohýbány tenké tyče nebo široké pásy. Při ohýbání tenkých tyčí, je velikost napětí σ_2 přibližně rovna nule a napjatost v krajních vláknech odpovídá jednoosému tahu a tlaku. Díky tomu dochází při ohýbání na vnitřní straně materiálu ke zvětšování šířky tyče a na vnější straně, tahově namáhané, dochází k zúžení profilu.

Pokud jsou ohýbány široké pásy, které jsou charakteristické velkým poměrem šířky k tloušťce, nedochází k deformaci v příčném směru, tedy $\varepsilon_2 = 0$. S využitím zákona o konstantním objemu v případě rovinné deformace vyplývá, že na tahové straně bude $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ a na straně tlakové to bude právě naopak. [11, 16, 19, 23]



Obr. 4 Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu [15]

1.2.2 Maximální a minimální poloměr ohybu

Maximální poloměr ohybu se označuje R_{\max} . Za maximální poloměr se považuje takový, kdy na vnitřní tlakové straně ohýbaného polotovaru dochází k trvalé plastické deformaci

v krajních vláknech. Pokud by nedošlo k deformacím, materiál by se navrátil do svého původního tvaru.

Minimální poloměr ohybu se označuje R_{\min} . Za tuto hodnotu se považuje takový poloměr ohybu, aniž by u ohýbaného polotovaru došlo k porušení soudržnosti. Pokud by došlo ke zmenšení poloměru ohybu pod R_{\min} , došlo by k překročení meze pevnosti R_m materiálu a následnému lomu. Porušení vzniká na vnější tlakové straně, proto je rozhodující tečné tahové napětí v krajních vláknech. Samotný poloměr ohybu se odvíjí od vlastností materiálu, šířce a tloušťce materiálu, potřebného úhlu ohnutí a volby způsobu ohýbání. [6, 8, 11, 19, 27]

1.2.3 Odpružení

Samotné ohýbání za studena se dá také specifikovat jako proces plastické deformace polotovaru. Ve chvíli dokončení ohybu a uvolnění působících sil má polotovar, díky pružným deformacím tendenci se trochu vrátit nazpět do původního stavu. Na samotnou velikost odpružení má vliv tloušťka materiálu, úhel a poloměr ohybu, způsob provedení ohybu, tzn., zda do U či V, a v neposlední řadě také vlastní typ materiálu. [8, 11, 19, 20, 23, 28]

1.2.4 Technologie ohýbaných součástí

Celková technologie ohýbání závisí na samotných vlastnostech materiálu, proto je při konstrukci ohýbané součásti potřeba dodržovat určitá základní pravidla k získání plně funkčního dílu:

- volba osy ohybu kolmo na směr vláken, minimálně pod 30° úhlem,
- ohýbat s kalibrací pro docílení požadované kvality ohybu,
- u materiálu s velkou anizotropií vytvářet žebra a prolisy,
- neutahovat tolerance vyráběného dílu,
- otvory vyrábět minimálně ve vzdálenosti dvojnásobné síly materiálu od místa ohybu,
- délka ohýbané částí by měla být volena minimálně dvojnásobná vůči tloušťce ohýbaného materiálu,
- u stříhaných materiálů volit otřep na vnitřní straně ohybu. [2, 6, 11]

2 SOUČÁSTI POSTUPOVÉHO NÁSTROJE

K docílení plně funkčního postupového nástroje je zapotřebí zkonstruovat a vyrobit nebo nakoupit mnoho součástí. Mezi ty nejzákladnější se řadí:

- základové, kotevní, upínací, opěrné desky a desky střížnic,
- střížníky a střížnice,
- ohybníky a ohybnice,
- vodící lišty, pouzdra a čepy,
- upínací stopky a pružiny,
- hledáčky a dorazy. [3, 13, 26]

2.1 Základové, kotevní, upínací, opěrné desky a desky střížnic

Základová deska je část postupového nástroje, za pomoci které je nástroj uchycen v lisovacím stroji. Jelikož není tato deska výrazněji zatížena, není třeba ji vyrábět z drahých nástrojových materiálů a dá se využít levný a dostupný materiál, jako například DIN 1.0570 (ČSN 11 523). V případech, kdy jsou rozměry použitého nástroje veliké, lze využít mimo jiné i slitin hliníku ke snížení celkové hmotnosti nástroje.

Kotevní deska slouží k uložení střížníků. Aby nedocházelo k přílišnému opotřebení v uložení, využívá se kvalitnějších materiálů, jako například DIN 1.2842 (ČSN 19 312). Kotevní desky nebývají zpravidla tepelně zpracované.

Upínací deska slouží k umístění a upevnění upínací stopky, za kterou se postupový nástroj upíná do beranu lisu. Je to nejsvrchnější deska postupového nástroje a kromě upínací stopky jsou k ní připevněny ostatní desky a střížníky.

Opěrná deska slouží k opření vložkové střížnice v dolní části nástroje anebo střížníků v horní části nástroje. Tato deska bývá již tepelně zpracována anebo se volí takový materiál, který má sám o sobě vysokou pevnost a tvrdost. Ve většině případů se používá kvalitelný materiál DIN 1.2842 (ČSN 19 312).

Desky střížnic se vyrábějí z jednoho prostého a praktického důvodu. Vyrobit desku, která by sloužila celá jako střížná, je velmi technologicky i výrobně náročné. Proto se využije desky, ve které jsou vyrobeny otvory pro vložky střížnic, které jsou následně do této desky vloženy. [3, 13, 26]

2.2 Střížník a střížnice

Střížníky lze vyrábět v různých konstrukčních provedeních. Ať už je ale zvolena jakákoliv varianta, je zapotřebí, aby byly splněny základní předpoklady, které jsou nutné k výrobě kvalitních střížníků. Tyto předpoklady jsou:

- kolmé upevnění,
- tuhost,
- odolnost proti bočním i stíracím silám,
- neotupené ostří.

Pokud se při konstrukci zvolí více střížníků různých průměrů, je zapotřebí teoreticky dodržet násobení délky. Střížníky větších průměrů by měly mít o 0,4 násobek tloušťky stříhaného plechu větší délku než střížníky malých průměrů. Díky této úpravě se zabrání, aby se střížníky menších průřezů lámaly vlivem deformací materiálu při vnikání střížníků většího průměru.

Střížnice jsou díky své složitosti a kladené přesnosti na výrobu jedněmi z nejnákladnějších částí postupového nástroje. Ze zkušeností vyplynulo, že žádný okraj střížnice nesmí být zvláště zeslaben. Proto se musí správně rozdělit střížný otvor, děrující i pomocné otvory. Většina střížnic se zhotovuje způsobem, kdy střížný otvor sahá jen do určité hloubky desky, který následně přechází v úkos. Tento úkos pomáhá také při odstraňování odpadu. [3, 13, 26]

2.3 Ohybník a ohybnice

Ohybník a ohybnice jsou potřebné ve chvíli, kdy je nutné část výrobku ohnout v určitém úhlu. Při ohýbání je potřeba brát v potaz odpružení. Proto se ohyb provádí ve více krocích nebo je použita kalibrace ohybu. Obě součásti by měly být dostatečně tvrdé a otěruvzdorné, proto se u nich využívá tepelného zpracování a dle potřeby se následně také využívá technologie povlakování. [3, 13, 26]

2.4 Vodící lišty, pouzdra a čepy

Vodící lišty jsou pevně uchyceny na nástroji. Jejich jedinou funkcí je vést pás plechu v postupovém nástroji. Při kombinaci stříhu a ohybu zajišťují také nadzvedávání plechu, který ulpívá na tažnici. [3, 13, 26]

Funkcí vodících pouzder je vést vodící čep, který musí být velmi přesně vyroben a jeho poloha v nástroji je velmi důležitá. Od vodících čepů totiž vycházejí všechny funkční rozměry. U vodících pouzder je zapotřebí zajistit mazání, aby nedošlo k jejich zadření a následnému poškození nástroje.

Vodící čepy zajišťují přesné vedení horní části nástroje k dolní. Dle potřeby se čepy nakupují, popřípadě, pokud jsou speciálně upraveny, se nechávají vyrobit na zakázku. [3, 13, 26]

2.5 Upínací stopky a pružiny

Většina upínacích stopek je normalizována z důvodu zajištění kompatibility s beranem lisu. Stopky zajišťují připevnění postupového nástroje ke stroji.

Základními funkcemi pružin je vytažení střížníku ze stříhaného materiálu a dále pak nastavení nástroje do výchozí polohy, aby mohl být znovu použit. [3, 13, 26]

2.6 Hledáčky a dorazy

Hledáčku se využívá v případě, že je zapotřebí přesného vystředění stříhaného pásu. Jejich využití spočívá ve vystředění pásu přes otvor, který je vystřižen v předešlém kroku. Otvory pro hledáčky se zhotovují většinou v odpadové části pásu.

Dorazy slouží k omezení posuvu pásu. Jako dorazů se využívá buď kolíků zabudovaných ve střížnici anebo různých mechanických dorazů. Konstrukce dorazů by měla být jednoduchá, aby byly snadno ovladatelné. [3, 13, 26]

3 TEORIE TVORBY VÝROBNÍCH POSTUPŮ

V každé strojírenské společnosti probíhá řada různých a na sobě závislých pochodů. Tyto pochody daných činností jsou souhrnně nazvány výrobní proces. Dá se tedy říci, že výrobní proces se skládá ze za sebou jdoucích operací, za pomoci kterých dochází k přetvoření výchozího materiálu (polotovaru) v hotový výrobek. Tyto operace jsou vykonávány za účasti práce zaměstnanců společnosti a jejího strojního vybavení.

Do výrobního postupu se zahrnuje nakoupení či zhotovení polotovaru z vlastních zásob společnosti, jeho následného opracování na jednotlivých specializovaných odděleních, tepelné zpracování, montáž sestav, testování a konečná kontrola na výstupu ze společnosti. Dále k tomu patří i samotná manipulace, uskladnění a přeprava k zákazníkovi. Ve výrobním postupu se uvádí:

- popis prací a výrobních metod ve správném pořadí (sledu),
- počet vyráběných kusů,
- výrobní prostředky (výrobní stroje, přípravky, nástroje a měřidla),
- technologické podmínky,
- režimy práce strojů,
- rozměry polotovaru před obráběním a změny v průběhu obrábění,
- způsoby tepelného zpracování,
- odměny za vykonanou práci.

Výrobní postup je podkladem určení:

- času nutného k provedení jednotlivých operací, vhodného vybavení pracovišť stroji, zařízením a nářadím,
- kapacit, tj. počtu pracovišť a pracovníků,
- plánovaných vlastních nákladů výroby,
- výrobních úkolů pracovišť, dílny, provozu, závodu, podkladů pro odměňování,
- organizace, plánování i řízení výroby. [12, 13]

Za samotnou tvorbu výrobního postupu je odpovědný technolog - postupář, který svou funkcí spadá do úseku technické přípravy výroby. Povinností technologa - postupáře je velmi pečlivé zpracování výrobního postupu, stejně jako se musí co nejpečlivěji zpracovat i výrobní výkresová dokumentace, aby nedocházelo k neshodným výrobkům. Neshodné

výrobky jsou pro společnost samozřejmě nežádoucí, protože vedou ke zpoždění výroby a celkovému nárůstu nákladů na zakázku. Výrobní postupy proto musejí být:

- úplné, tj. nesmějí v nich být zapomenuty žádné údaje, potřebné pro výrobu,
- správné, tj. nesmějí v nich být žádné chyby a omyly, které by ztěžovaly výrobu a zvětšovaly zmetkovitost,
- stručné, tj. nesmí se v nich plýtvat zbytečně slovy,
- srozumitelné a jednoznačné, tj. musí jasně určovat pořadí prováděných prací a neumožňovat jiný výklad,
- úhledné, neboť vnější úprava nepřímo zvyšuje jakost výroby,
- hospodárné, tj. využívat výrobních zařízení společnosti při minimálních výrobních nákladech a vysoké produktivitě práce. [12, 13]

3.1 Členění výrobních postupů

Pokud to organizace společnosti umožňuje, vede podrobnější zpracování výrobního postupu k omezení zmetkovitosti. Dle náročnosti je potřeba výrobní postupy rozdělit na jednotlivé operace, úseky, úkony a pohyby.

- Operace je považována za jednotlivou část výrobního procesu. Jedná se o souvisle prováděnou a ukončenou část procesu, která se dá charakterizovat snahou o dosažení stejného výrobního cíle. Většinou je prováděna na jednom pracovišti jeho obsluhou.
- Za úsek je považována část operace, při které se provádí práce za zhruba stejných technologických podmínek.
- Za úkon je považována jednoduchá organizačně neoddělitelná pracovní činnost. Například upnutí předmětu do stroje, uvedení či zastavení činnosti stroje, samotné obrábění a v neposlední řadě také vyjmutí výrobku.
- Za pohyb se bere nejmenší část pracovní činnosti. Jednotlivé pohyby se popisují hlavně v hromadné výrobě. Musí být uvedeny co nejjednodušeji a jsou to nejmenší měřitelné prvky. [12, 13]

3.2 Sled operací

K dosažení takového výrobního postupu, který bude zajišťovat veškeré technické požadavky udané konstruktérem, musí mít sled operací jistý řád. Za technické požadavky

se považuje samotný geometrický tvar součásti, přesnost rozměrů, hodnoty tepelného zpracování a povrchových úprav a v neposlední řadě také drsnost obráběných ploch. Zároveň musejí být udrženy výrobní náklady v nejnutnější výši a musí být zajištěna nejvyšší možná produktivita práce.

Na samotný sled operací má vliv hlavně strojní vybavení společnosti, které jsou pro danou výrobu zapotřebí, dále pak samotný tvar a velikost součásti, její přesnost a drsnost, druh materiálu a hmotnost, celkové množství vyráběných kusů a v neposlední řadě požadavky na kvalitu a celková spolehlivost výroby.

Při tvorbě sledu operací platí základní obecná pravidla:

- První operace se volí příprava materiálu, což značí přípravu polotovaru pro následné opracování. Polotovary se buď to externě nakupují anebo se používají interní zásoby společnosti.
- Další operace se již zařazují operace výrobní. Tady platí zásada, že hrubovací operace stojí na začátku výrobního postupu, následně se řadí tepelné zpracování a operace, které udávají finální tvar výrobku. Jakost povrchu a přesnost se dávají na konec. Také se nesmí zapomenout ani na sražení hran, což ve většině případů zajišťuje konečná úprava.
- Do výrobního postupu by se měly zařazovat i kontrolní operace. Kontrola probíhá buď tzv. samokontrolou, kdy má každý pracovník vyčleněn určitý čas na kontrolu své vlastní práce, nebo se volí kontrola v měrovém středisku. Pokud je kontrola provedena v měrovém středisku, tak se tato kontrola uvádí ve výrobním postupu jako samostatná operace a je řazena průběžně ve výrobním cyklu. Těmito kroky se tak zajišťuje, aby z výrobku nevznikl neshodný výrobek a nedošlo ke zbytečnému navýšení výrobních nákladů na zakázku. [12, 13]

Tab. 1 Vliv sériovosti na výrobní postupy [12]

Sledované hledisko	Výroba		
	Malosériová	sériová	hromadná
Podrobnost výrobního postupu	Rámcový, obsahuje přehled operací s hlavními údaji. Složité operace jsou rozvedeny na úseky a vyžadují značný výrobní čas.	Podrobný a přesný, operace jsou často vyznačeny nákresem a kótami s podrobným popisem. Složité operace jsou rozvedeny na úseky a úkony, začíná se využívat návodek na každou operaci s podrobným popisem práce, stroje, nářadí a podmínek práce.	Podrobné návodky na každou operaci, které jsou doplněny nákresem. Operace bývají rozvedeny až na pohyb. Jednotlivá pracoviště bývají doplněna o pohybovou studii.
Materiál polotovaru	Tyčový polotovar normálních rozměrů, výkovky zhotovené volným kováním anebo odlitky s velkými přídávky na obrábění.	Běžný a profilový materiál, speciálně požadované profily polotovaru, rotační a zápusťkové výkovky nebo přesné odlitky.	Speciálně tažený profilový materiál, odlitky z metody vytavitelného modelu, stříkané odlitky ze skořepinové formy a přesné výkovky.
Obráběcí stroje	Vesmíš univerzální, výjimečně speciální.	Univerzální stroje, jejich specializace za pomoci přípravků. Vysoce výkonné speciální stroje (vícebřité a programovatelné).	Speciálně sestavené výrobní linky či automatické linky.

Nástroje	Vesměs normální, ve výjimečných případech speciální.	Normální, převážně speciální, které jsou konstruované pro dané operace, sdružené a vysoce výkonné nástroje.	Ve většině případů speciální, normální.
Měřidla	Normální a mezní měřidla pro standardní rozměry.	Speciální kalibry a mezní měřidla.	Automatické měřicí přístroje a speciální měřidla.
Přípravky	Univerzální, jako například sklíčidla, dělicí hlavy, svěráky, ve výjimečných případech jednoduché pomocné přípravky.	Speciální přípravky vybavené rychloupínacím a středícím zařízením, dále pak přípravky s pneumaticko-hydraulickým upínáním.	Přípravky speciální, mechanizované, vysoce výkonné, trvale spojené se strojem a vybavené automatickým upínáním.
Kvalifikace pracovníků	Je vyžadován vyšší stupeň kvalifikace.	Jsou vyžadovány dvě skupiny pracovníků: seřizovači strojů a obsluhující pracovníci. Seřizovači jsou vysoce kvalifikovaní pracovníci, obsluha již může mít kvalifikaci nižší.	Vysoce kvalifikovaní pracovníci údržby a seřizování. Dále pak pracovníci s nižší kvalifikací na obsluhu.
Technologické podmínky	Do postupů se nevyznačují. Jejich určením je pověřena obsluha stroje nebo mistr.	Aby docházelo ke správnému využití strojů, uvádějí se ve výrobních postupech.	Nejdůležitější jsou ekonomické podmínky, aby nedocházelo k přerušení chodu výrobní linky.
Normování času	Za pomoci sdružených normativů se určují normy času na jednu celou operaci.	Je zapotřebí provádět rozbor vykonané práce. Norma se následně propočítává za pomoci úkonových normativů anebo na základě měření.	Ke zdokonalení práce na lince se provádějí pohybové studie.

4 JEDNOTLIVÉ ETAPY POTŘEBNÉ KE ZHOTOVENÍ POSTUPOVÉHO NÁSTROJE

Při potřebě nového postupového nástroje se zákazník obrátí na svého dodavatele, kterému pošle žádanku s průvodním textem, ve kterém specifikuje své požadavky. Obchodní zástupce, který se zabývá danou výrobní oblastí, se seznámí s požadavky zákazníka a tyto požadavky předává na oddělení technické přípravy výroby. Tento krok se provádí hlavně z toho důvodu, že postupový nástroj není snadnou záležitostí z hlediska výrobního a pro vyhodnocení ceny a potřebných výrobních kapacit je zapotřebí zapojit téměř všechna oddělení společnosti.

V rámci technické přípravy prvně putuje žádanka do konstrukční části. V konstrukci se provede předběžný náčrt a za pomoci odborných znalostí se odhadne počet potřebných kroků a základní rozměry nástroje. Tyto informace konstrukce předává na oddělení technologie, kde se odhadnou potřebné výrobní kapacity pro kompletní zhotovení nástroje. Všechny tyto informace následně putují do části normativ, kde se provede nacenění úplných výrobních nákladů postupového nástroje pro zákazníka. Všechny tyto kroky jsou založeny na odbornosti a kompetentnosti jednotlivých pracovníků, protože „tabulky“ pro usnadnění tvorby ceny v tomto segmentu neexistují. Pracuje se zde s odhadem a zkušenostmi z dříve vyrobených obdobných nástrojů.

Tento návrh ceny se znovu navrácí na obchodní úsek, kde se k němu připočte procentuální marže a takto stanovená cena se odesílá zákazníkovi v rámci cenové nabídky. V ideálním případě bude zákazník s cenou souhlasit. Pokud však bude mít výhrady stran cenové kalkulace, je na straně obchodního zástupce společnosti, aby se zadavatelem dohodl podmínky vyhovujícím oběma stranám. To znamená, aby výrobní firma na zakázce neprodělala a odběratel byl spokojený s konečnou cenou. Po odsouhlasení celkové ceny na výrobu poté zadavatel odešle společnosti závaznou objednávku na výrobu postupového nástroje. Tato závazná objednávka je následně navedena do systému společnosti a na jejím základě se začnou provádět jednotlivé kroky potřebné k jejímu úspěšnému dokončení.

Jako první přichází na řadu konstrukce požadovaného postupového nástroje v modelovacím 3D programu. Při konstrukci se vychází z požadovaného tvaru, kterého je potřeba dosáhnout. Postupně se navrhují jednotlivé kroky, které jsou buď to opatřeny střížníky či ohybníky tak, aby nedošlo k poškození vyráběného dílu a aby bylo dosaženo jeho požadovaného tvaru. Zároveň s návrhem kroků se navrhují jednotlivé střížníky a

ohybničky. Po návrhu jednotlivých kroků se přistupuje ke konstrukci dalších částí, jakými jsou například nosné, kotevní či opěrné desky, střižnice a ohybnice a v neposlední řadě také způsob uložení a vedení jednotlivých částí v celkové sestavě. Dále se navrhuje normalizované díly a ke všem těmto položkám se vytváří kusovník, za pomoci kterého se následně všechny části objednávají či vyrábějí. Po zhotovení konstrukce se provede vydetailování výrobních částí a vytisknou se výrobní výkresy potřebné pro tvorbu technologických postupů.

Takto zhotovená dokumentace se předá na úsek technologie, kde se veškeré výrobní výkresy čitelně a nesmazatelně označí, aby nedocházelo k záměně při výrobě a následné produkci případných zmetků. Na jednotlivé výrobní pozice se stanoví výrobní postupy s ohledem na neekonomičtější výrobu. Technolog tvořící postupy si musí výkresy detailně prohlédnout, stanovit nejvýhodnější sled operací a doplnit jednotlivé operace o stručný text, ve kterém budou pro jednotlivé díly napsány nejdůležitější informace, případně informace potřebné, dle zvážení technologa, pro následné kroky ve výrobě.

Takto vyhotovená dokumentace přechází na cenové oddělení, kde se k jednotlivým operacím přiřadí normovaný čas potřebný pro výrobu. Tento čas se zakládá opět na odborném odhadu. Následně dojde k vytištění postupů, ke spárování jednotlivých postupů a výkresů a veškerá dokumentace přechází do výroby.

Výroba se skládá z obrábění dílu za měkka a za tvrda. Mezi měkké operace patří soustružení, frézování či vyvrtávání, mezi tvrdé operace patří například broušení či erodování. [13]

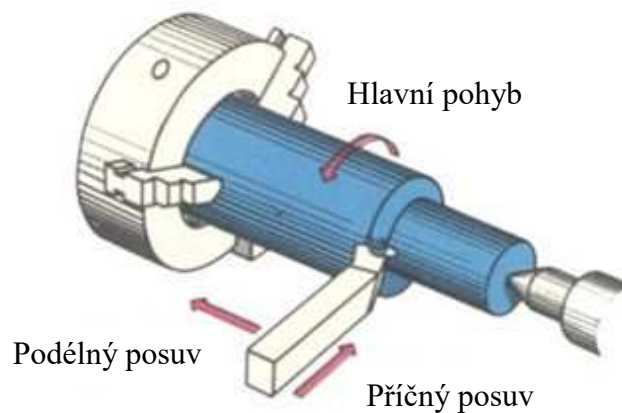
4.1 Soustružení

Za soustružení se považuje obráběcí metoda, která se používá pro zhotovení dílů rotačního charakteru. Při soustružení se většinou používají jednobřité nástroje různého provedení. Díky mnoha hlediskům, za pomoci kterých se dá soustružení řadit mezi jednodušší metody obrábění, je velmi často využívanou operací ve výrobním postupu, pokud to charakteristika vyráběného dílu umožňuje. [14]

Pracovní pohyby nástroje a obrobku

Při samotném soustružení vykonává hlavní řezný pohyb obrobek a to díky své vlastní rotaci. Další řezný pohyb vykonává již nástroj – soustružnický nůž. Tyto pohyby jsou

podélný a příčný posuv. Podélný posuv označuje samotné obrábění a příčný nastavení hloubky řezu. [10]



Obr. 5 Pohyby při soustružení [10]

4.2 Frézování

Při frézování je materiál odebrán břity otáčejícího se nástroje. O posuv se nejčastěji stará součást upnutá na pracovním stole a to převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U NC nebo CNC strojů jsou již posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou být realizovatelné ve všech směrech. Samotný řezný proces je přerušovaný, neboť každý zub nástroje odřezává krátké třísky s proměnnou tloušťkou.

Z technologického hlediska se rozděluje frézování na válcové a čelní podle toho, jestli se frézuje za pomoci obvodu frézy nebo čela frézy. Z těchto základních typů frézování se následně vychází například u planetového anebo okružního frézování. [14]

4.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Všechny výše uvedené metody se využívají při obrábění válcových děr. Charakteristickým znakem těchto technologií je nástroj, který svým tvarem a dalšími technologickými parametry výrazně ovlivňuje výsledné obrobené otvory. Ve většině případů se využívají vícebřité nástroje.

Vrtání je výrobní metoda, kdy se zhotovují anebo zvětšují již předvrtané díry. Hlavní pohyb zde vykonává nástroj a je to pohyb rotační. Osa vrtáku bývá v ose požadovaného otvoru a jeho posuv je vykonáván po této ose.

Pokud je použita technologie vyhrubování, vystružování a zahlubování, využívají se analogické pohyby nástroje pro dosažení vyšších kvalitativních parametrů obráběných děr.

Nejdůležitějším charakteristickým bodem všech nástrojů na otvory je, že se řezná rychlost u nich zmenšuje od obvodu směrem ke středu nástroje. Udávaná řezná rychlost nástroje je obvodová rychlost na maximálním průměru nástroje. [14]

4.4 Broušení

Broušení se využívá zejména tehdy, pokud jsou požadavky na výslednou kvalitu vyráběných rozměrů a vlastní jakost povrchu. Dále se broušení používá tam, kde selhávají ostatní konvenční metody obrábění, jako je soustružení nebo frézování. Jedná se hlavně o obrábění tvrdých materiálů. [14]

4.4.1 Technologická charakteristika broušení

Samotné broušení má podobné výrobní charakteristiky jako jiné obráběcí metody. Asi nejbližší je metodě frézování. Oproti jiným výrobním metodám však dochází při broušení ke kvantitativním a kvalitativním odlišnostem, které jsou způsobeny převážně vlastnostmi brousícího kotouče a řeznými podmínkami. Od samotného frézování se broušení liší hlavně v různorodosti geometrického tvaru brousících zrn a jejich nepravidelném rozmístění na ploše nástroje. Úhly čel zrn jsou proměnlivé a bývají vesměs záporné. Samotný brousící proces je doprovázen vysokými řeznými rychlostmi a malým průřezem odebírané třísky.

Naproti jiným metodám obrábění je broušení charakterizováno taky takzvanou schopností samoostření. Tato vlastnost brousícího nástroje se odvíjí od poměrně málo pevně ukotvených brousících zrn ve vazbě kotouče. V důsledku navýšení řezných sil na otupených zrnech se tato vylomí a jejich funkci nahradí zrna další, neotupená. [14]

4.5 Nekonvenční metody obrábění

Při využití těchto metod se nepoužívá standardní řezný nástroj, u kterého se dá definovat pracovní část nebo nástrojové úhly. Při obrábění se ve smyslu standardních metod obrábění netvoří tříska, neboť k úběru materiálu dochází převážně za pomoci tepelných, chemických popřípadě i abrazivních metod či jejich vzájemnou kombinací.

Rozvoj ve využívání nekonvenčních technologií se odehrál hlavně v období, kdy se začaly pro výrobu používat nové materiály s vysokou pevností, tvrdostí a houževnatostí, materiály

odolné proti opotřebení apod., které nelze standardními metodami hospodárně obrábět. Jsou to například materiály založené na titanu, keramice či slinutých karbidech.

Nekonvenční metody obrábění lze charakterizovat širokým rozsahem parametrů, jak z hlediska technologických podmínek, tak i z hlediska výstupů příslušných procesů. Mezi základní charakteristiky se řadí:

- materiál nástroje nemusí být tvrdší než obráběný materiál,
- mohou se provádět složité technologické operace, mezi které se řadí například výroba děr se zakřivenou osou, obrábění děr složitých tvarů a tvarových dutin,
- rychlost, možnosti a výkonnost samotného nekonvenčního obrábění nezávisí na mechanických vlastnostech obráběných materiálů,
- lze využít zavedení plné mechanizace a automatizace,
- díky využitelnosti přesnosti strojů lze snížit riziko provedení neshodného výrobku.

Podle volby účinku oddělování materiálu se tato technologie dá rozdělit na metody:

- a) Oddělování materiálu tepelným účinkem
 - elektroerozivní obrábění – EDM,
 - obrábění paprskem plazmy – PBM,
 - obrábění paprskem laseru – LBM,
 - obrábění paprskem elektronů – EBM.
- b) Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem
 - elektrochemické obrábění – ECM,
 - chemické obrábění – CM, CHM.
- c) Oddělování materiálu mechanickým účinkem
 - ultrazvukové obrábění – USM,
 - obrábění paprskem vody – WJM, AWJM.

Při využívání nekonvenčních technologií se velmi často využívají CNC řídicí systémy. Díky využití těchto systémů se výrazně rozšiřuje i oblast aplikace těchto technologií. [29]

4.5.1 Elektroerozivní obrábění

Tento způsob obrábění zahrnuje řadu metod, které mají jeden společný znak – úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými, popřípadě obloukovými výboji mezi nástrojem a obrobkem. Z polotovaru, který se obrábí, jsou tavením a

odpařováním odstraňovány velmi malé částice, které mají tvar dutých kuliček. Po odebrání jsou z oblasti obrábění následně odplavovány za pomoci dielektrické kapaliny.

Mezi dielektrické kapaliny se řadí např. petrolej, vodní sklo, neionizovaná destilovaná voda či lehký strojní nebo transformátorový olej. Samotná kapalina má velmi důležitý vliv na celkový proces eroze. Aby se docílilo co nejlepšího obrobení, musí kapalina splňovat následující požadavky:

- musí zabezpečovat potřebnou vzdálenost mezi elektrodami, aby přechod proudu mezi nimi vyústil do výboje,
- musí mít nízkou viskozitu a dobrou smáčivost, aby byla rychle obnovována izolace po výboji,
- musí být chemicky neutrální, aby zamezovala vzniku koroze,
- musí mít dostatečně vysokou teplotu hoření, aby nedocházelo ke vzplanutí,
- musí zabezpečovat chlazení elektrod a odebíraných částic obráběného materiálu,
- při práci s ní nesmí vznikat jedovaté výpary a nepříjemný zápach,
- nesmí podléhat chemickým změnám, musí být stálá, lehce vyrobitelná a levná,
- musí zabezpečovat spolehlivý odvod erozních zplodin ze zóny úběru obráběného materiálu.

Elektrojiskrové hloubení

Elektrojiskrové hloubení se řadí mezi základní typy elektroerozivních metod obrábění. Největší uplatnění nachází při výrobě tvarově složitých vnějších a vnitřních ploch při výrobě zápuštěk, forem pro lití, střížných nástrojů a nástrojů pro lisování.

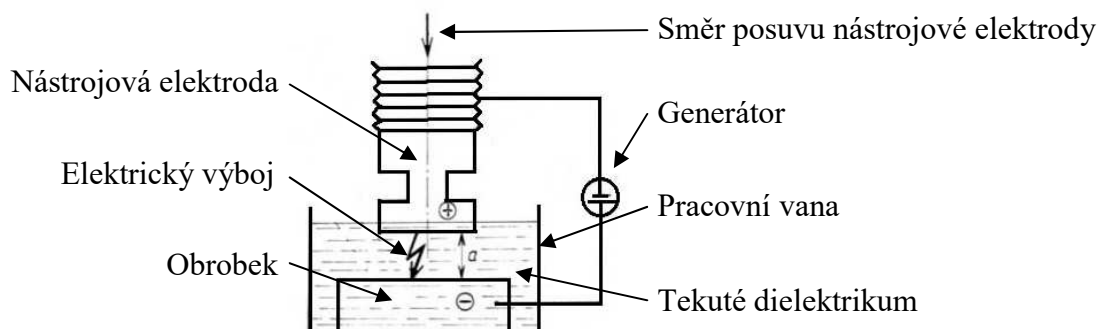
Mezi základní výhody elektrojiskrového obrábění patří:

- bez ohledu na mechanické vlastnosti materiálu lze obrábět všechny vodivé materiály,
- díky různému nastavení lze vyrábět povrchy s různou kvalitou,
- výroba složitých tvarů, které nelze vyrobit jinými způsoby obrábění,
- obrobek není vystaven žádným mechanickým zatížením,
- vzniklý odpad při výrobě je zanedbatelný,
- snížení pracnosti při výrobě složitých tvarů,
- příprava nástrojových elektrod je poměrně jednoduchá,
- výrobek je po obrábění bez otřepů,

- lze velmi snadno dosáhnout automatizace procesu.

Mezi nevýhody se řadí:

- nepřímá úměra mezi produktivitou práce a jakostí obrobené plochy,
- nutnost zajistit dostatečné množství dielektrické kapaliny pro ponoření obrobku při obrábění,
- výsledná jakost povrchu je závislá na mnoha faktorech, které nelze předem spolehlivě určit,
- při obrábění měkkých materiálů se nedosahuje takové produktivity práce jako konvenčním obráběním. [29]

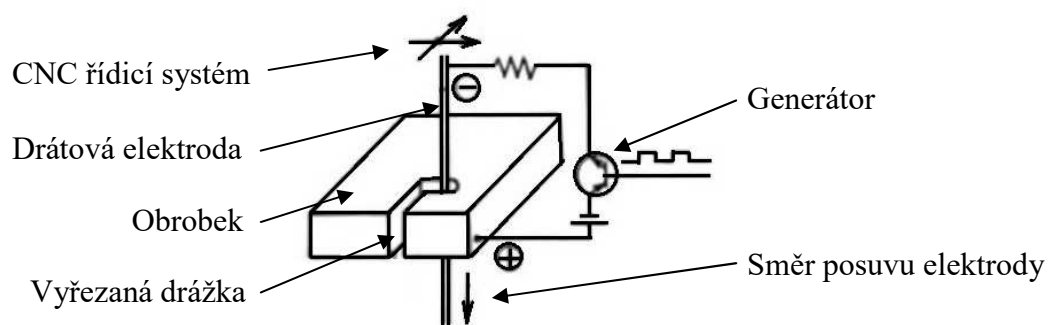


Obr. 6 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [21]

Elektrojiskrové řezání

U této metody obrábění je charakteristická vlastnost minimální šířka řezu a nachází uplatnění zejména při výrobě střížných a lisovacích nástrojů, při dělení velmi tvrdých a pevných materiálů. Nástrojovou elektrodu zde zosobňuje tenký drát, který je za pomoci speciálního zařízení odvíjen z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu.

Dráty o průměru 0,03 až 0,35 mm jsou vyráběny z mědi či mosazi. Pokud je potřeba provádět velmi tenké řezy, vyrábí se drát z molybdenu, u kterého se dosahuje průměru 0,03 až 0,07 mm. V současné době, kdy je cenově dostupné již i povlakování, se dráty vyrábějí ze slitiny mědi, která je následně povlakována směsí s vysokým obsahem zinku. Díky mēdēnému jádru je umožněna práce při vysokých řezných rychlostech, povlak pak zajišťuje stabilní výboj a zaručuje vysokou jakost povrchu obráběné plochy. [29]



Obr. 7 Princip elektroerozivního obrábění drátovou elektrodou [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je konstrukce, výroba a otestování postupového nástroje na výrobek požadovaný zákazníkem.

Aby mohlo být úspěšně dosaženo požadovaného cíle, je potřeba se prvně seznámit s poznatky, které jsou uvedeny v teoretické části.

Teoretická část se zabývá základní terminologií, která je potřebná pro zhotovení postupového nástroje. Je zde průřez technologií stříhání a ohýbání, tvorbou technologických postupů a v neposlední řadě celkový průběh zakázky ve společnosti.

Praktická část se zabývá výrobou nejdůležitějších částí postupového nástroje, následnou montáží a závěrečným testováním zkompletovaného nástroje.

6 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI

Obchodní jméno: ZV – Nástroje s.r.o.

Sídlo: Česká republika

Předmět podnikání: Nástrojářství, obráběčství, zámečnictví

Společnost byla založena roku 1938 jako nářaďovna tehdejšího podniku Československá zbrojovka. Transformace společnosti byla dokončena v roce 2009, kdy byla zapsána do obchodního rejstříku pod nynějším názvem ZV - Nástroje s.r.o.. Společnost měla ve své historii různorodou výrobu. Zabývala se jak výrobou zbraní, nástrojů, přípravků, kalibrů a jiných měřidel tak i například výrobou textilních a pletacích strojů. V současné době se orientuje na kusovou výrobu hlavně pro zahraniční odběratele, kteří mají největší zastoupení v Rakousku, Německu, Slovensku, Polsku, Indii, USA a Velké Británii. Tyto trhy dokázala společnost ovládnout nejen díky certifikaci systému řízení jakosti dle normy ISO 9001:2016 ale také i díky vysoké odbornosti a manuální zručnosti všech pracovníků, kteří ve společnosti působí. [13]

6.1 Strojní park společnosti

Tab. 2 Strojní park společnosti

		Maximální rozměry [mm]				
	Typ	Ks	Ø	x	Y	Z
Soustruhy	Klasické	16	200	1150		
	CNC Masturn 54	1	350	865		
	CNC Masturn 50	1	350	860		
	CNC HAAS TL – 1 HE	1	216	762		
	MORI SEIKI NLX2500/700Y	1	390	728		
	MORI SEIKI NLX2000	1	390	510		
Frézky	Klasické	22		320	1300	
	NC MAHO 50S	1		400	367	

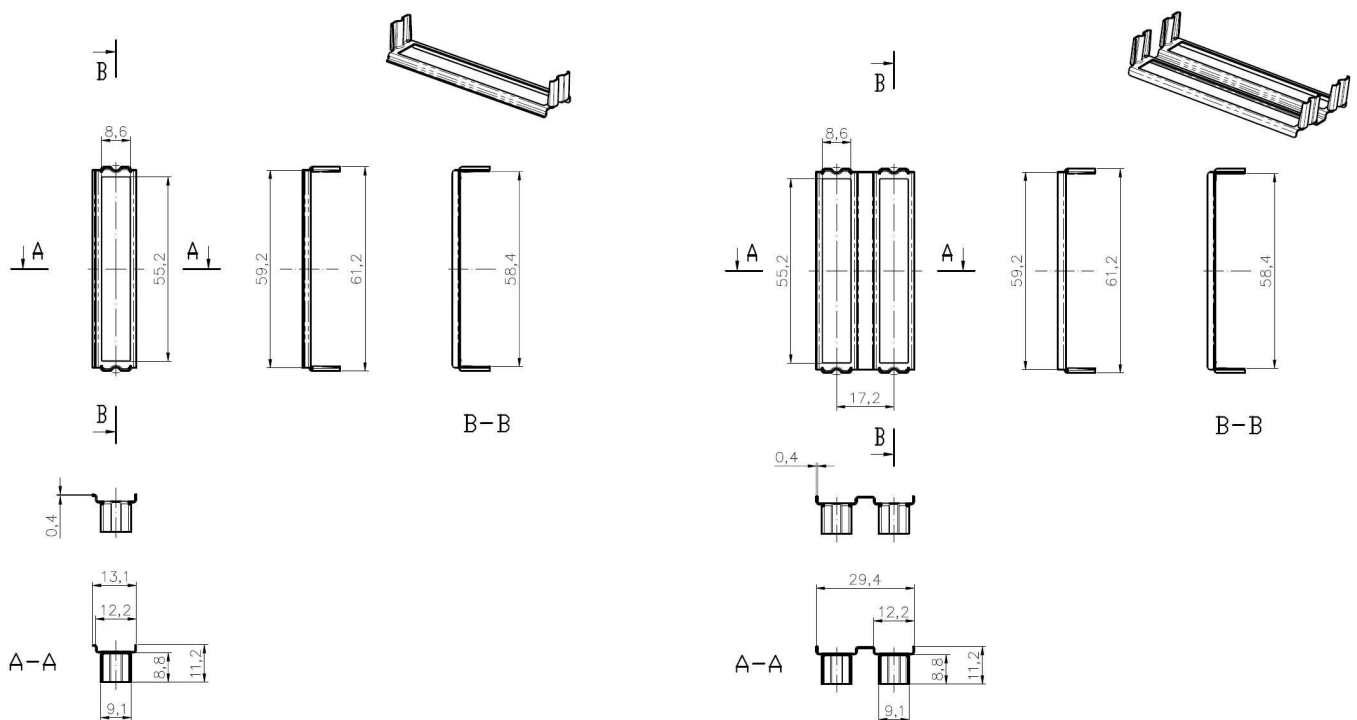
	FGSQ 32 CNC B	1		320	1000	
Frézovací centrum	MCV 1000 CNC	1		1016	610	660
	MCV 1000 Quick CNC	1		1016	610	660
	MCV 1016 Quick CNC	2		1016	610	710
Pětiosé obráběcí centrum	DMF 180	1		1600	700	700
Vodorovná vyvrtávačka	VH TOS W 9A	1		1500	1120	
Souřadnicová vyvrtávačka	WKW 100	1		1000	1300	
	SIP 600	1		700	1000	
	SIP MP 3C	1		450	300	
Rovinné brusky	Klasické	10		300	1000	
Hrotové brusky	Klasické	10	360	1500		
Brusky na otvory	Klasické	7	380	1000		
Brusky na závity	Reishauer	2	180	800		
CNC - Roztečová/souřadnicová bruska	HAUSER SIP S40 CNC	2		650	450	500
CNC bruska	Junker	1	290			800
Elektrojiskrová hloubička	AGIE MONDO 2	1		300	220	200
	SIP 3EE	1		550	460	460
	AGIE TRON EMS 3	1		420	320	460
Elektrojiskrová drátovka	Mitsubishi FA 20 VS	1		500	350	300
	Mitsubishi MV2400S	2		600	400	310

7 KONSTRUKCE A VÝROBA POSTUPOVÉHO NÁSTROJE PRO DANÝ VÝROBEK

Základem pro konstrukci a výrobu postupového nástroje bylo zadání od zákazníka, který si dodal požadovaný tvar dvou potřebných součástí ve formě modelu a specifikoval využití nástroje či nástrojů na stroji se jmenovitou tvářecí silou max. 1000 t. Dále byl specifikován materiál a to hliníkový plech MS-A930017MC-SH0015 o tloušťce 0,4 mm.

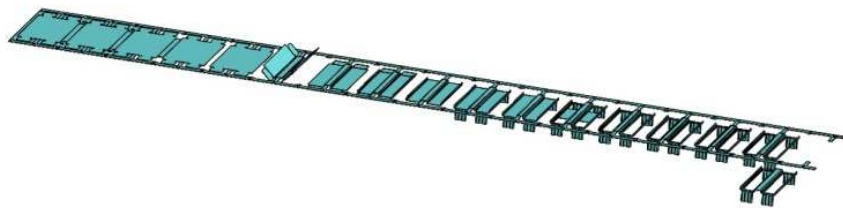


Obr. 8 Model výrobku ve dvou možných variantách



Obr. 9 Detaily výkresů jednotlivých variant

V první fázi byl navržen nástřihový plán, který byl následně odeslán k oponentuře zadavateli. Po odsouhlasení nástřihového plánu se pokračovalo v konstrukci postupového nástroje.



Obr. 10 Nástřihový plán

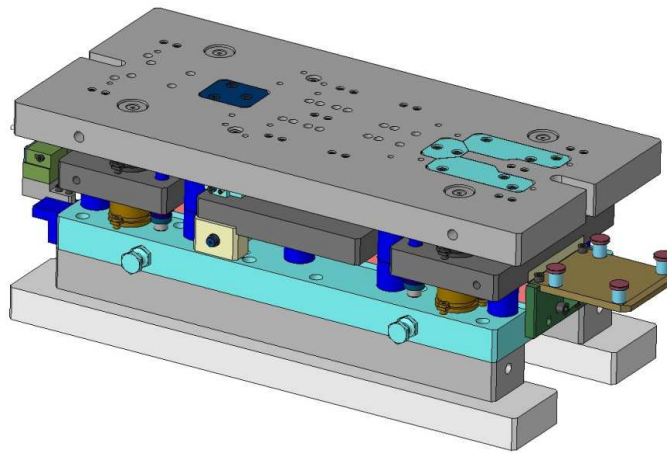
V rámci konstrukce byla zvolena výroba pouze jednoho nástroje s variabilním výstupním dílem za účelem snížení nákladů. Dále byla funkční část nástroje rozdělena do tří sekcí, hlavně z důvodu snadnější výroby, montáže a případné následné úpravy jednotlivých dílů.

Celkem bylo zvoleno čtrnáct anebo patnáct kroků (dle potřebné varianty). Prvním krokem se v pásku vystříhnou otvory pro chytáky, které zajišťují přesnou polohu pásku v jednotlivých krocích. Ve druhém až čtvrtém kroku se za pomoci střižníků prostříhnou otvory a postupně obstříhne celý funkční tvar výrobku. V pátém kroku se na pásku nic nemění, neboť v těchto místech dochází k přechodu z jedné sekce postupového nástroje do druhé. Tento krok je nazván jako volný krok. V šestém a sedmém kroku dochází za pomoci ohybníků k ohýbání součásti. Součást je v tu chvíli stále spojena za pomoci můstků k pásku. V osmém kroku se provádí lemování a v devátém kroku probíhá vytažení tvaru. V desátém, posledním kroku druhé sekce, se provádí ohyb křídel dílu. Jedenáctý krok se nachází opět v přechodu mezi jednotlivými sekcemi postupového nástroje. Tento přechod byl ale oproti prvnímu přechodu využit ke kalibraci ohybu křídel. Dvanáctý a třináctý krok slouží k vytvoření vnitřního prostřihu na výrobku. Vnitřní prostřih se provádí ve dvou krocích, aby nedošlo ke zbytečné deformaci dílu. Podle poptávky po finálním tvaru

dochází ve čtrnáctém a patnáctém kroku k odstřížení jednoduché varianty výrobku. Pokud je poptávka po dvojkusu, čtrnáctý krok se vynechá za pomoci demontování potřebného střížníku a krok se tak stane volným. V patnáctém kroku pak dochází ke zhotovení výrobku ve složitější variantě.

7.1 Sestava postupového nástroje

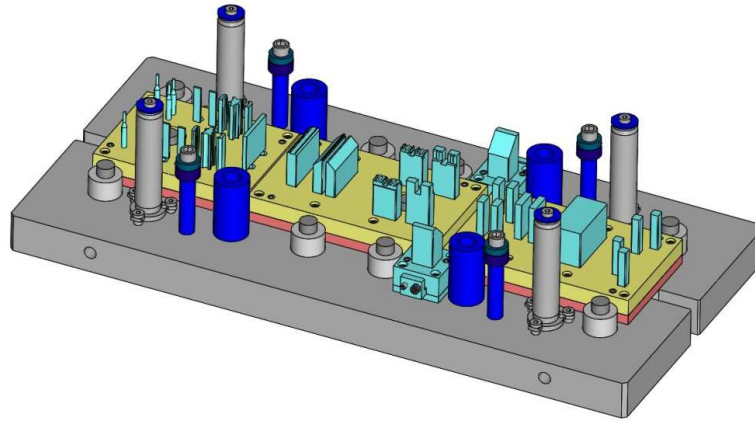
Celková sestava postupového nástroje je složena ze tří částí. Vrchní půlky, mezidesky a spodní půlky nástroje.



Obr. 11 Sestava postupového nástroje

7.2 Přehled a popis jednotlivých součástí postupového nástroje

7.2.1 Vrchní část postupového nástroje

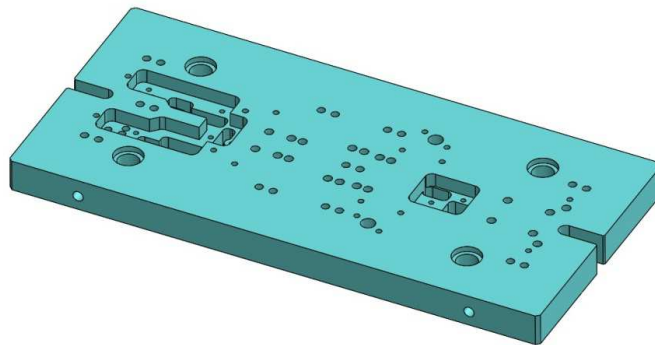


Obr. 12 Sestava vrchní části nástroje

Nosná deska

Využívá se k upnutí vrchní půlky nástroje k beranu lisovacího stroje. Dále jsou na nosné desce upnuty kotevní desky, razníky a ohybníky. Jelikož u nosné desky nejsou vysoké požadavky na tuhost, byl zvolen materiál DIN 1.0570 (ČSN 11 523). Tloušťka nosné desky byla navržena na míru 46 mm s tol. $\pm 0,1$ mm.

Z technologického a výrobního hlediska byla výroba tohoto dílu poměrně jednoduchá. Jedinou důležitou věcí jsou u nosné desky otvory pro vodící sloupky. Proto byl polotovar nejprve zúhlován na míry s přídatkem 0,2 mm na rozměr tloušťky. Všechny ostatní otvory a tvarové otvory byly vyhrubovány. Následně se tloušťka desky dobrousila na rovinné brusce na požadovaný rozměr. V poslední fázi se vrátila zpět na frézovací centrum, kde byly veškeré otvory vyšlichtovány do požadované tolerance. Na zámečnické dílně se provedla úprava a deska následně putovala na montáž.

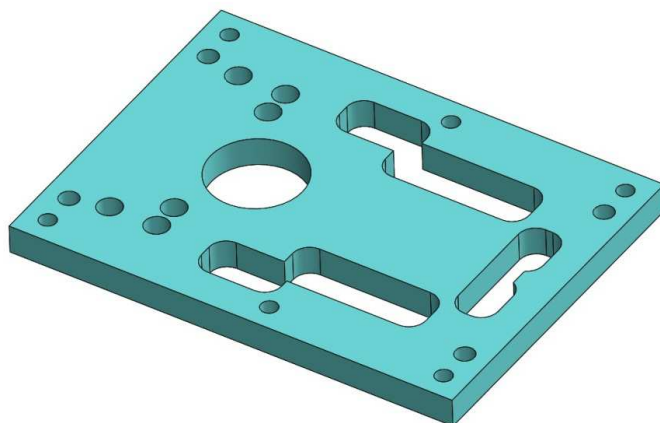


Obr. 13 Nosná deska poz. 201
(rozměry $46 \pm 0,1 \times 360 - 760$ mm)

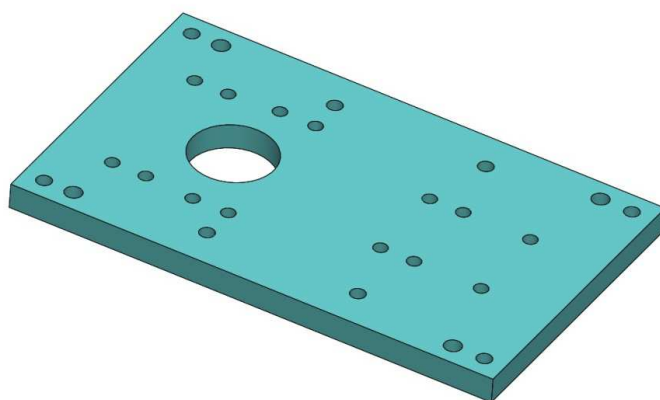
Opěrné desky

O tyto desky jsou v jednotlivých sekcích postupového nástroje opřeny střížníky a ohybníky. Z důvodu větší životnosti byly desky zvoleny z kvalitního materiálu DIN 1.2842 (ČSN 19 312) a hodnota kalení byla stanovena na $55+2$ HRC. Tloušťka všech desek do jednotlivých sekcí byla zvolena v míře $12 \pm 0,05$ mm a šířka byla stanovena na míru 140 mm. Délky desek jsou rozděleny podle sekcí. V první sekci je nejkratší a má míru 188 mm, další dvě byly navrženy na stejnou míru délky a to na 230 mm. Všechna tvarová vybrání byly konstrukčně navrženy s tolerancí $+0,5$ mm a jejich rozteč vč. rozteče všech otvorů byla stanovena na $\pm 0,2$ mm.

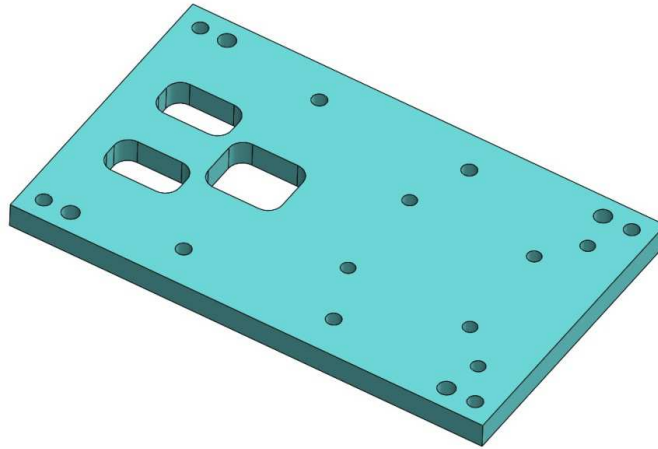
Z technologického hlediska byly desky prvně vyžihány kvůli odstranění vnitřního pnutí, aby se zamezilo nežádoucímu pohybu rozměrů. Poté byly desky zpracovány na frézovacím centru, kde byla zhotovena tloušťka s přídatkem na dobroušeni o velikosti 0,3 mm. Obvod a všechna tvarová vybrání a otvory byly vyšlichtovány. Následně došlo k tepelnému zpracování a zakalení na požadovanou hodnotu tvrdosti $55+2$ HRC. Po kalení byly tloušťky desek dopracovány na vodorovné brusce na plocho na potřebný rozměr a převezeny k montáži.



Obr. 14 Opěrná deska poz. 208
(rozměry $12 \pm 0,05 \times 140 - 188$ mm)



Obr. 15 Opěrná deska poz. 209
(rozměry $12 \pm 0,05 \times 140 - 230$ mm)



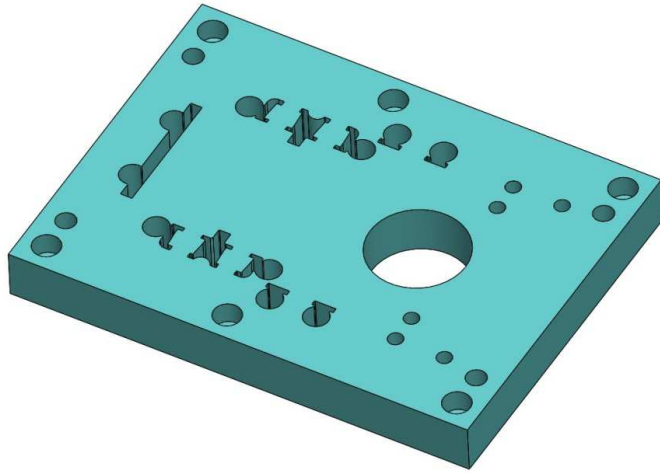
Obr. 16 Opěrná deska poz. 210
(rozměry $12 \pm 0,05 \times 140 - 230$ mm)

Kotevní desky

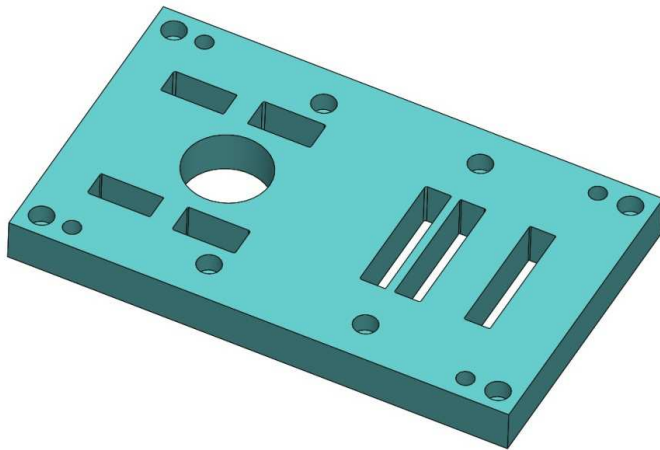
Kotevní desky v jednotlivých sekcích slouží k upevnění střížníků a ohybníků v postupovém nástroji. Materiál pro jejich výrobu byl zvolen DIN 1.2842 (ČSN 19 312) z důvodu vysoké houževnatosti vycházející z chemického složení. Tloušťka desek byla zvolena v míře $20 \pm 0,05$ mm a šířka byla stanovena na míru 140 mm. Délky desek jsou rozděleny podle sekcí. V první sekci je nejkratší a má míru 188 mm, další dvě byly navrženy na stejnou míru délky a to na 230 mm. U otvorů pro střížné tvary v kotevní desce poz. 211 a 213 byla stanovena mezera 0,025 mm, u které byla určena její výrobní tolerance $\pm 0,01$ mm. U otvorů pro tvary byla taktéž stanovena mezera 0,025 mm, ale na rozdíl od otvorů pro střížné tvary byla výrobní tolerance stanovena na $\pm 0,02$ mm.

Při výrobě byly kotevní desky taktéž prvně vyžihány na odstranění vnitřního pnutí. Následné opracování bylo prováděno na frézovacím centru. Tloušťka byla vyrobena s přídavkem 0,3 mm na rozměr, obvod byl zhotoven na čisto dle výkresové dokumentace. Ve všech přesných otvorech a otvorech pro střížné a pro ohýbací tvary byly zhotoveny startovací otvory pro následné dopracování za pomoci drátu na elektroerozivním výrobním zařízení. Vylehčující otvory a otvory pro upínací šrouby byly zhotoveny na čisto. Od frézovacího centra putovaly desky na rovinnou brusku, kdy byla tloušťka dotažena na rozměr v tol. $\pm 0,05$ mm. Na závěr byly tolerované otvory a otvory pro střížné a ohýbací

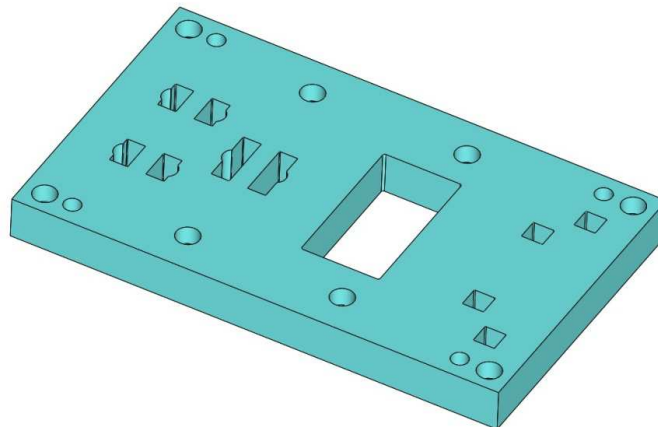
tvary vyřezány na elektroerozivním stroji vč. jednotlivých poznámek na výkresech. Následně putovaly desky na montáž, kde se provedla i celková úprava po drátovém řezání.



Obr. 17 Kotevní deska poz. 211
(rozměry $20 \pm 0,05 \times 140 - 188$ mm)



Obr. 18 Kotevní deska poz. 212
(rozměry $20 \pm 0,05 \times 140 - 230$ mm)



Obr. 19 Kotevní deska poz. 213
(rozměry $20 \pm 0,05 \times 140 - 230$ mm)

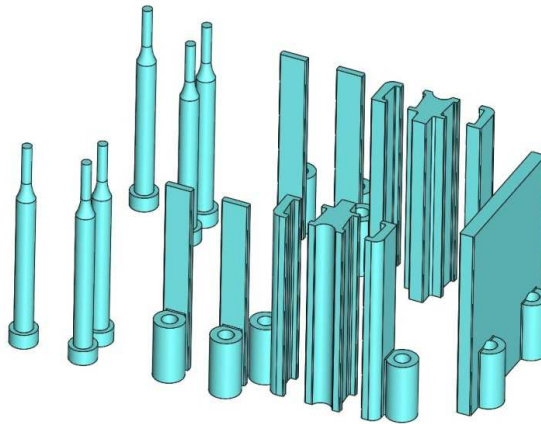
Sady střižníků

Střižníky slouží ke zhotovení požadovaného tvaru. V tomto případě byly použity dva typy střižníků. Pro otvory na centrování pásku v jednotlivých krocích byly zvoleny normalizované střižníky od firmy FIBRO, pro vystřížení požadovaného tvaru byl ke zhotovení střižníků zvolen kvalitní materiál DIN 1.2379 (ČSN 19 573), ke kterému bylo následně zvoleno kalení na hodnotu 59 ± 2 HRC.

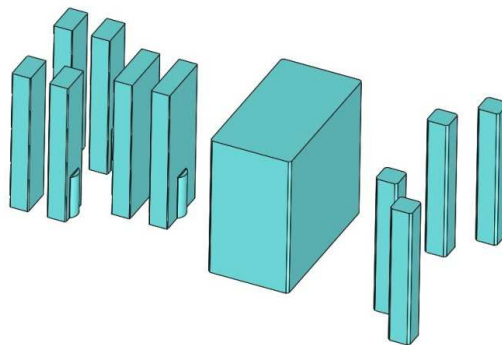
Pro zefektivnění a zjednodušení výroby jednotlivých střižníků byl zvolen výrobní postup za použití tzv. „řezací kostky“, který spočívá ve využití jednoho polotovaru k výrobě více kusů požadovaných dílů. Náklady při využití tohoto postupu jsou sice vyšší, úspory se však dostaví při ostatních operacích výroby. V našem případě byly zhotoveny dvě řezací kostky a to z důvodu snadnější manipulace na jednotlivých pracovištích. Jedna kostka byla zhotovena pro střižníky poz. 222 až 232 a druhá pro poz. 241 až 248.

Po obdržení materiálu z pilky se na univerzální frézce provedlo zúhlování obvodu obou řezacích kostek na čisto. Výška byla provedena s přírůstkem $+b0,3$ mm na rozměr. Následně se na souřadnicové vyvrtávače zhotovily potřebné startovací otvory pro drát a také otvory pro závity na upevnění v sestavě. Poté bylo provedeno ruční vyřezání závitů a úprava před tepelným zpracováním. V kalírně se, za pomoci využití vakuové technologie,

materiál zakalil na potřebnou tvrdost 59+2 HRC. Po kalení následovalo lehké přerovnění řezacích kostek na rovinné brusce z důvodu přesnějšího ustavení na elektroerozivním zařízení. Po přerovnění byly za pomoci drátu vyřezány jednotlivé střížníky dle specifikovaných požadavků na výkresech. Nakonec se již jednotlivé razníky vrátily na rovinnou brusku, kde byly odstraněny zůstatkové můstky po drátu, a v neposlední řadě bylo provedeno dobroušení výšky jednotlivých střížníků na míry vč. vyostření.



Obr. 20 Sada střížníků 1

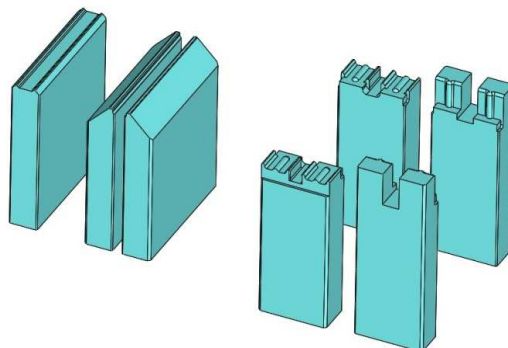


Obr. 21 Sada střížníků 2

Sada ohybníků

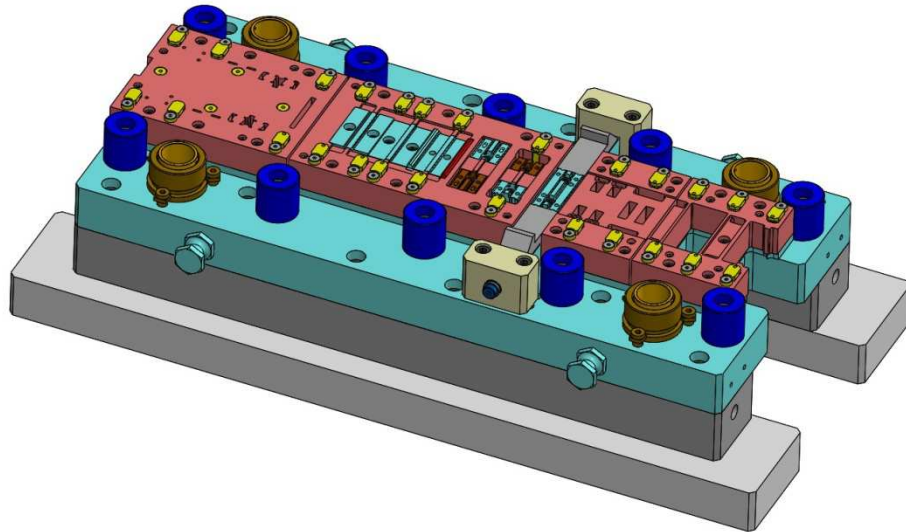
Za pomoci ohybníků se dílu postupně dostává jeho finálního požadovaného tvaru. Na výrobu ohybníků byl konstrukčně zvolen kalitelný materiál DIN 1.2379 (ČSN 19 573) s požadovanou tvrdostí 59+2 HRC a zároveň byl vznesen požadavek na jejich povlakování. Vysoká tvrdost se volí z důvodu prodloužení životnosti a ořezuvzdornosti a za pomoci povlaku se tyto vlastnosti ještě zdokonalí, hlavně ořezuvzdornost.

Jednotlivé ohybníky byly vyráběny jednotlivě či ve dvojicích, pokud se jednalo o párové díly. V základu se provedlo úhlování polotovaru s přídávkem +0,3 mm na všechny rozměry a zároveň se ponechal pomocný materiál na funkční části ohybníků poz. 233 až 235, 237 a 238 o velikosti 5 mm z důvodu závěrečného dokončení na elektroerozivním stroji. U poz. 237 až 240 byla přidána ještě NC frézka, na které se provedlo vyhrubování tvaru s přídávkem +0,1 mm na plochu pro dojiskření. Ve všech případech byly ještě vyvrtány otvory pro závity, které byly následně vyřezány a díly prošly úpravou před tepelným zpracováním. Následné tepelné zpracování bylo provedeno ve vakuu na sekundární tvrdost 59+2 HRC. Na sekundární tvrdost se díly kalily z důvodu požadovaného povlaku. Po zakalení proběhlo zúhlování jednotlivých dílů za pomoci rovinné brusky na požadované rozměry (u dílu s pomocným materiálem pro drátové řezání byl přerovnán i tento pomocný materiál). Následovalo vyřezání funkční tvarů za pomoci drátu a u poz. 237 až 240 bylo ještě využito jiskření k finálnímu dokončení. Následně byly díly odeslány na úpravu a k montáži.



Obr. 22 Sada ohybníků

7.2.2 Spodní část nástroje

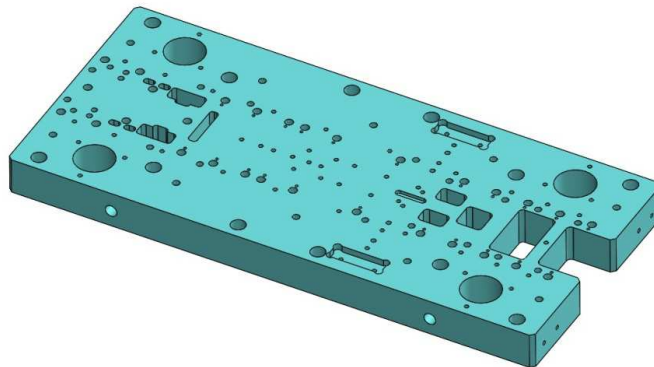


Obr. 23 Sestava spodní části nástroje

Základová deska

Základová deska slouží s pomocí podložných lišt k upevnění na pracovní stůl lisu. Tato deska slouží jako nosič všech raznic, ohybnic, výškových dorazů či vodících pouzder. Tloušťka byla konstrukčně navržena na míru $46 \pm 0,1$ mm. Tak jako nejsou kladeny velké požadavky na nosnou desku, nejsou kladeny ani na desku základovou. Proto i zde byl zvolen materiál DIN 1.0570 (ČSN 11 523).

Výrobně byla základová deska situována stejně, jako deska nosná. Tudiž se vyhrubovala tloušťka s přídatkem 0,2 mm na rozměr, obvod byl vyhotoven na míry a všechny otvory a tvarové otvory byly vyhrubovány. Poté byla tloušťka dotažena na míry za pomoci rovinné brusky a deska se navrátila zpět na frézovací centrum, kde došlo k vyšlichtování všech rozměrů na požadované míry dle výkresové dokumentace.



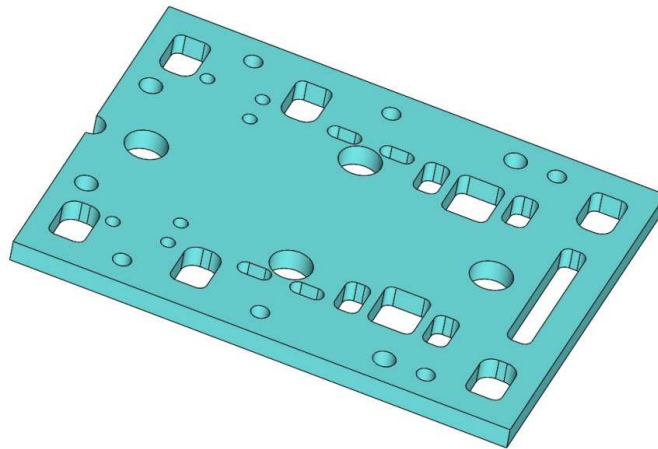
Obr. 24 Základová deska poz. 015

(rozměry $46\pm 0,1$ x 300 – 660 mm)

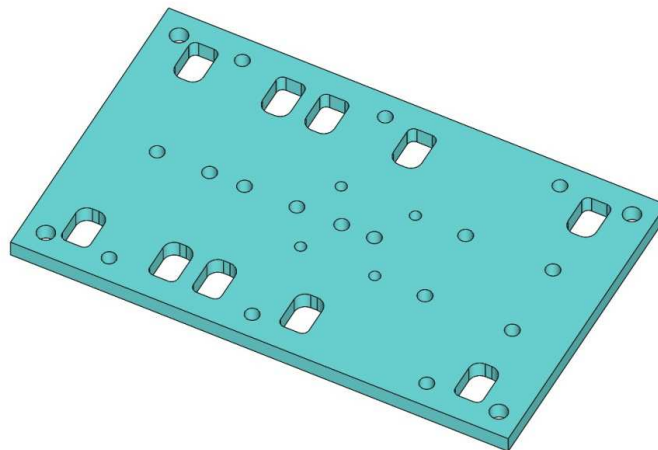
Opěrné desky

O opěrné desky ve spodní části nástroje jsou opřeny střížnice a matrice sloužící k uložení ohybnic. Tak jako opěrné desky ve vrchní části, tak i ty v části spodní byly navrženy z kalitelného materiálu DIN 1.2842 (ČSN 19 312) a hodnota kalení byla stanovena na $55+2$ HRC. Tloušťka jednotlivých desek byla zvolena na $8\pm 0,05$ mm a šířka byla stanovena na míru 140 mm. Všechny propadové otvory byly konstrukčně navrženy s tolerancí $+0,3$ mm a jejich rozteč (vč. rozteče všech volných otvorů) byla stanovena na $\pm 0,2$ mm. Rozteče kolíkových otvorů pro ustavení byla stanovena na $\pm 0,05$ mm.

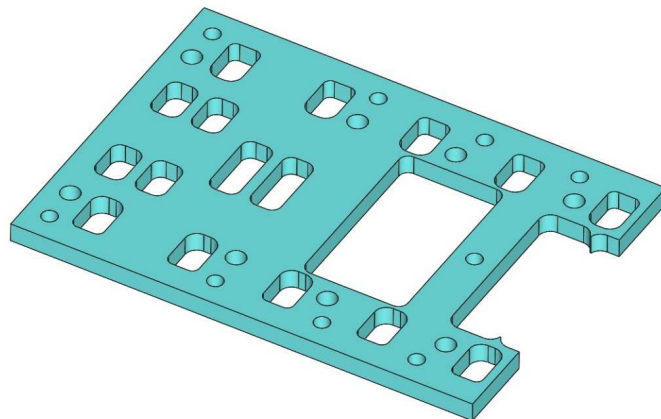
Výroba těchto opěrných desek probíhala obdobně jako u opěrných desek ve vrchní části nástroje až na rozdíl v požadované toleranci u kolíkových otvorů. Proto byly na frézovacím centru společně s přídatkem na tloušťce vyrobeny také startovací otvory pro kolíky. Po tepelném zpracování a dobroušení tloušťky se kolíkové otvory vyřezaly za pomoci drátu na elektroerozivním stroji. Důvodem tohoto kroku navíc bylo hlavně docílení přesné polohy ustavení desek v nástroji.



Obr. 25 Opěrná deska poz. 021
(rozměry $8 \pm 0,05 \times 140 - 180$ mm)



Obr. 26 Opěrná deska poz. 022
(rozměry $8 \pm 0,05 \times 140 - 228$ mm)

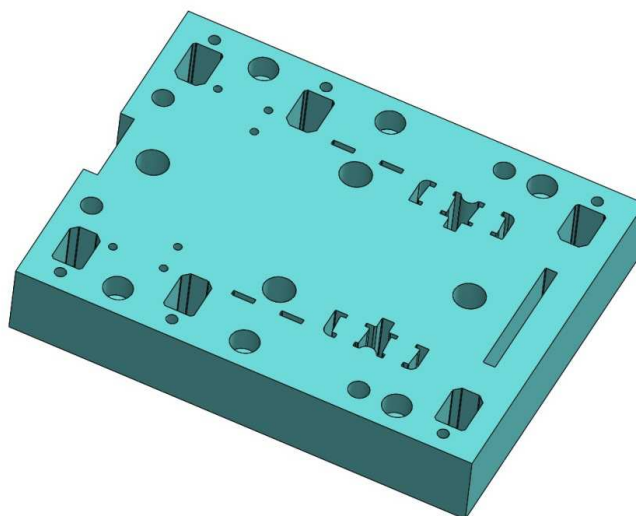


Obr. 27 Opěrná deska poz. 023
(rozměry $8 \pm 0,05 \times 140 - 195$ mm)

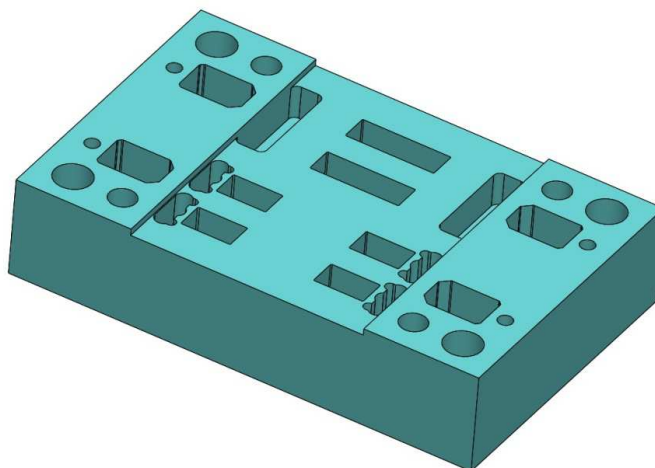
Střížnice

Desky střížnic byly navrženy o tloušťce $30 \pm 0,01$ mm a z kalitelného materiálu DIN 1.2379 (ČSN 19 573). Hodnota kalení byla navržena na $59+2$ HRC. Všechny střížné otvory byly navrženy s jednostrannou střížnou vůlí 0,02 mm a celkové toleranci $\pm 0,008$ mm. Rozteče kolíkových otvorů byly navrženy na $\pm 0,01$ mm.

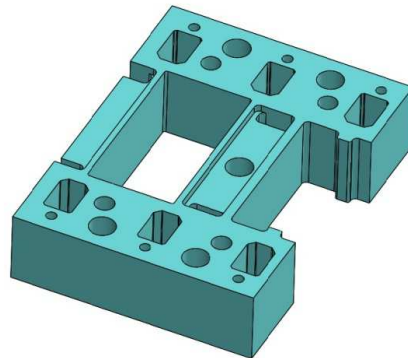
Z důvodu požadované přesnosti byly desky na frézovacím centru ze strany tloušťky a šířky vyhrubovány s přídkem 0,4 mm na rozměr. Délka byla provedena načisto. V místech tvarových a tolerovaných otvorů byly zhotoveny startovací otvory pro drát. Ostatní otvory a otvory pro upínací šrouby byly zhotoveny načisto. Po nutné úpravě byly desky odeslány na tepelné zpracování, ze kterého se vrátily s požadovanou tvrdostí $59+2$ HRC. Po tepelném zpracování došlo k lehkému přerovnání čtyř stran s přídkem do úhlu pro operaci drát. Na drátu byly všechny tolerované a tvarové otvory vyřezány vč. poznámek na výkrese. Nakonec došlo k dobroušení čtyř stran obvodu na míry a do úhlu a zároveň k vyostření tvarů. Před konečnou montáží do celku se provedla potřebná lehká úprava na zámečnické dílně.



Obr. 28 Střížnice poz. 026
(rozměry $30 \pm 0,01$ x 140 – 180 mm)



Obr. 29 Střížnice poz. 028
(rozměry $30 \pm 0,01$ x 140 – 90 mm)

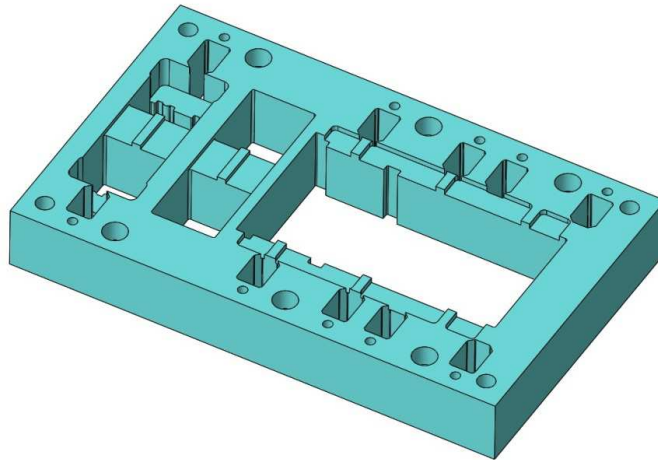


Obr. 30 Střižnice poz. 029
(rozměry $30 \pm 0,01 \times 140 - 103$ mm)

Matrice

V matrici jsou uloženy všechny ohybové vložky. Proto byl zvolen kalitelný materiál DIN 1.2842 (ČSN 19 312) a byla předepsána tvrdost $57+2$ HRC. Všechny tvarové otvory pro ohybové vložky byly navrženy s tolerancí tvaru H7 a v rozteči $\pm 0,01$ mm, kolíkové otvory s tolerancí rozteče $\pm 0,01$ mm, otvory pro zvedáky s tolerancí tvaru H11 a ostatní otvory v rozteči $\pm 0,1$ mm.

Z důvodu potřebného zpracování za pomoci elektroerozivního stroje, se technologie výroby matrice od střižnic neliší. Na frézovacím centru se provede vyhrubování čtyř stran s přídatkem na dobroušení, ve tvarových a tolerovaných otvorech se zhotoví startovací otvory a zbytek se vyšlichtuje. Po tepelném zpracování se díl přerovná do úhlu pro drát, na kterém se zhotoví všechny potřebné tvary vč. poznámek na výkrese. Nakonec dojde k dobroušení rozměrů za pomoci rovinné brusky na míry a do úhlu. Jako u všech dílů odesílaných k montáži, i zde se provede konečná úprava.



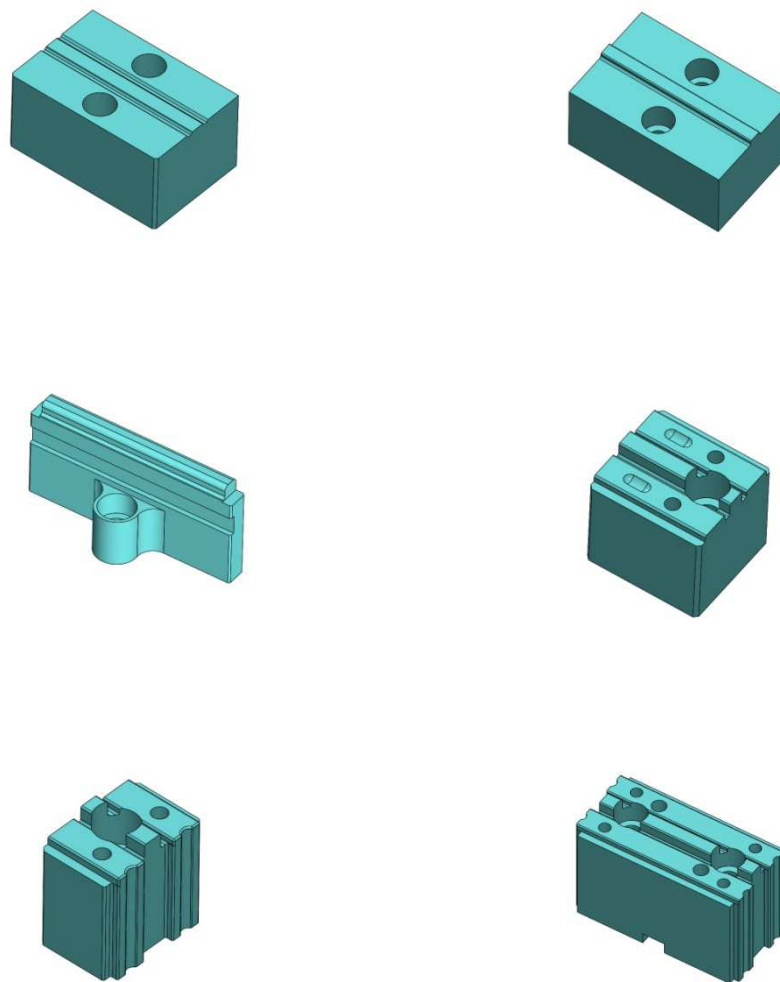
Obr. 31 Matrice poz. 027
(rozměry $30 \pm 0,01 \times 140 - 228$ mm)

Ohybové vložky

Ohybové vložky jsou protikusem k ohybníkům a pomáhají dotvářet přesně požadovaný tvar součásti. Protože je u těchto dílů předpokládána vysoká míra opotřebitelnosti, byl jako výchozí materiál zvolen kvalitní DIN 1.2379 (ČSN 19 573) a také byl vznesen požadavek na povlakování. Protože jsou vložky vloženy v matici, byla navržena obvodová tolerance všech vložek na hodnotu $j6$ a aby byl dosažen co nejpřesnější tvar součásti, ohýbacímu tvaru byla dána tolerance $\pm 0,01$ mm. V neposlední řadě je potřeba, aby byl vytvářený tvar čistý bez nepotřebných vad, proto je vyžadováno taktéž leštění funkčního tvaru.

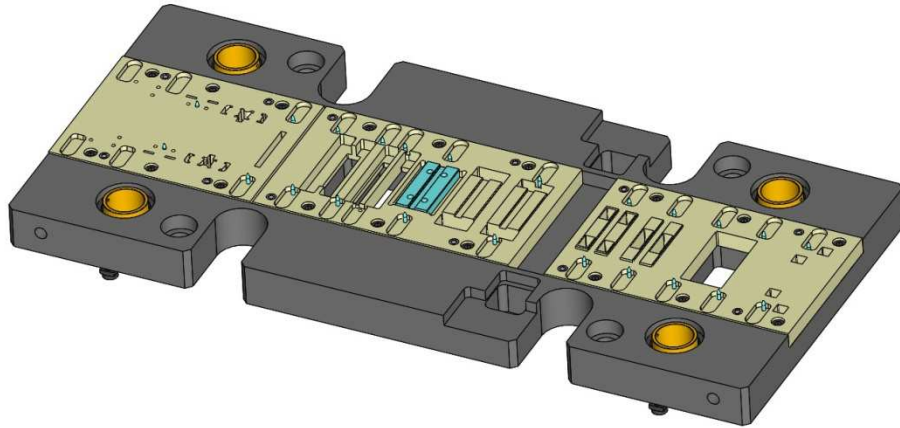
Základním krokem při výrobě všech vložek bylo využití konvenční frézky. U všech pozic (poz. 031 až 039) byl základní polotovar vždy zvětšen o přídavek 5 mm na funkčním rozměru pro závěrečné dopracování za pomoci drátového řezání a také o přídavky na dobroušení tolerovaných rozměrů. Otvory pro závity a volná zahloubení byly provedeny čistě. U poz. 037 až 039 byly zároveň zhotoveny startovací otvory pro díry H7. Po následné ruční úpravě byly kusy poslány do kalírny, kde bylo provedeno vakuové kalení na sekundární tvrdost $59+2$ HRC. Po kalení následovalo dobroušení rozměrů na rovinné brusce a finální příprava pro drátové řezání. Za pomoci drátů se vyřezaly všechny funkční tvary a otvory vč. požadavků na výkrese. U poz. 035 a 036 bylo také využito jiskření za

pomocí grafitové elektrody, kdy se zhotovovaly funkční drážky. Tak jako u ostatních dílů, následovala ruční úprava a odeslání dílů k montáži.



Obr. 32 Ohybové vložky

7.2.3 Sestava mezidesky

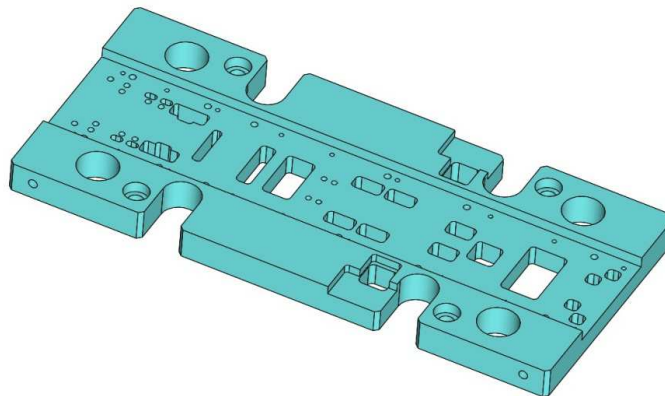


Obr. 33 Sestava mezidesky

Mezideska

Slouží k upnutí vodičích desek jednotlivých sekcí. Materiál pro mezidesku byl zvolen DIN 1.0570 (ČSN 11 523) o celkové tloušťce $37\pm 0,05$ mm.

Mezideska byla zpracována stejně jako již zmíněná nosná či základová deska. Na frézovacím centru bylo provedeno vyhrubování, poté došlo k dotažení tolerované tloušťky na rovinné brusce a nakonec došlo k vyšlichtování opět na centru. Na závěr byla provedena potřebná úprava na zámečnické dílně a díl byl následně odeslán k montáži.

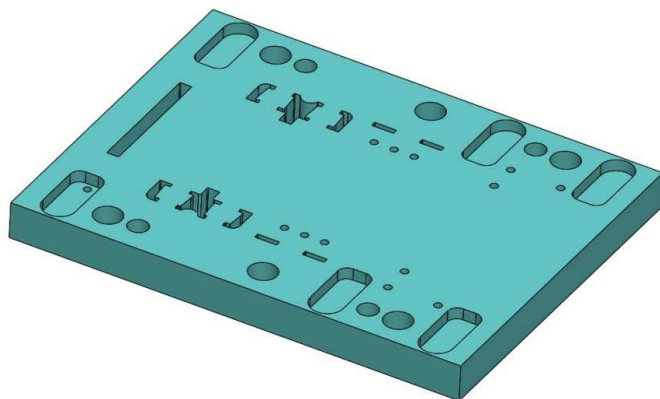


Obr. 34 Mezideska poz. 101
(rozměry $37 \pm 0,05 \times 300 - 660$ mm)

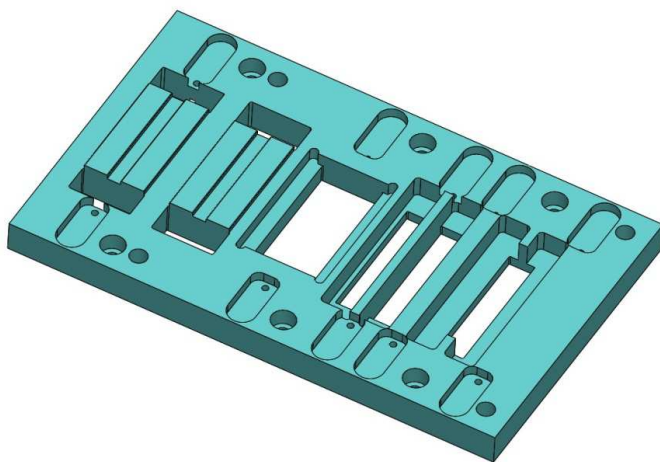
Vodící desky

Tyto desky slouží k přesnému vedení střížníků a ohybníků na místa jejich určení. Dále vypomáhají tenkým a dlouhým střížníkům, aby nebyly namáhány na zbytečný vzpěr. Střížníky a ohybníky jsou v deskách uloženy jen s nepatrnou vůlí. Materiálem pro tyto desky byl zvolen DIN 1.2842 (ČSN 19 312) zakalený na hodnotu $54+2$ HRC. U vodících desek pro střížníky (poz. 102 a 104) byla zvolena mezera pro uložení $0,005$ mm v celkové toleranci $\pm 0,005$ mm. U desky pro ohybníky (poz. 103) není zapotřebí tak přesného uložení, proto byla mezera navržena na hodnotu $0,015$ mm s celkovou tolerancí $\pm 0,02$ mm.

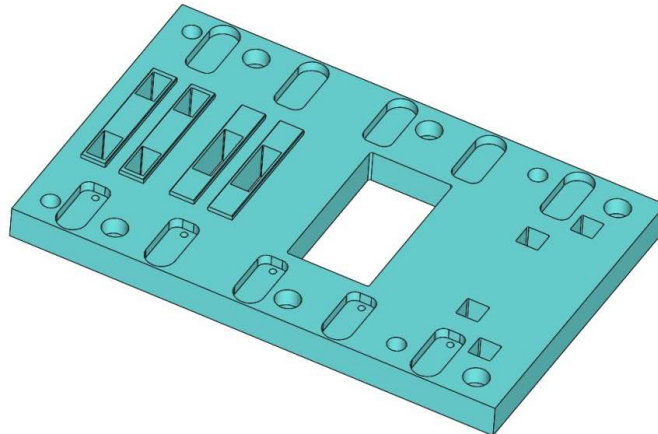
Technologie výroby se i u vodících desek opírá o zpracování polotovarů na frézovacím centru, kde se provede vyhrubování tloušťky s přídavkem na dobroušení po kalení a vyvrtání startovacích otvorů pro následné dokončení tvarově přesných otvorů za pomoci metody drátového řezání. Ostatní vybrání a volné otvory jsou provedeny na udaný rozměr. Po potřebné ruční úpravě a zakalení desek na požadovanou tvrdost, dochází k jejich přerovnání pro elektroerozivní zařízení, na kterém se následně provede vyřezání všech tolerovaných tvarů a otvorů načisto vč. poznámek na výkresech. Na závěr je provedena tak jako u všech dílů před montáží konečná ruční úprava.



Obr. 35 Vodící deska poz. 102
(rozměry $14,6 \pm 0,01$ x 140 – 180 mm)



Obr. 36 Vodící deska poz. 103
(rozměry $16,6 \pm 0,01$ x 140 – 228 mm)

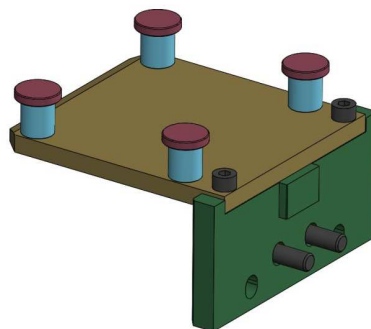


Obr. 37 Vodící deska poz. 104
(rozměry $16,6 \pm 0,01 \times 140 - 218$ mm)

7.2.4 Sestava navádění pásku

Sestava pro navádění pásku byla navržena a zkonstruována pro zajištění přesnějšího zavedení pásu materiálu do postupového nástroje. Jelikož se stříhaný materiál prodává ve formě svitku, je zapotřebí před výrobou tento polotovar ještě vyrovnat. Po vyrovnání je nutné pásek správně do nástroje zavést, k čemuž slouží právě tato konzola.

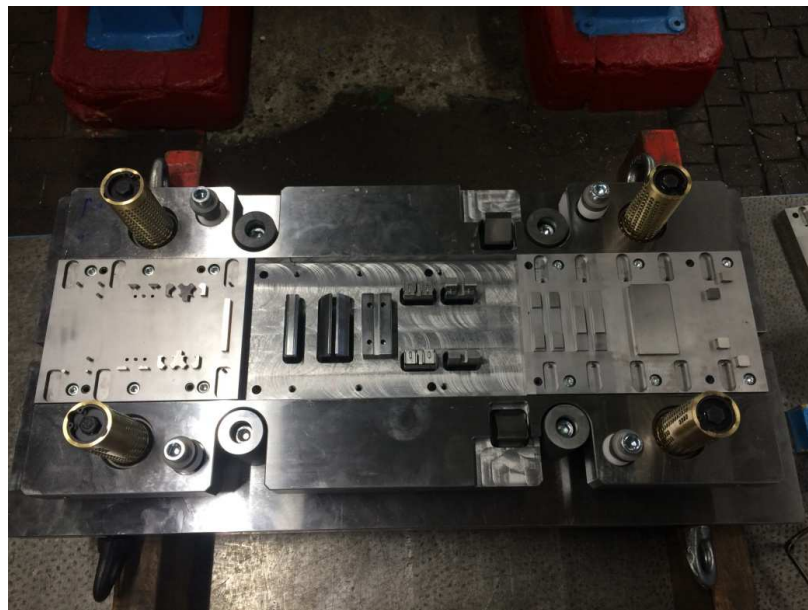
Jelikož je potřeba pásek do stroje zavést v celkové toleranci 0,2 mm, byla výroba situována čistě na konvenční stroje.



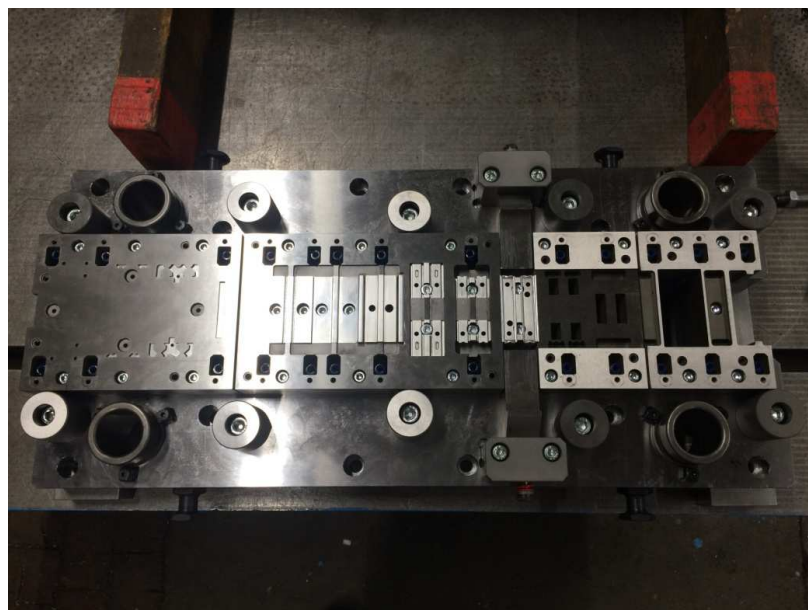
Obr. 38 Sestava navádění pásku

8 MONTÁŽ POSTUPOVÉHO NÁSTROJE

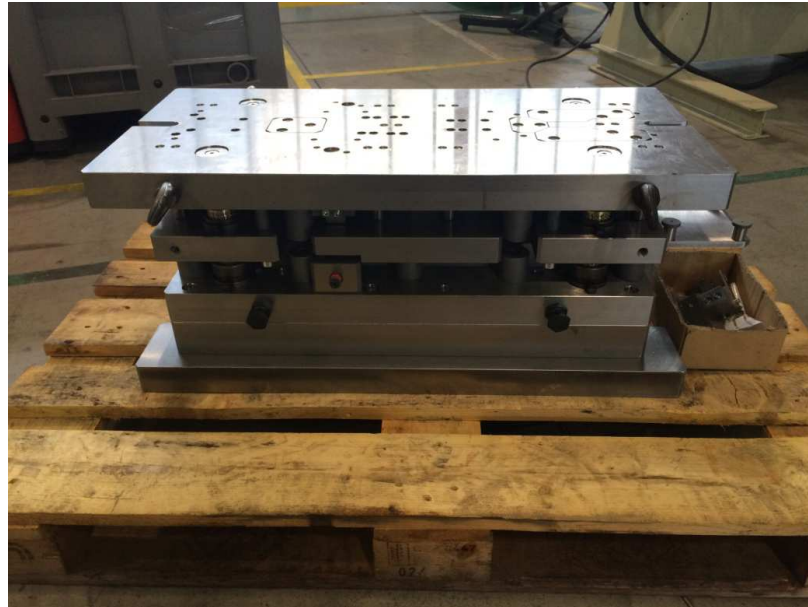
Po výrobě všech jednotlivých dílů sestavy a po dodání potřebných nakupovaných dílů se vše sejde na montážním pracovišti – zámečnické dílně. Zde pracovník montáže smontuje díly k sobě, dle potřeby provede nutné dolícování a provede základní otestování nástroje na funkčnost. Zkoušky se provádí na ručním lisu a s pomocí papíru, místo vlastního materiálu. Po celkovém odladění a zjištění funkčnosti nástroje ho tým pracovníků odváží na ostré testování za pomoci hydraulického lisu.



Obr. 39 Montážní sestava vrchní poloviny postupového nástroje



Obr. 40 Montážní sestava spodní poloviny postupového nástroje



Obr. 41 Sestava celku postupového nástroje

9 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI POSTUPOVÉHO NÁSTROJE V REÁLNÉM PROCESU

Zkouška nástroje byla provedena v externí společnosti, protože společnost, ve které se výroba realizovala, příslušný lisovací stroj nevlastní. Při zkouškách byl použit excentrický lis LE 250 C.

Tab. 3 Parametry zkušebního lisu

Jmenovitá tvářecí síla lisu	250 t
Rozměry pracovní plochy stolu	1120 x 800 mm
Max zdvih beranu	30 mm
Rozměry beranu	800 x 475 mm
Přestavení beranu	110 mm
Výška sevření	360 mm
Výkon hlavního elektromotoru	20 kW
Rozměry d x š x v	13550 x 2550 x 2915 mm
Hmotnost stroje	12 880 kg



Obr. 42 Stroj použitý při zkoušce postupového nástroje

Upnutí nástroje a jeho testování probíhalo za dozoru zaměstnance externí společnosti s oprávnění na tomto zařízení pracovat. Veškeré úkony, které byly potřebné, jako například manipulace za pomoci vysokozdvizného vozíku, ustavení na stůl lisovacího stroje, navedení pásku do nástroje a první spuštění, byly v režii onoho pracovníka.



Obr. 43 Umístění nástroje na stroji

Při testování bylo spotřebováno zhruba 35 metrů materiálu. Tyto vzorky byly na místě zevrubně proměřeny, jestli odpovídají požadovanému tvaru a následně byly všechny kusy odeslány zákazníkovi. U něj byla provedena detailnější kontrola jednotlivých prostřihů a ohybů a poté bylo provedeno testovací nasazení vyrobených dílů v ostrém provozu dle požadavků.

Celkový proces výroby postupového nástroje byl zdárně ukončen a zadavatelem byl nástroj přijat bez výhrad.



Obr. 44 Vystřížený pásek



Obr. 45 Detail výrobku

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce byl návrh, konstrukce, následná výroba a montáž postupového nástroje na díly požadované zákazníkem. Tvar dílů byl určen pouze modelem a limitním použitím na 1000 tunovém lisu.

V rámci zefektivnění výroby a snížení ekonomické zátěže byl navržen pouze jeden postupový nástroj s variabilním výstupem na základě aktuálních potřeb zákazníka. Prvním krokem při návrhu postupového nástroje bylo zkonstruování nástřihového plánu, na kterém byly znázorněny jednotlivé kroky související s výše zmíněným postupovým nástrojem. Tento plán byl zaslán zákazníkovi k oponentuře, která je nedílnou součástí následných kroků, vedoucích k požadované výrobě. V rámci této oponentury se ujasňují případné nepřesnosti v prvotním zadání, popřípadě dodatečné změny navržené zadavatelem. Po odsouhlasení jednotlivých kroků se přistoupilo k následné konstrukci postupového nástroje za pomoci 3D programu Solidworks 2016. Nejdůležitější části postupového nástroje, jako jsou střižníky, střižnice, ohybníky a ohybové vložky byly navrženy z kalitelného materiálu DIN 1.2379 (ČSN 19 573), z důvodu vysokých požadavků na pevnost, kalitelnost a ořezuvzdornost jednotlivých částí. Další prvky, jako například matrice, opěrné, kotevní či vodící desky, byly zvoleny z kalitelného materiálu DIN 1.2842 (ČSN 19 312), a v neposlední řadě na nosnou-, základovou- a mezi-desku byl zvolen „obyčejný“ materiál DIN 1.0570 (ČSN 11 523), tedy materiál bez zvláštních požadavků na speciální vlastnosti. Tento základní materiál byl zvolen proto, že na tyto části postupového nástroje nejsou kladené velké mechanické nároky a využití drahého materiálu by bylo plýtváním zdrojů hlavně z hlediska ekonomického. Jednotlivé normalizované díly potřebné k celkové montáži byly zajištěny od firmy FIBRO, která se touto produkcí zabývá a která je standardním dodavatelem naší firmy. Po odsouhlasení konstrukce oponentem z řad výrobního závodu se provedlo vydetailování jednotlivých výrobních pozic pro technologické a výrobní zpracování.

Po zhotovení příslušné výkresové dokumentace a její kontrole se přistoupilo k tvorbě jednotlivých výrobních postupů, které byly směrodatnými pro jednotlivé pracovníky na zúčastněných výrobních pracovištích. Postupy byly zhotoveny s důrazem na jednoduchost a srozumitelnost tak, aby nedocházelo k nepotřebným hlavně nežádoucím výrobním neshodám. V případě potřeby speciálních kroků (například u střižníků „pozor ostrá

hrana“), byly tyto kroky do postupu vepsány a zvýrazněny tak, aby nemohlo dojít k jejich přehlédnutí.

Po zhotovení všech výrobních postupů došlo k vytištění již nakreslené veškeré výrobní dokumentace, která byla zapotřebí pro požadovanou výrobu. Jednotlivé postupy a výkresy se spárovaly a společně s materiálem potřebným na daný díl byly odeslány do výroby. Po kompletní výrobě jednotlivých dílů bylo vše seskupeno v prostoru zámečnické dílny, kde byla provedena montáž postupového nástroje a jeho následné otestování na ručním lisu za pomoci listu papíru. Tato zkouška ověřila funkčnost nástroje a mimo jiné také ověřila, že při použití na lisu nedojde k nepotřebné kolizi a poškození nástroje.

Po orientačních zkouškách byl nástroj převezen do kooperující společnosti, která byla ochotna zapůjčit strojní čas lisu na otestování nástroje v běžném procesu výroby. Při těchto zkouškách byly vyrobeny první vzorky, které byly na místě podrobeny základnímu měření a následně byly odeslány zákazníkovi. U zákazníka proběhlo detailnější měření a odzkoušení dílů v potřebném procesu. Proběhnuvší zkoušky byly vyhodnoceny jako bezzávadné a nástroj byl shledán jako plně funkční pro daný účel. Tímto závěrečným krokem byl nástroj zákazníkem od výrobní společnosti převzat bez výhrad v požadovaném termínu a následně řádně zaplacen v rámci uzavřených příslušných smluv.

ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce se zabývá plošným a objemovým tvářením, jednotlivými prvky postupového nástroje, tvorbou technologických postupů a základními výrobními procesy k této výrobě směřujícím.

V praktické části jsou popsány a navrženy základní prvky postupového nástroje vč. modelu z programu Solidworks 2016, zjednodušeného výrobního postupu a požadovaného tepelného zpracování. Dále je popsána montáž a testování vyrobeného postupového nástroje v externí společnosti.

Vyrobené díly byly zaslány zákazníkovi na ověření správných rozměrů a funkčnosti v následujícím výrobním procesu. V kapitole „Diskuze výsledku“ je popsáno stanovisko zákazníka k celkovému stříhu s výrokem: „přijat“.

Součástí diplomové práce jsou přílohy, které obsahují jednotlivé výrobní výkresy, výrobní postupy a 3D model sestavy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Akademie tváření: Stříhání. *Mmspektrum* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.cz/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>>.
- [2] BAREŠ, Karel, et. al. *Lisování*. Vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p. 1971. 544 s. L13-E1-IV-41/22221/X.
- [3] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
- [4] ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vŭle: směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975. 28 s. MDT 621.979.07. ČSN 226015 stříhadla a střížné vŭle.
- [5] DALLAS, Daniel B. *Progressive dies: principles and practices of design and construction*. 2nd ed. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers in cooperation with the Forming Technologies Association of SME, c1994. ISBN 978-0872634480.
- [6] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [7] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
- [8] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [9] ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, Praha, 1992. 528 s. ISBN 80-03-00651-1.
- [10] *ELUC: Elektronická učebnice* [online]. Olomoucký kraj [cit. 2017-04-28]. Dostupné z WWW: <<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1823>>.
- [11] FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vysoké učení technické v Brně. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

- [12] HLUCHÝ, Miroslav, Oldřich MODRÁČEK a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2: Polotovary a jejich technologičnost*. 2. upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [13] Interní zdroje společnosti ZV – Nástroje, s.r.o.
- [14] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [15] KOČKA, Jiří. *Výroba konektoru*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph. D.
- [16] KOS, Bohumír. *Výroba držáku klaksonu*. VUT Brno, 2010. 59 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, FSI, ústav strojírenské technologie. Dostupné z WWW: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30380>.
- [17] *Kvalifikace strojař / stavař* [online]. Ústecký kraj [cit. 2017-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://kvalifikace.sosasource.cz/9-3-3-strihani-s-tlacnou-hranou/>>.
- [18] LANGE, Kurt. *Umformtechnik. Handbuch für Industrie und Wissenschaft: Band 2: Massivumformung*. 2.Aufl. Berlin: Springer, 1988. ISBN 3-540-17709-4.
- [19] LENFELD, Petr. *Ksp.tul.cz* [online]. 2008 [cit. 2017-03-01]. Technologie II. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm>.
- [20] MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 260 s. L13-B3-IV-41/2944-VIII.
- [21] Nekonvenční metody obrábění. *Mmspektrum* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>>.
- [22] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Vyd. 1. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [23] PETRUŽELKA, Jiří, Richard BŘEZINA. *345.vsb.cz* [online]. Ostrava: 2001 [cit. 2017-03-15]. Úvod do tváření II. Dostupné z WWW: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf>.
- [24] Progressive Tools & Die. *PTD* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.progressive-tool.com/>>.

- [25] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986
- [26] SRP, Karel. *Základy lisování: určeno [též] učňům stud. odb. škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Řada strojírenské literatury.
- [27] *Strojárska technológia: náuka o procesoch tvárnenie, obrábene aj.* [online]. 2009 [cit. 2017-03-25]. Operácie strihania. Dostupné z WWW: <<http://www.strojarskatechnologia.info/14-operacie-strihania-rozdelenie-aprincip/#more-173>>.
- [28] ŠPAČEK, Jindřich, Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: plošné tváření*. Vyd. 1. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 109 s. ISBN 80-214-0259-8.
- [29] *Technologie I: Technologie obrábění - 3. část* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2005 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>.
- [30] *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2017-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ε	[-]	poměrná deformace
τ_s	[MPa]	Mez pevnosti ve stříhu
σ	[MPa]	Napětí
F_p	[N]	Přidržovací síla
F_s	[N]	Střížná síla
M_o	[MPa]	Ohybový moment
M_p	[MPa]	Přidržovací moment
P	[mm]	Připustná míra opotřebení
R_m	[Mpa]	Mez pevnosti v tahu
R_{max}	[mm]	Maximální poloměr ohybu
R_{min}	[mm]	Minimální poloměr ohybu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Fáze stříhání [1]	13
Obr. 2 Stříhání s přidržovačem [15]	14
Obr. 3 Stříhání s tlačnou hranou [1]	15
Obr. 4 Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu [15].....	17
Obr. 5 Pohyby při soustružení [10].....	29
Obr. 6 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [21].....	33
Obr. 7 Princip elektroerozivního obrábění drátovou elektrodou [21]	34
Obr. 8 Model výrobku ve dvou možných variantách	39
Obr. 9 Detaily výkresů jednotlivých variant.....	39
Obr. 10 Nástřihový plán.....	40
Obr. 11 Sestava postupového nástroje.....	41
Obr. 12 Sestava vrchní části nástroje.....	42
Obr. 13 Nosná deska poz. 201	43
Obr. 14 Opěrná deska poz. 208.....	44
Obr. 15 Opěrná deska poz. 209.....	44
Obr. 16 Opěrná deska poz. 210.....	45
Obr. 17 Kotevní deska poz. 211	46
Obr. 18 Kotevní deska poz. 212	46
Obr. 19 Kotevní deska poz. 213	47
Obr. 20 Sada střižníků 1	48
Obr. 21 Sada střižníků 2	48
Obr. 22 Sada ohybníků	49
Obr. 23 Sestava spodní části nástroje	50
Obr. 24 Základová deska poz. 015	51
Obr. 25 Opěrná deska poz. 021.....	52
Obr. 26 Opěrná deska poz. 022.....	52
Obr. 27 Opěrná deska poz. 023.....	53
Obr. 28 Střižnice poz. 026	54
Obr. 29 Střižnice poz. 028	54
Obr. 30 Střižnice poz. 029	55
Obr. 31 Matrice poz. 027	56
Obr. 32 Ohybové vložky.....	57

Obr. 33 Sestava mezidesky	58
Obr. 34 Mezideska poz. 101	59
Obr. 35 Vodící deska poz. 102	60
Obr. 36 Vodící deska poz. 103	60
Obr. 37 Vodící deska poz. 104	61
Obr. 38 Sestava navádění pásku	61
Obr. 39 Montážní sestava vrchní poloviny postupového nástroje.....	62
Obr. 40 Montážní sestava spodní poloviny postupového nástroje	62
Obr. 41 Sestava celku postupového nástroje	63
Obr. 42 Stroj použitý při zkoušce postupového nástroje.....	64
Obr. 43 Umístění nástroje na stroji.....	65
Obr. 44 Vystřižený pásek.....	66
Obr. 45 Detail výrobku	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vliv sériovosti na výrobní postupy [12]	25
Tab. 2 Strojní park společnosti	37
Tab. 3 Parametry zkušebního lisu	64

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha I: Výrobní výkresy jednotlivých součástí postupového nástroje
- Příloha II: Výrobní postupy jednotlivých součástí postupového nástroje
- Příloha III: 3D model postupového nástroje