


Konstrukční návrh postupového střížného nástroje

Bc. Miloslav Filák

Diplomová práce
2023

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Miloslav Filák
Osobní číslo:	T20836
Studijní program:	N0788A270002 Výrobní inženýrství
Specializace:	Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Konstrukční návrh postupového střížného nástroje

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii technologie tváření a stříhání
2. Provést konstrukci jednotlivých dílů včetně sestavy
3. Návrh střížného plánu
4. Vypracovat výkresovou dokumentaci

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

Seznam doporučené literatury:

SMITH, Graham T. Cutting tool technology: industrial handbook. London: Springer, [2008], xii, 599 s. ISBN 9781848002043.
SHAW, Milton C. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005, 1 online zdroj (xix, 651 p.). Oxford series on advanced manufacturing. ISBN 9781613449462.
WANG, Yongguo. Advanced manufacturing technology and cutting tools: selected, peer reviewed papers from the 2011 Seminar on Advanced Manufacturing Technology and Cutting Tools, August 20-22, 2011, Shanghai, China. Durnten-Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2012, 1 online zdroj (147 pages). Advanced Materials Research. ISBN 9783038137702.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne: 12. května 2023

Jméno a příjmení studenta: Miloslav Filák

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí postupového střížného nástroje pro výrobu plechu statoru. V teoretické části je uvedeno stručné rozdělení metod tváření a detailně popsána metoda stříhání. Výrobkem je plech statoru, který se dále používá pro elektrotechnickou výrobu. Dále je proveden rozbor a konstrukce jednotlivých částí nástroje včetně výrobních náležitostí. Součástí je také nástřihový plán. K práci je přiložena výkresová dokumentace.

Klíčová slova: tváření, stříhání, postupový střížný nástroj, nástřihový plán

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of a progressive shearing tool for the production of stator blank. Theoretical part of the thesis describes methods of forming and the shearing method is described in detail. The product of the tool is the stator blank. This type of blank is used for electrical production. Furthermore, the analysis and construction of individual parts of the tool including manufacturing details is presented. A strip layout is also included. Drawing documentation is attached to the thesis.

Keywords: forming, shearing, progressive cutting tool, strip layout

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za cenné rady při vypracování. Taktéž bych chtěl poděkovat celé své rodině za trpělivost, kterou se mnou měli po celou dobu studia. Dále bych chtěl poděkovat všem svým kolegům, kteří mně poskytly plno důležitých rad.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TVÁŘENÍ KOVŮ	11
1.1 PODSTATA METODY TVÁŘENÍ.....	12
1.2 TVÁŘITELNOST KOVŮ.....	13
1.3 ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH PROCESŮ.....	13
1.3.1 Podle tvářecí teploty.....	14
1.3.2 Podle tepelného efektu	16
1.3.3 Podle stupně deformace	17
1.3.4 Podle způsobu aplikace tvářecí síly	17
1.3.5 Podle působení vnějších sil	17
2 STRÍHÁNÍ	19
2.1 PRINCIP STRÍHÁNÍ.....	19
2.2 ROZDĚLENÍ STRÍHÁNÍ PODLE TYPU OPERACE.....	20
2.3 ROZDĚLENÍ STRÍHÁNÍ DLE KONSTRUKCE NOŽŮ	22
2.3.1 Stříhání s rovnoběžnými noži.....	22
2.3.2 Stříhání se šikmými noži	22
2.3.3 Stříhání kruhovými nůžkami	23
2.4 STŘIŽNÁ SÍLA A STŘIŽNÁ PRÁCE	24
2.4.1 Střížná síla pro rovnoběžné nože	25
2.4.2 Střížná síla pro šikmé nože	26
2.5 JAKOST POVRCHU STŘIŽNÝCH PLOCH	26
2.6 STŘIŽNÁ VŮLE	27
2.7 PŘESNÉ STRÍHÁNÍ	29
2.7.1 Stříhání s tlačnou hranou.....	29
2.7.2 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou	30
2.7.3 Stříhání se zkoseným přidržovačem.....	30
2.7.4 Přistříhování	31
2.8 NÁSTRÍHOVÝ PLÁN.....	31
2.9 TĚŽIŠTĚ STŘIŽNÝCH SIL	33
2.10 NÁSTROJE PRO STRÍHÁNÍ – STRÍHADLA	35
3 MATERIÁLY STŘIŽNÝCH NÁSTROJŮ	37
3.1 KONSTRUKČNÍ OCELI	37
3.2 LITINY.....	37
3.3 NÁSTROJOVÉ OCELI.....	38
3.4 ELASTOMERNÍ MATERIÁLY.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41

4	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
5	VOLBA NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU	43
5.1	NÁSTŘIHOVÝ PLÁN.....	43
5.2	VÝPOČET LISOVACÍ SÍLY	44
6	KONSTRUKCE POSTUPOVÉHO STŘIŽNÉHO NÁSTROJE.....	46
6.1	SPODNÍ ČÁST	47
6.1.1	Spodní deska	47
6.1.2	Kotevní deska – spodní	48
6.1.3	Vložka desky kotevní	48
6.1.4	Střížnice.....	49
6.1.5	Deska vedení	50
6.1.6	Vedení pásu plechu v nástroji	50
6.1.7	Dorazy spodní	51
6.2	STŘEDNÍ ČÁST	51
6.2.1	Deska vodící.....	51
6.2.2	Vložky vodící desky.....	52
6.3	VRCHNÍ ČÁST	53
6.3.1	Deska vrchní.....	53
6.3.2	Kotevní deska – vrchní.....	54
6.3.3	Sestava odpružení vodící desky	54
6.3.4	Hledáčky	55
6.3.5	Opěrná deska	56
6.3.6	Střížníky	56
6.3.7	Kotevní deska střížníků.....	57
6.4	VEDENÍ NÁSTROJE	58
6.4.1	Vedení střední části	58
6.4.2	Vedení hlavní	58
7	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	60
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Věda, technika i technologie se stále vyvíjejí. Výjimku netvoří ani technologie tváření, kterou za posledních 30 let změnila řada inovací. Každá firma, která chce být na trhu konkurenceschopná, musí investovat nemalé finanční prostředky do nových technologií a procesů výroby. V dnešní době, kdy jedno z nejdůležitějších kritérií je vysoká produktivita dané technologie, má právě plošné tváření nezastupitelnou úlohu.

V oblasti zpracování plechů pro automobilový, letecký, elektrotechnický a další průmysl je tváření zásadní proces. Výrobky vyrobené plošným tvářením lze spatřit naprosto kdekoliv. Pro příklad lze uvést části automobilových karoserií, různé kryty přístrojů, střešní krytiny, elektrotechnické součástky jako např. konektory, aj. Pro velké výrobní série jsou ve většině případů používány postupové nástroje. Hlavní nevýhoda těchto nástrojů, což je samotná výrobní cena nástroje, je kompenzována jejich velmi vysokou produktivitou. Mnohokrát, velmi složité výrobky ani nelze vyrobit jinou metodou, než právě pomocí postupových nástrojů. Tyto nástroje mohou být konstruovány jako střížné, ohybové tak i sdružené (stříh i ohyb).

Výroba probíhá ze svitků plechů nebo případně z tabulí. Jednotlivé díly lze následně spojovat šroubováním, nýtováním nebo svařováním. Právě bez bodového svařování a plošného tváření si již nelze představit dnešní automobilový průmysl.

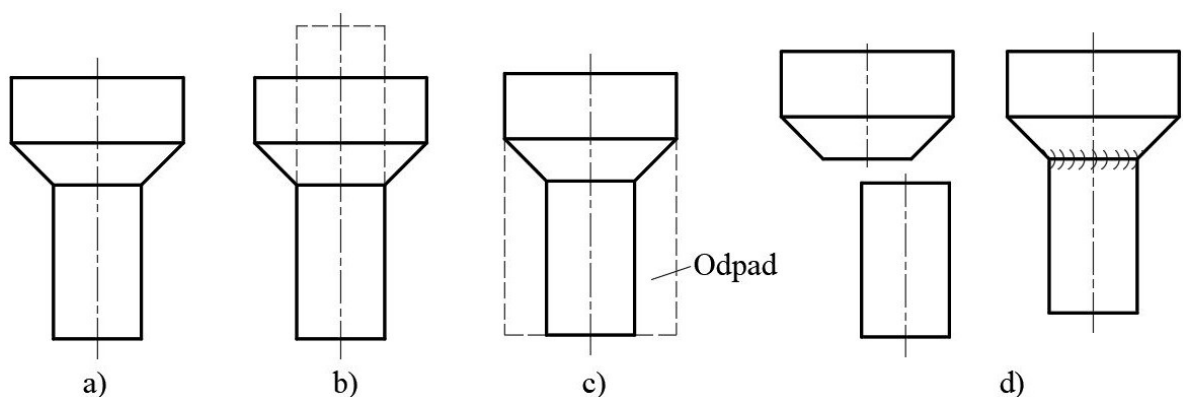
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TVÁŘENÍ KOVŮ

Tváření kovů je jedna z hlavních výrobních technologií při výrobě kovových výrobků a tvoří jednu samostatnou skupinu výrobních procesů, které norma DIN 8550 rozděluje celkem do šesti skupin.

- Primární tvarování – tvar výrobku vzniká přemísťováním částic v tekutém, plynném a pevném stavu. Jedná se o vytváření soudržnosti mezi jednotlivými částicemi.
- Tváření – přeměna daného tvaru pevného tělesa na jiný tvar beze změny hmotnosti nebo složení materiálu. Nedochozí k porušení soudržnosti.
- Dělení – obrábění a odstraňování materiálu. Dochází k narušení soudržnosti mezi jednotlivými částicemi.
- Spojování – sestavování jednotlivých dílů za účelem vytvoření podsestav. Jedná se také o plnění a sycení porézních výrobků.
- Povlakování – rozumí se nanášení tenkých vrstev na součásti, např. galvanizace, lakování, balení do fólií atd.
- Změna vlastností materiálů – technologie, při kterých dochází ke změně vlastností výrobků. Tyto metody zahrnují změnu vlastností modifikací struktury, např. difúzi atd. [1]

Ve výrobě se neustále setkáváme s problémem, jak daný výrobek vyrobit co nejekonomičtěji v požadované jakosti. Na následujícím obrázku (Obrázek 1) je znázorněn výrobek vyrobený čtyřmi různými technologiemi.



Obrázek 1 – Metody výroby dané součásti [1]

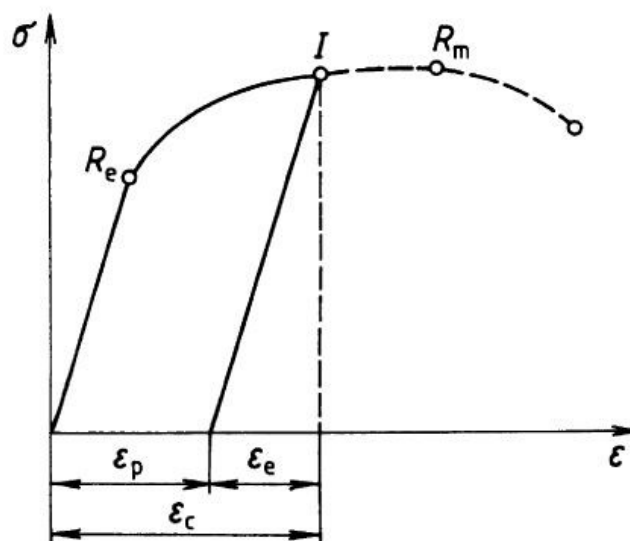
a) primární tvarování (odlévání), b) tváření, c) dělení (obrábění), d) spojování (svařování)

Tváření patří k nejehospodárnějším metodám jejich technologického zpracování vzhledem k minimálnímu odpadu materiálu. Technologie tváření zabezpečuje růst produktivity práce, úspory materiálu a energie, a to většinou současně.

1.1 Podstata metody tváření

Podstatou tváření je vyvolání plastických deformací, kterými se trvale mění tvar a rozměry tvářeného tělesa. Cílem technologie tváření je zpravidla dosažení požadovaného tvaru součásti, ale často také zlepšení mechanicko-fyzikálních vlastností výchozího polotovaru. Proces tváření je závislý na mnoha faktorech, jako jsou např. vlastnosti materiálu, použité nářadí, způsob výroby, požadavky na výrobek, mechanismus plastické deformace, teplota a další. [2]

U kovových materiálů probíhá nejdřív deformace pružná (elastická) a při určité velikosti se mění v trvalou (plastickou). Při překročení určité hodnoty napětí, kterou je pro jednoosou napjatost mez kluzu, probíhá deformace nadále jako homogenní, ale její nárůst je rychlejší než nárůst napětí (Obrázek 2) a deformace zůstává z části zachována i po zrušení napětí. [3]



Obrázek 2 – Závislost napětí na deformaci [3]

Celková deformace je tvořena vratnou (elastickou) a nevratnou (plastickou) složkou a platí následující vztah. [3]

$$\varepsilon_c = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad (1)$$

Přemísťování hmoty je v procesu plastické deformace důsledkem difuzního pohybu a pohybu dislokací. V teplotní oblasti, ve které je tepelně aktivovaný pohyb atomů málo

významný, je rozhodujícím mechanismem plastické deformace skluz, který spočívá v pohybu dislokací. Většina kovů má vysoký počet skluzových systémů, a tedy vysokou tvárnost. Aktivita skluzových systémů se zvyšuje s teplotou, a proto s teplotou vzrůstá i tvárnost kovů. Probíhá-li deformace za vysokých teplot, mohou se významně uplatnit také mechanismy plastické deformace, a to zejména při malé deformační rychlosti. [3]

1.2 Tvářitelnost kovů

Tvářitelnost kovů je umožněno jejich specifickou vlastností – plastičností. Plastičnost je definována jako schopnost materiálu trvale se deformovat pod účinkem vnějších sil. Lze ji posuzovat na základě charakteristických hodnot získaných při základních mechanických zkouškách. Například při tahové zkoušce to jsou:

- pevnostní charakteristiky – R_e , R_m ,
- charakteristiky houževnatosti – A , Z ,
- hodnota skutečné deformace – φ ,
- exponent zpevnění – n .

Plastičnost se hodnotí také plastometrickými metodami na speciálních strojích – plastometrech. V technologii tváření je mnohdy tvářitelnost kovů vyjadřována technologickou tvářitelností. Technologická tvářitelnost se stanovuje na podkladě technologických zkoušek, které jsou prováděny v podmínkách stejných či velmi blízkých jako skutečná technologická metoda. Tvářitelnost je dána jeho chemickým složením a stavem struktury, ale je možno ji ovlivňovat podmínkami deformace, tj. teplotou, rychlostí deformace a stavem napjatosti. Metodika zkoumání vlivu teploty a rychlosti deformace je zaměřená na vliv těchto veličin na hodnotu deformačního odporu, který představuje souhrn všech napětí, která musí překonávat tvářecí síla při realizaci tvářecího procesu. [3]

1.3 Rozdělení tvářecích procesů

Tvářecí procesy lze rozdělit dle několika kritérií:

- teploty, při které je materiál zpracováván,
- tepelného efektu,
- stupně deformace,
- působení vnějších sil.

1.3.1 Podle tvářecí teploty

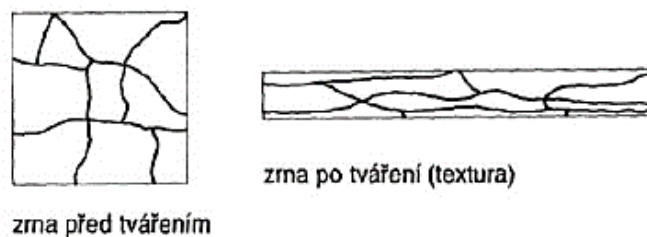
Při deformaci kovů dochází k významným mechanickým, fyzikálním a strukturním změnám, které jsou závislé na výšce deformační teploty. Důležitý pojem je rekrytalizační teplota, podle které dělíme tváření:

- za tepla – teplota tvářeného materiálu je vyšší než rekrytalizační teplota,
- za studena – teplota tvářeného materiálu je nižší než rekrytalizační teplota,
- za poloohřevu – teplota tvářeného materiálu je těsně pod rekrytalizační teplotou.

Rekrytalizační teplota se v praxi určuje podle vztahu $T_{rek} = (0,3 - 0,4)T_{tav}$, kde T_{tav} je teplota tání daného kovu.

Při charakteristice tváření za tepla, za studena nebo za poloohřevu tedy není rozhodující skutečná tvářecí teplota, ale teplota rekrytalizační. Proto tvářením za tepla rozumíme tváření nad rekrytalizační teplotou daného materiálu, za studena pod rekrytalizační teplotou. Z toho důvodu je např. tváření olova za pokojové teploty (20 °C) tvářením za tepla a naopak wolframu za teploty až do 1200 °C je tvářením za studena. [4]

Při **tváření za studena** nastává vlivem různého směru kluzných rovin nerovnoměrná deformace, která způsobuje zpevnění kovu. Zrna výchozího materiálu se tvářením prodlužují ve směru největšího přemístování kovu a vytvářejí tzv. texturu (Obrázek 3). Dochází ke změně mechanických a fyzikálních vlastností. Změna mechanických vlastností spočívá v poklesu hodnot, jež charakterizují plastičnost kovu, tj. tažnosti, kontrakce a vrubové houževnatosti při současném vzrůstu tvrdosti a pevnosti. [5]



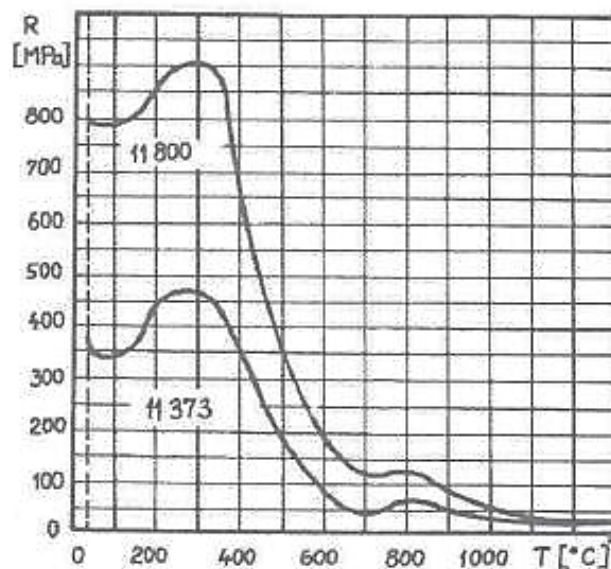
Obrázek 3 – Změna tvaru zrn tvářením [5]

Ohřeje-li se takový materiál na určitou teplotu, snaží se jeho atomy přejít do rovnovážného stavu. Deformace mřížky se vyrovná, vnitřní pnutí se zmenší, rozměry a tvar deformovaných zrn se však nemění. Nastává tzv. zotavení, které je vždy závislé na teplotě a čase. Po delším ohřevu se snižuje i mez kluzu, mez pevnosti a tvrdost, ale zvyšuje se tažnost. Při dalším

zvýšení teploty (nad teplotu zotavení) dojde k rekrystalizaci, při níž zanikají hranice mezi původními deformovanými zrny a vznikají zrna nová. [5]

Při **tváření za tepla** je řídicím mechanismem plastické deformace difuzní viskózní tok a skluz. Difúzní viskózní tok na hranicích bloků a zrn, který však může uplatnit pouze při specifických podmínkách tváření spočívajících v určité vysoké teplotě a velmi nízké rychlosti deformace u některých materiálů s velmi jemným stabilním zrnem, nebo při tváření za teploty fázové přeměny materiálu. Tyto specifické případy, kdy kovové materiály vykazují tzv. super-plasticitu, což znamená, že u nich lze při nízkém napětí dosáhnout deformaci řádově ve stech procentech, mají dosud značně omezené praktické využití. Druhým mechanismem je skluz, který je bezprostředně doprovázen probíhající rekrystalizací. Výsledkem tváření je rovnoosá, nezpevněná struktura kovu. Rekrystalizací se však přeměňují pouze kovová zrna, zatímco nekovové vměstky zachovávají svoje usměrněné rozložení dané deformací. I po tváření za tepla je proto struktura řádkovitá a obsahuje-li větší množství vměstků, vyznačuje se texturou a anizotropií vlastností. [3]

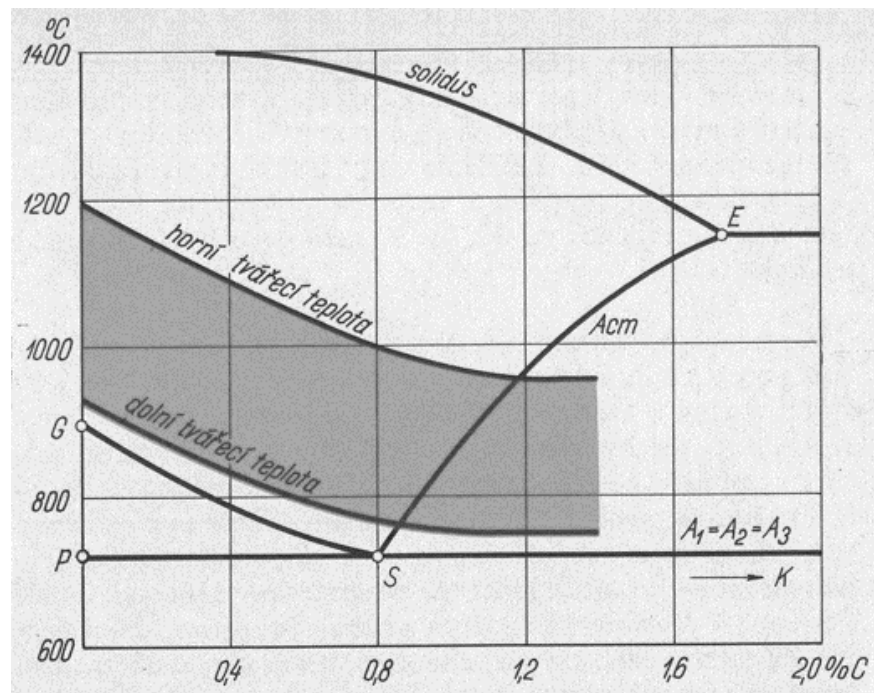
Hlavním důvodem, proč se materiály zpracovávají tvářením za tepla, je průběh změny pevnosti a tím i celého pracovního diagramu, v závislosti od teploty (Obrázek 4). Dalším důvodem je to, že při tváření za tepla nedochází ke zpevnění. [6]



Obrázek 4 – Vliv teploty na pevnost ocelí [6]

Oceli se ohřívají na teplotu 250° až 300°C pod solidem (Obrázek 5). Této teplotě říkáme tvářecí teplota. Tváření by se mělo provádět s co nejmenším počtem ohřátí, protože

s každým ohřevem se na povrchu ohřívaného materiálu tvoří okuje. Tím vznikají ztráty opalem, které činí při jednom ohřevu asi 3%. [7]



Obrázek 5 – Vliv teploty na pevnost ocelí [7]

Kompromisem mezi tvářením za tepla a za studena představuje **tváření za poloohřevu**. Důvodem je zlepšení přetvárných vlastností oproti tváření za studena, snížení přetvárných odporů, dosažení zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností, přesnosti a jakosti povrchu. Horní teploty jsou omezeny oxidací povrchu. Teplota tvářeného materiálu je těsně pod rekrytalizační teplotou. [8]

1.3.2 Podle tepelného efektu

Část energie vynaložená na přetvárný proces se mění v teplo. Toto teplo se může zcela akumulovat ve tvářeném materiálu. V důsledku akumulovaného tepla vzrůstá teplota tvářené součásti. Tento jev nazýváme tepelným efektem. Podle množství vyvinutého tepla, které se spotřebuje na zvýšení teploty tvářené součásti, lze rozdělit na procesy.

- Izotermické tváření – je tváření, kdy veškeré vyvinuté teplo je odvedeno do okolí a teplota tvářeného kovu se nemění. Deformace kovu je dostatečně pomalá. Používá se na tváření obtížně tvářitelných materiálů, jako je např. Ti, Mg.
- Adiabatické tváření – je proces tváření, při kterém veškeré teplo zůstane v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu. Deformace je extrémně vysoká. V praxi prakticky

nemožné zajistit. S částečným omezením vzniká při extrémně vysokých rychlostech deformace (např. tváření výbuchem).

- Polytropické tváření – je způsob tváření, u kterého se část tepla odvede do okolí a část tepla zůstane v tvářeném materiálu. V technické praxi nejčastější případ. [6][8]

1.3.3 Podle stupně deformace

Kritériem je zde stupeň deformace při určité teplotě a rychlosti deformace bez nebezpečí vzniku trhlin na povrchu materiálu. Část energie, vynaložené na tváření, se mění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. Podle toho se tvářecí procesy dělí na:

- procesy, kdy tlak mezi nástroje a materiálem je malý, ke vzniku deformace jsou potřeba malé síly a povrch kovaného materiálu je výrazně větší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (např. volné kování),
- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velký, ke vzniku deformace jsou potřeba velké síly a povrch volného materiálu je přibližně stejný jako povrch, který je ve styku s nástrojem (např. zápusťkové kování),
- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velmi vysoký, ke vzniku jsou potřeba značně velké síly a povrch volného materiálu je menší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (např. protlačování). [8]

1.3.4 Podle způsobu aplikace tvářecí síly

Podle účinku tvářecí síly lze procesy rozdělit do dvou skupin na:

- tváření rázem – síla působící na materiál je aplikována rázově (dynamicky), např. buchar,
- tváření klidným tlakem – síla na materiál působí staticky, např. hydraulický lis.

1.3.5 Podle působení vnějších sil

Z tohoto hlediska je tváření rozděleno do dvou skupin:

- objemové tváření,
- plošné tváření.

Objemové tváření je definováno jako deformační proces, u něhož se dosahuje požadované změny tvaru změnou průřezu výchozího polotovaru. Objemové tváření rozdělujeme na:

- protlačování – tj. proces, při kterém tvářený materiál teče působením vysokého tlaku,
- ražení – tváření je pouze povrch materiálu, jak je tomu při výrobě mincí, vytváření rýh a reliéfů na povrchu součástí,
- kování – charakterizované jako tváření materiálu na kovádle nebo v záпустce působením síly vyvozené kladivem, beranem, pohyblivým příčnickem hydraulického lisu,
- válcování – je tváření materiálu tlakem válců,
- kalibrování – zajišťuje zpřesnění rozměrů, tvaru a jakosti povrchu,
- ostatní metody – radiální tváření, rotační kování a válečkování. [3]

Plošné tváření je pochoda, kterým se dosahuje požadované změny tvaru bez podstatné změny průřezu (tloušťky) výchozího materiálu (převážně plechu). Mezi plošné tváření patří:

- stříhání – oddělování materiálu podél křivky stříhu,
- tažení – přetváření plechu v dutá tělesa, např. při tažení válcové nádoby je výchozí materiál kruhový přístřih,
- ohýbání – trvalé deformování materiálu, kterým se dosahuje požadované změny tvaru bez podstatné změny průřezu,
- tlačení. [3]

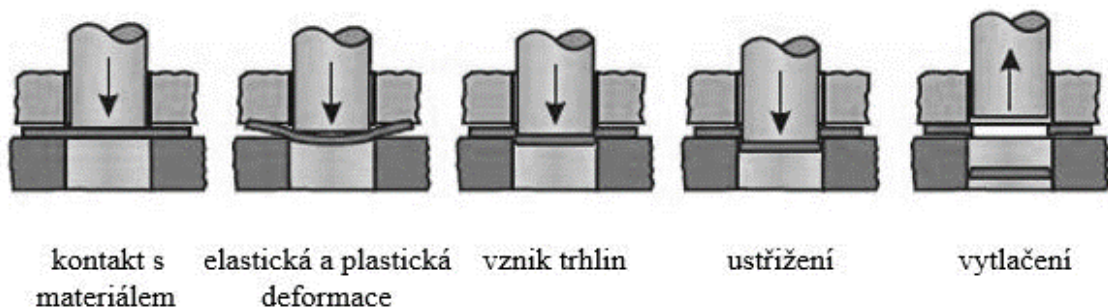
2 STŘÍHÁNÍ

Stříhání je jedna z nejrozšířenějších operací plošného tváření. Je používáno jak pro přípravu polotovarů, tak pro vystříhování součástek, které jsou konečným výrobkem, nebo jsou určeny pro další zpracování.

Při stříhání se působí na materiál vhodně upravenými noži tak, aby se materiál ustříhl v určité ploše. Pro dosažení kvalitního stříhu (bez ostrin) musíme zachovat určité podmínky, to je ostří nožů, vůle mezi noži atd., což klade určité požadavky na obsluhu a údržbu stroje. Nedodržení podmínek může mít za následek nejen nekvalitní střížnou plochu, ale i vylomení břitů nožů nebo zničení celého stroje (nůžek). Obsluha stroje musí být seznámena se základními technologickými požadavky kvalitního stříhu, tj. jaká má být správná vůle mezi noži a jaké může být maximální otupení břitů. [9]

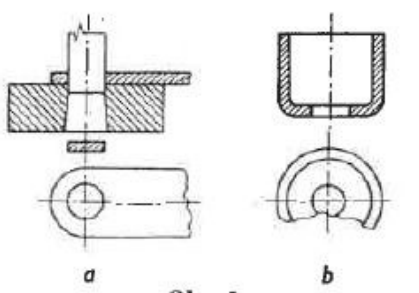
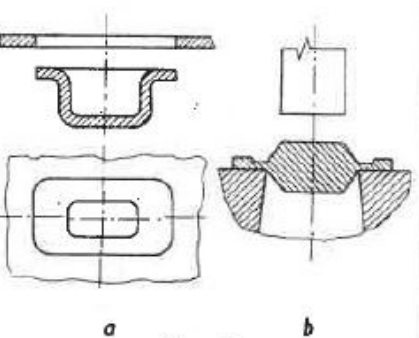

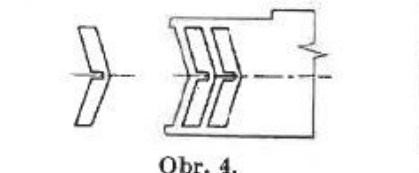
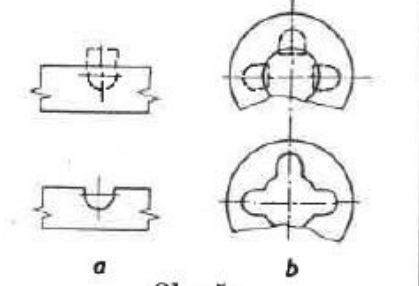
2.1 Princip stříhání

Operace stříhání začíná tím, že střížník dosedne na stříhaný materiál ležící na střížnici a způsobí nejprve elastickou deformaci. Při vnikání střížníku do stříhaného materiálu se materiál v oblasti stříhu začne plasticky deformovat. Materiál se mezi střížníkem a střížnicí ohýbá. Při dalším pronikání střížníku do materiálu napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti. V další fázi vznikají v pásmu stříhu trhliny, které se rychle rozšiřují, až nastane oddělení výchozího materiálu. Rychlost je závislá na vlastnostech materiálu a průběh na velikosti střížné mezery. Tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě, měkký a houževnatý poměrně pomalu. Výstřížek se oddělí dříve, než razník pronikne celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně je výstřížek vytlačen. [10]

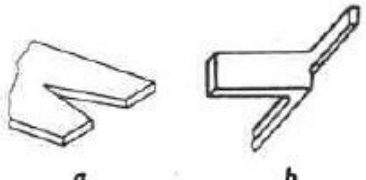
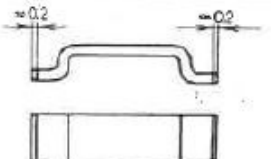
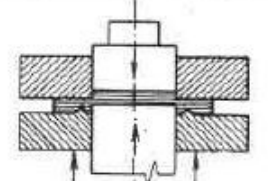
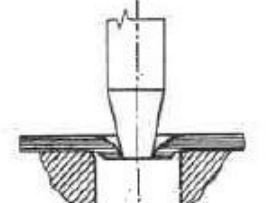
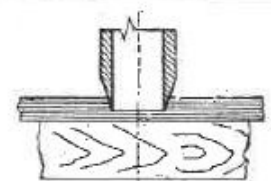
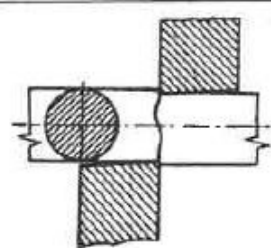


Obrázek 6 – Průběh operace stříhání [10]

2.2 Rozdělení stříhání podle typu operace

Operace	Schéma	Definice
děrování	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 1.</p>	<p>Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad.</p>
ostříhování	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 2.</p>	<p>Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součásti.</p>
prostříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 3.</p>	<p>Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.</p>
vystříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 4.</p>	<p>Zhotovení výstřížku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výrobek.</p>
vystříhování zářezu	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 5.</p>	<p>Oddělování části v okraji i uvnitř materiálu. Vystřižená část tvoří odpad.</p>

Obrázek 7 – Rozdělení stříhání dle typu operace [9]

Operace		Schéma	Definice
Stříhání plošné	nastříhování	 <p>Obr. 6.</p>	Částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.
	přistříhování	 <p>Obr. 7.</p>	Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.
	přesné vystříhování	 <p>Obr. 8.</p>	Vystříhování upravené pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch bez dalšího opracování.
	protrhávání	 <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochem materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
	vysekávání	 <p>Obr. 10.</p>	Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.
Stříhání objemové	stříhání profilů, tyčí, trubek apod.	 <p>Obr. 11.</p>	Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noži, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.

Obrázek 8 – Rozdělení stříhání dle typu operace - pokračování [9]

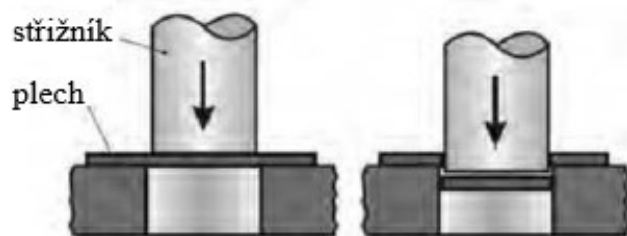
2.3 Rozdělení stříhání dle konstrukce nožů

Stříhání lze rozdělit kromě prováděných operací i podle konstrukce nožů (střížníků) na stříhání:

- s rovnoběžnými noži,
- se šikmými noži,
- s kotoučovými noži,
- s noži na profily, tyče a trubky.

2.3.1 Stříhání s rovnoběžnými noži

Ke stříhání rovnoběžnými noži se používá střížný nástroj, který se skládá ze střížníku a střížnice mezi kterými je střížná vůle, resp. střížná mezera ($1/2$ střížné vůle). Nelze totiž bez zvláštních úprav postavit nástroj bez mezery kvůli nebezpečí havárie. Na docílení kvalitního výstřížku je důležitá optimální vůle mezi střížníkem a střížnicí. Jednostranná vůle bývá od 3 do 10 % tloušťky plechu v závislosti na tloušťce a pevnosti materiálu (s rostoucí pevností se vůle zvětšuje). [8][11]

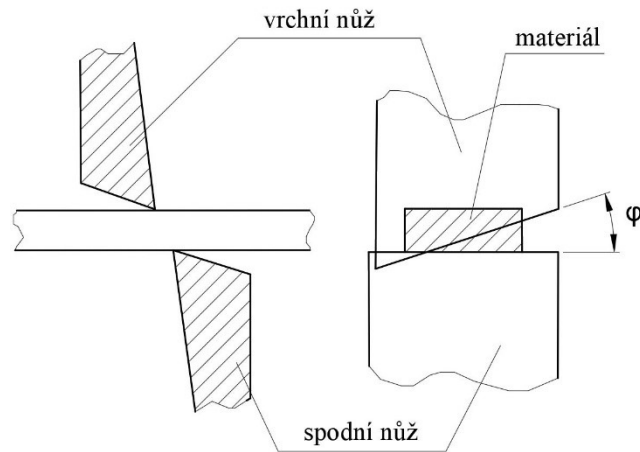


Obrázek 9 – Stříhání rovnoběžnými noži [11]

2.3.2 Stříhání se šikmými noži

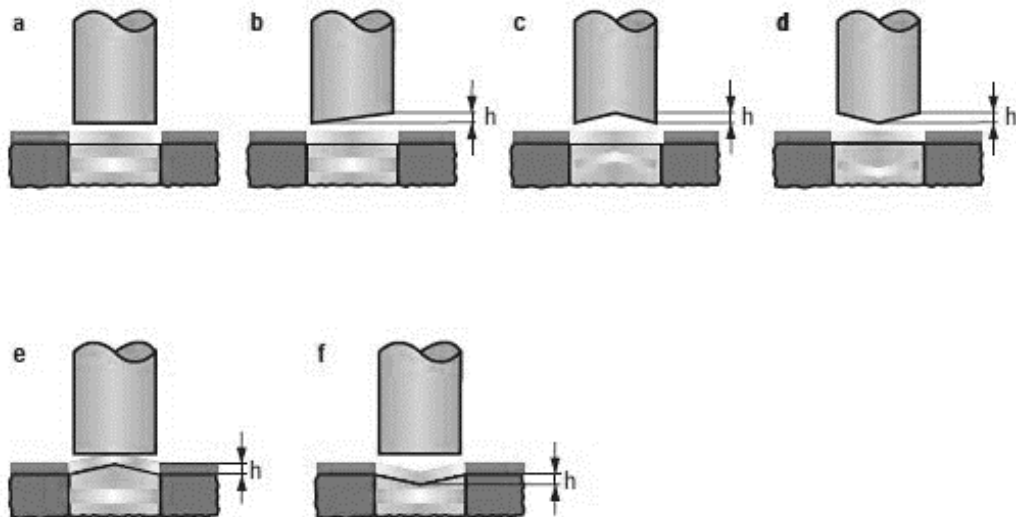
Nůžky s rovnoběžnými noži se používají pro stříhání relativně tenkých plechů. Pro větší tloušťky jsou vhodnější šikmé nože, které při stříhání svírají určitý úhel. Při tomto způsobu se zmenší celková potřebná střížná síla oproti stříhání na rovných nožích. Materiál se stříhá postupně. [12]

Do šikmého stříhu počítáme i pákové nůžky, jejichž nože se pohybují úhlovým sklápěním. Protože sklápěním přímkových nožů se úhel stříhu mění, staví se často pákové nůžky s jedním nebo oběma noži obloukovými, takže úhel zůstává po střížné čáře konstantní.



Obrázek 10 – Stříhání šikmými noži [12]

Při vystřihování se dělá na střížnici oboustranné zkosení. To má za následek rovný výrobek a ohnutý odpad (Obrázek 11 varianta e, f). Způsob oboustranného zešikmení vyrovnává síly na střížníku a nevychyluje jej z osy. Jednostranné zkosení střížníku se používá jen pro nastřihování. U děrování je střížnice rovná a střížník zkosení, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Při stříhání složitých tvarů se nedoporučuje provádět zkosení ostří. [8]

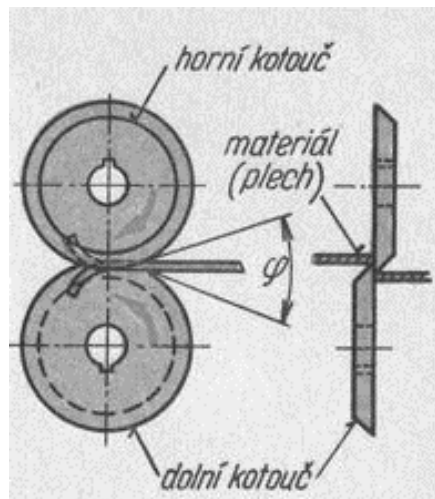


Obrázek 11 – Úpravy střížníku a střížnice [10]

a – rovný stříh, b – šikmý stříh, c, d – zkosený střížník, e, f – zkosená střížnice

2.3.3 Stříhání kruhovými nůžkami

Tento způsob se používá k vystřihování plechových součástí, omezených křivkami. Jsou to dva kotouče, které při otáčení vtahují materiál mezi sebe a přestřihují jej. Jsou vhodné hlavně na tenčí plechy (do 3mm). [7]



Obrázek 12 – Kruhové nůžky [7]

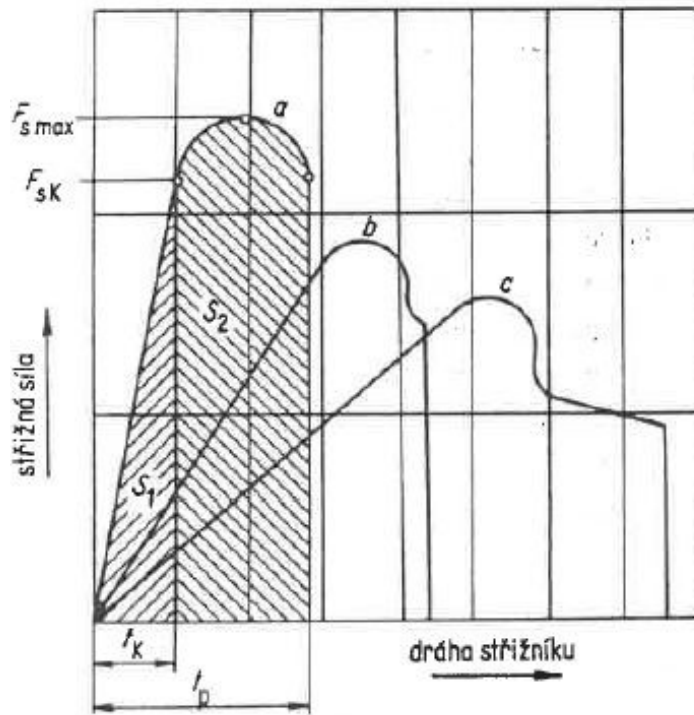
2.3.4 Stříhání s noži na profily, tyče a trubky

Při stříhání jakéhokoliv profilového materiálu platí zásada, aby přestříhovaná tloušťka v každém okamžiku byla téměř stejná. Této zásadě se potom přizpůsobuje obrys pohyblivého nože. Při stříhání trubek, při jejich pokud možno minimálním zdeformování, má pohyblivá část nástroje tvar oblouků zakončených špičkou. Zašpičatělá část nejprve trubku propíchne, boky potom trubku stříhají tak, že výslednice sil na břitu směřuje kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Střížná mezera není rovněž po celé délce stejná, od krajů směrem ke středu roste. [8]

2.4 Střížná síla a střížná práce

Při volbě velikosti lisu pro určitý výstřížek je třeba stanovit maximální střížnou sílu a maximální práci. Střížná síla je v každém okamžiku stříhání dána součinem dvou proměnných veličin, totiž součinem střížného odporu a stříhané plochy. [13]

Diagram závislosti dráhy střížníku na střížné síle (Obrázek 13) znázorňuje průběh střížné síly během operace stříhání. Křivka a je charakteristická pro materiály s malou tvárností (tvrdé, křehké materiály). Stoupající část křivky směřuje strmě k maximu a opět prudce klesá. Krátce po dosažení maxima se stříhaný materiál oddělí. Křivka b platí pro materiály s větší tvárností (měkké, houževnaté materiály) při velké střížné mezeře. Stoupající část křivky se zplošťuje, jakmile ve stříhaném průřezu dosáhne napětí velikosti meze kluzu. Po dosažení maxima střížná síla klesá zpočátku pozvolna, při vzniku trhlinek však už rychle. Křivka c charakterizuje průběh střížné síly pro tvárné materiály jako křivka b, avšak platí pro malé střížné mezery. [13][14]



Obrázek 13 – Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku [14]

Střížná práce je práce potřebná pro vystřížení součásti z materiálu a je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu. Z diagramu (Obrázek 13) je zřejmá velikost střížné práce. Je ohraničena čarou střížné síly a dráhou střížníku (plocha pod křivkou). [14]

2.4.1 Střížná síla pro rovnoběžné nože

Velikost střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži se vypočítá ze vztahu:

$$F_S = (1,1 \div 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_S \text{ [N]} \quad (2)$$

kde

s ...tloušťka plechu v mm

O ...střížný obvod v mm

τ_S ...střížná pevnost v MPa ($\tau_S = 0,8 \cdot R_m$)

Při skutečném stříhání nevzniká čistý smyk, ale kombinované namáhání, nože se otupují, proto se skutečná střížná síla zvýší o 10 až 30 %.

2.4.2 Střížná síla pro šikmé nože

Pro výpočet střížné síly a práce potom platí analogický vzorec, vztažený na plochu trojúhelníka ve tvaru:

$$F_S = (1,1 \div 1,3) \cdot s^2 \cdot \frac{\tau_S}{\operatorname{tg}\varphi} \text{ [N]} \quad (3)$$

kde

s ...tloušťka plechu v mm

φ ...úhel stříhu ve °

τ_S ...střížná pevnost v MPa ($\tau_S = 0,8 \cdot R_m$)

Při porovnání střížné síly a velikosti práce při stříhání rovnými a šikmými noži (Obrázek 13) je jasně patrné, že stříhání se šikmými noži je výhodnější, neboť pro stejnou tloušťku plechu a délku stříhu je potřeba mnohem menší síla, než u rovných nožů, ale na druhé straně budeme stříhat po delší dráze. Zmenšení střížné síly podstatně zmenšuje rázy.

2.5 Jakost povrchu střížných ploch

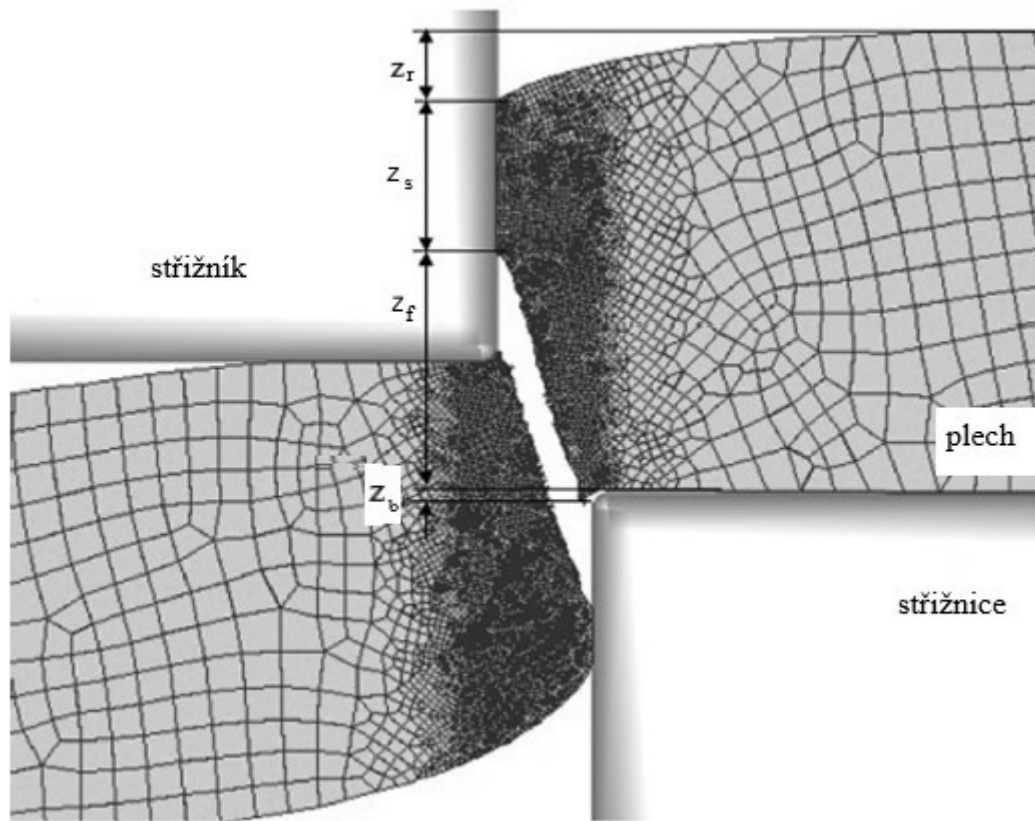
Při běžném způsobu stříhání plechů nedosáhneme zvláštní kvality povrchu stříhu. Plocha výstřížku je mírně zkosená s drsným povrchem a vytaženou ostřinou. Materiál je kolem čáry stříhu zpevněn. Hloubka mechanicky zpevněné vrstvy závisí na tloušťce materiálu, jeho vlastnostech, na původní struktuře, velikosti střížné mezery a stavu břitů.

Přesnost a kvalita povrchu při stříhání závisí na:

- vlastnostech stříhaného materiálu,
- velikosti střížné mezery,
- druhu a stavu nástroje,
- charakteru geometrického tvaru stříhaného obrazce,
- kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnic.

Střížná plocha se dělí na čtyři pásma (Obrázek 14). První se nazývá pásmo zaoblení, které má velikost 5÷8% tloušťky materiálu, představuje oblast s napětím pod mezí kluzu tvářeného materiálu. Druhé pásmo je pásmo vlastního stříhu, kde nastala plastická deformace. Jeho šířka je 10÷25% tloušťky materiálu. Pásmem utržení nazýváme oblast, kde docházelo k oddělování materiálu. Šířka tohoto pásma závisí na mechanických vlastnostech

materiálu, ze všech zmiňovaných pásem bývá nejširší. Poslední je pásmo otlacení a otřepu. V něm, se dle mechanických vlastností materiálu, může vytvořit ostřina (otřep), která vzniká tahovými složkami napětí v materiálu. [14][15]



Obrázek 14 – Pásma stříhu [15]

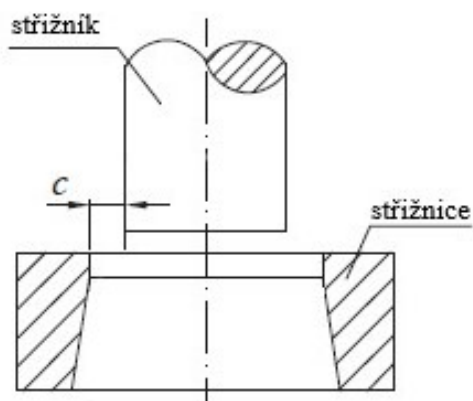
z_r – pásmo zaoblení, z_s – pásmo stříhu, z_f – pásmo utržení,

z_b – pásmo otlacení a otřepu

2.6 Střížná vůle

Při stříhání se vyrobí střížník s menším rozměrem než odpovídající otvor ve střížnici. To znamená, že střížník vniká do střížnice s vůlí na každé straně. Rozdílem mezi rozměrem střížnice a střížníku je určena střížná vůle. Jednostranný rozdíl vytváří střížnou mezeru. Její velikost má být rovnoměrná na všech místech křivky stříhu. [16]

Správně zvolená střížná vůle zaručuje, že trhliny, které při stříhání vznikají, se setkají. Tím je zaručeno správné usmýknutí stříhané plochy. Střížná vůle se volí na úkor střížníku nebo střížnice vzhledem k požadovanému rozměru výstřížku. Při stříhání přesného vnějšího obvodu výstřížku se vytvoří střížná vůle zmenšováním rozměru střížníku. Při děrování otvorů vzniká střížná vůle zvětšováním rozměru střížnice. [14]



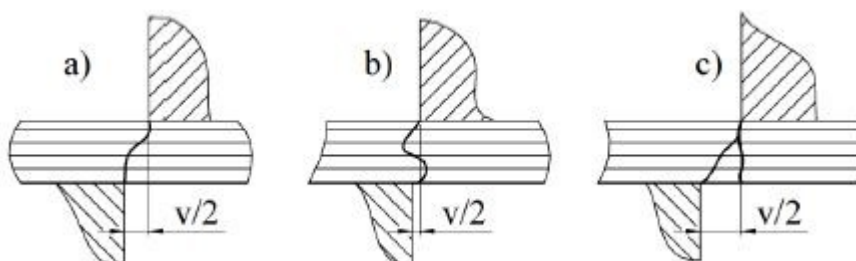
Obrázek 15 – Střížná mezera [12]

Střížná vůle se obvykle stanovuje v procentech tloušťky stříhaného materiálu, viz následující tabulka (Tab. 1) nebo dle zkušeností konstruktéra.

Tabulka 1 – Střížná vůle v procentech pro různé materiály [12]

Materiál	Tloušťka materiálu (mm)				
	1	1,1÷2	2,1÷3	3,1÷5	5,1÷7
Nízkouhlíková ocel ($C < 0,2\%$)	5	6	7	8	9
Měď a měkká mosaz	4	6	7	8	9
Středně uhlíková ocel	6	7	8	9	10
Tvrdá mosaz	6	7	8	9	10
Vysoko-uhlíková ocel ($C > 0,4\%$)	7	8	9	10	12

Při nesprávně zvolené střížné vůli se střížná plocha deformuje, čímž dojde ke vzniku otřepů po celé ploše stříhu. Vliv velikosti střížné mezery je zobrazen na Obrázku 16.



Obrázek 16 – Vliv střížné mezery na plochu stříhu [17]

a) optimální, b) malá, c) velká střížná mezera

2.7 Přesné stříhání

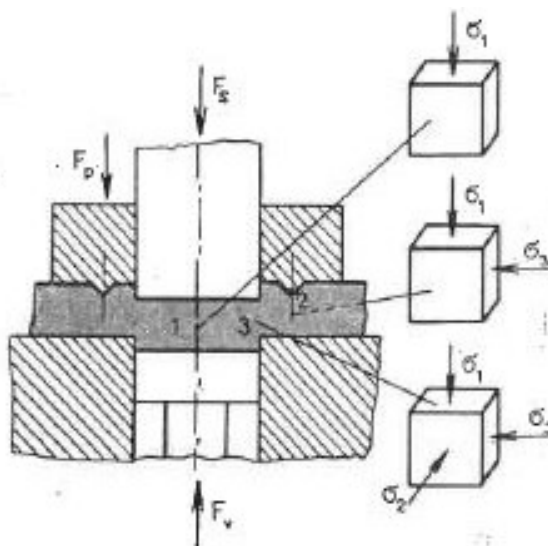
Pod pojmem technologie přesného stříhání se rozumí souhrn metod (variant) stříhání plechů a pásů ve stříhadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní, hladké střížné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrové přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT6 až IT9. Technologie přesného stříhání je ekonomicky výhodná při minimální výrobní sérii 40 000 kusů součástí. K přesnému stříhání se hodí součásti, které mají velké procento odpadu a vyžadují mnoho dokončovacích operací (vystružování, broušení, protahování atd.). Dosahovaná drsnost střížné plochy je Ra 0,4 až Ra 1,6 a kolmost střížné plochy do tloušťky plechu 4 mm je v rozmezí 0,01 až 0,02 mm. [18]

Nejběžnější varianty přesného stříhání jsou:

- přesné stříhání s tlačnou (nátlačnou) hranou,
- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- stříhání se zkoseným přidržovačem,
- přistříhování (vnějších obrysů výstřížků s kladnou nebo se zápornou vůlí).

2.7.1 Stříhání s tlačnou hranou

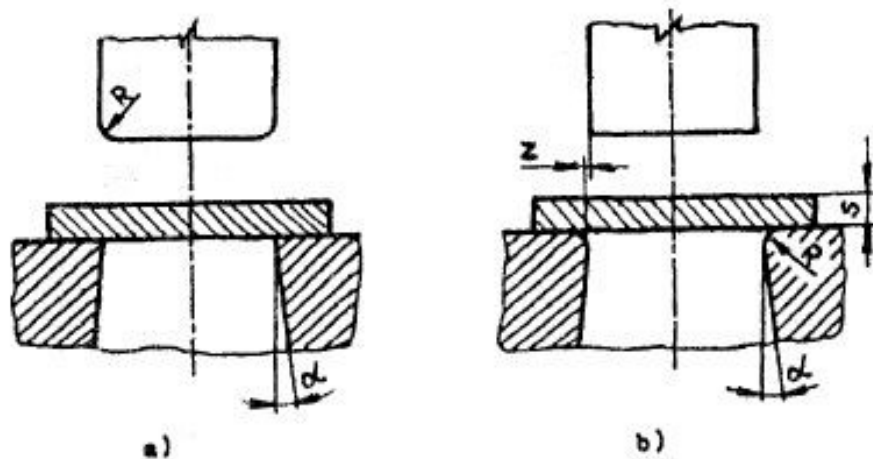
Stříhaný materiál je v počáteční fázi stříhání sevřen mezi přidržovač a střížnici. Tím je tlačná hrana vtlačena do plechu ještě před vlastním stříhem. Umístění tlačné hrany na přidržovači je voleno mimo křivku stříhu. Nejvýhodnější rozložení hlavních napětí je právě v oblasti stříhu, kde vzniká trojosá napjatost. Všestranný tlak podporuje průběh čistě plastického stříhu. [18]



Obrázek 17 – Stříhání s tlačnou hranou [9]

2.7.2 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou

Princip metody spočívá v zabránění vzniku střížné trhliny ve stříhaném materiálu zaoblením na hraně střížnice nebo střížníku. Vliv zaoblení na jakost střížné plochy je tím větší, čím menší je střížná mezera. Uvedený způsob přesného stříhání je vhodný pro měkkou ocel. Střížný nástroj má bandážovanou střížnici. Schéma přesného stříhání se zaoblenými střížnými hranami pro případ dosažení hladké střížné plochy při děrováním a vystříhování je znázorněn na Obrázku 18. [18]

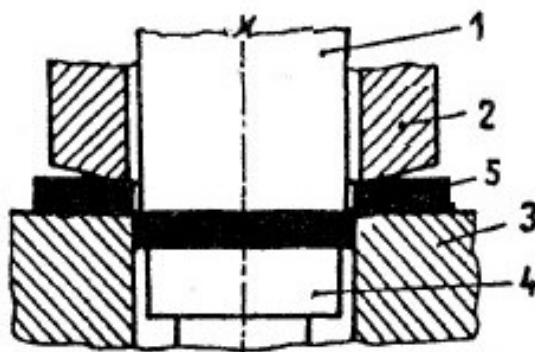


Obrázek 18 – Přesné stříhání se zaoblenými střížnými hranami [17]

a) děrování, b) vystříhování

2.7.3 Stříhání se zkoseným přídržovačem

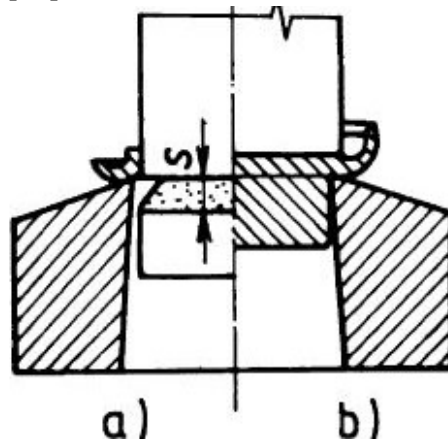
Zkosený přídržovač vyvozuje dvojosý stav napjatosti při stříhání. Vrcholový úhel přídržovače bývá $178^{\circ} 30'$. Poloměr zaoblení na střížné hraně je max. 0,01 mm. Uvedený způsob je v praxi poměrně málo používaný. [18]



Obrázek 19 – Stříhání se zkoseným přídržovačem [18]

2.7.4 Přistřihování

Technologie spočívá v oddělování malého množství kovu (třísky) ze střížné plochy s cílem dosažení větší přesnosti a kvality povrchu střížné plochy bez mikro-trhlinek, zpevnění a vnitřních pnutí. Tloušťka odděleného materiálu je 0,1 až 0,5 mm. Přistřihování lze provádět jak po otevřené, tak i po uzavřené čáře stříhu. Doporučuje se přistřihování ve stejném směru, jak bylo předchozí stříhání. [18]



Obrázek 20 – Přistřihování [8]

a) s kladnou, b) se zápornou vřtí

2.8 Nástřihový plán

Úspora materiálu patří při stříhání mezi základní hlediska technologičnosti výroby. Pro malý počet vyráběných dílů nemá tak velký význam. S rostoucí sériovostí však nabývá na významu a při velkosériové výrobě má větší význam než ostatní zdroje úspor. Význam úspory materiálu vyplývá z toho, že při lisování bývá 60 až 80% z celkových nákladů na materiál a jen 5 až 15% je podíl přímých mezd. U malosériové výroby je podíl na materiálu asi 30%, na mzdy 20%, na nástroje 25% a zbytek je na režii. Z těchto důvodů je nutné zabývat se úsporou materiálu. [14]

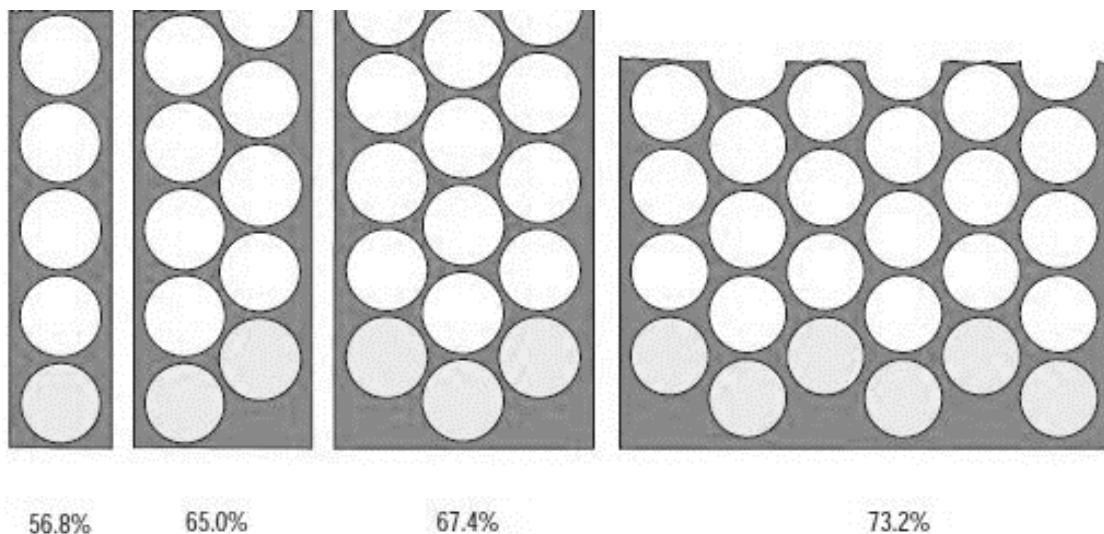
Nástřihový plán může být buď kusový, kdy se určuje nejvýhodnější způsob stříhání nebo skupinový, kdy se budou stříhat různé tvary a součásti jednoho výrobku. Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$\eta = \frac{S_o}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

kde

S_o ...celková plocha výstřížků v mm^2

S_p ...plocha pásu plechu v mm^2



Obrázek 21 – Rozmístění výrobků a vliv na hospodárnost využití v procentech [17]

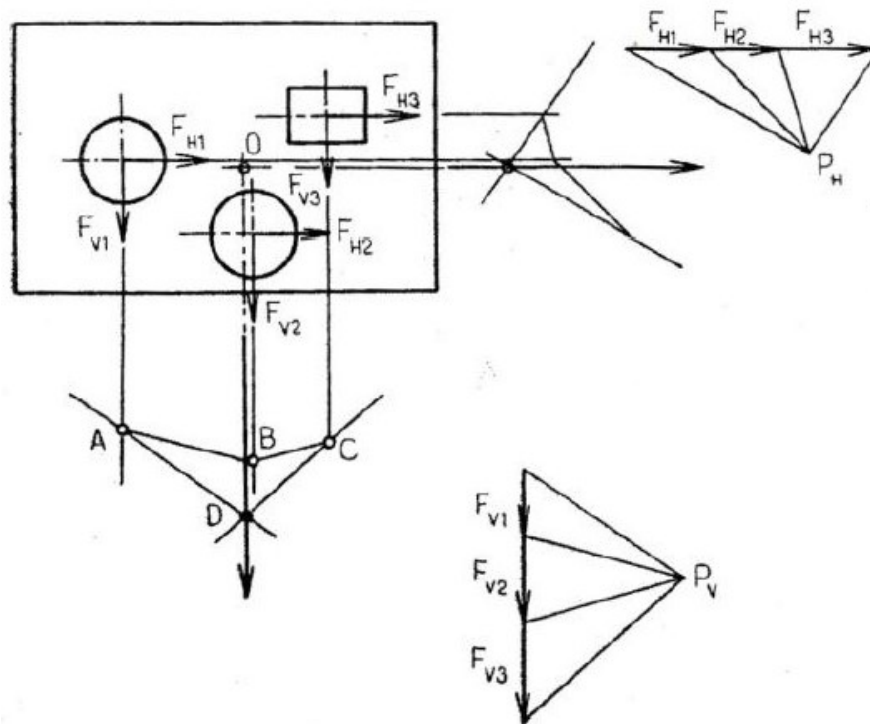
Aby bylo při postupovém stříhu dosaženo dobré kvality výstřížků a bylo zajištěno dobré podávání odpadu, musí se zachovat určitá šířka mezer mezi výstřížky i mezi výstřížkem a okrajem pásu plechu (Obrázek 22).

Tloušťka materiálu (mm)	Šířka/pásu (mm)												Šířka pásu (mm)											
	do 15		15 až 50		50 až 100		100 až 200		200 až 300		nad 300		do 15		15 až 50		50 až 100		100až200		200až300		nad 300	
	Rozměr a, b (mm)				Rozměr a, b (mm)				Rozměr a, b (mm)				Rozměr a, b (mm)				Rozměr a, b (mm)				Rozměr a, b (mm)			
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
0,1 až 0,2	1	1,2										1	1,2											
0,3 až 0,4	1	1,2	1,3	1,6								1	1,2	1,3	1,6									
0,4 až 0,6	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2						1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2,5						
0,7 až 0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3				1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	3	3,2					
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3,5	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	4	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4,2	5	5	6	6	7
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,3	6,3	6,3	7,2
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,5	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8			3,5	4,3	4	5	5,5	6	6	7	7	8,5
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2			3,7	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,8	8,7			4	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Obrázek 22 – Doporučené velikosti můstků [9]

2.9 Těžiště střížných sil

Stříhá-li se současně několika střížníky na lisu, musí výslednice střížných sil působit v ose lisu. Kdyby tato síla působila mimo osu, byl by beran zatížen značným klopným momentem, což by se projevilo menší přesností výrobků, snížením životnosti nástrojů i předčasným opotřebením beranu lisu. Působíště výslednice lze zjistit buď výpočtem, nebo graficky. Protože tloušťka i mechanické vlastnosti materiálu jsou pro určitý výstřížek stejné, bude velikost střížných sil přímo úměrná obvodu děrovaného otvoru. Proto pro určení výslednice střížných sil lze předpokládat, že v těžištích jednotlivých stříhaných otvorů působí střížné síly úměrné délce obvodu příslušného otvoru. Při grafickém řešení se postupuje dle Obrázku 23.



Obrázek 23 – Grafické stanovení těžiště střížných sil [9]

Na obrázku půdorysu nástroje jsou v těžištích působících střížných sil naneseny velikosti střížných sil (úměrné obvodu děrovaného otvoru), a to ve směru vertikálním F_{1V} , F_{2V} atd. Vhodně se zvolí bod (pól) P_V . Na libovolnou svislou přímku vedle bodu P_V se nanesou za sebou síly F_{1V} , F_{2V} atd. Spojí se začátky a konce sil nanesených na přímku s pólem P_V a vznikne tzv. pólový obrazec. Pod obrázek půdorysu střížného nástroje se prodlouží směry působících střížných sil. Na prodloužené spojnici síly F_{1V} je zvolen libovolný bod A. Tímto bodem je vedena rovnoběžka s čarou pólového obrazce, která spojuje pól P_V s koncovým bodem síly F_{1V} (v pólovém obrazci). Tato rovnoběžka vedená bodem A přetne prodlouženou

čáru síly F_{2V} v bodě B. Tímto bodem se opět vede rovnoběžka s čarou spojující pól P_V s koncem síly F_{2V} v pólovém obrazci, až protne prodlouženou čáru síly F_{3V} v bodě C.

Kdyby působících sil bylo více, postupovalo by se podobně dále, až k poslední síle. Bodem C je vedena rovnoběžka se spojnicí pólu P_V s koncem síly F_{3V} v pólovém obrazci. Bodem A dále rovnoběžku se spojnicí pólu P_V se začátkem síly F_{1V} v pólovém obrazci. Průsečíkem D těchto dvou čar prochází hledaná výslednice sil ve směru vertikálním. Totéž se opakuje ve směru horizontálním a tak vznikne výslednice sil ve směru horizontálním. Průsečík obou výslednic je pak hledané těžiště. [9][20]

Lze použít také početní metody. Vychází se z podmínky, která platí pro rovnovážný stav, tj. že součet momentů sil ke zvolené přímce je roven nule. Matematicky vyjádřeno:

$$F_x \cdot X = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c \quad (5)$$

kde

$$F_x = F_1 + F_2 + F_3 \text{ [N]}$$

X ...vzdálenost výslednice sil od osy y v mm

a, b, c ...vzdálenost sil F_1, F_2, F_3 od osy y v mm

Z toho plyne:

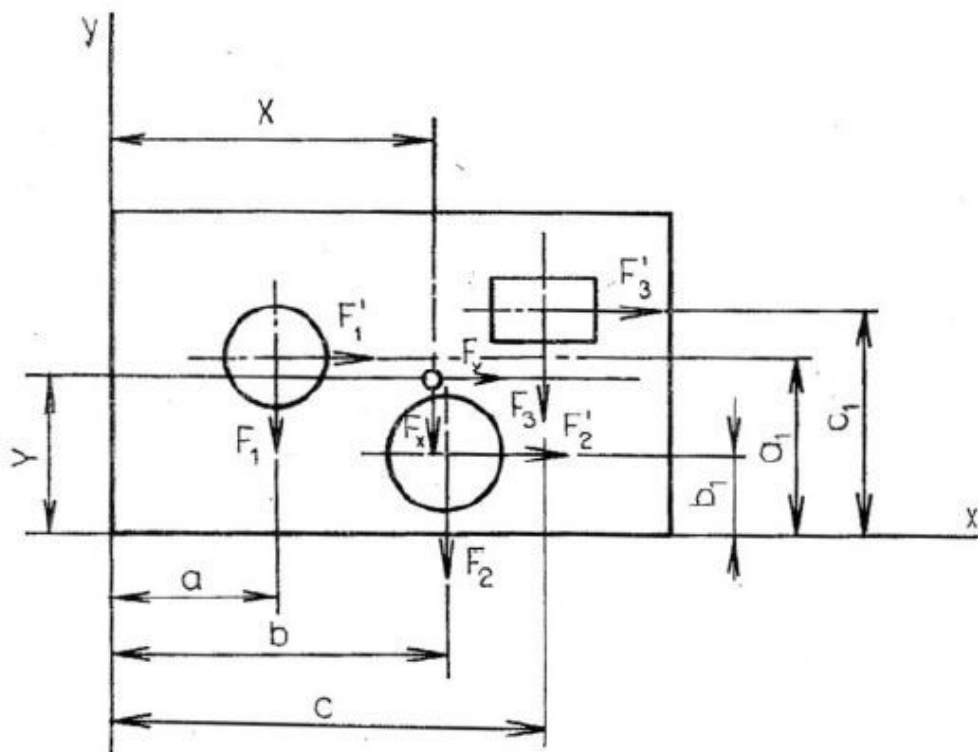
$$X = \frac{F_1' \cdot a + F_2' \cdot b + F_3' \cdot c}{F_1 + F_2 + F_3} \quad (6)$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot a_1 + F_2' \cdot b_1 + F_3' \cdot c_1}{F_1' + F_2' + F_3'} \quad (7)$$

kde

a_1, b_1, c_1 ...vzdálenost sil F_1', F_2', F_3' od osy x v mm

Y ...vzdálenost výslednice sil od osy x v mm



Obrázek 24 – Výpočetní stanovení těžiště střížných sil [9]

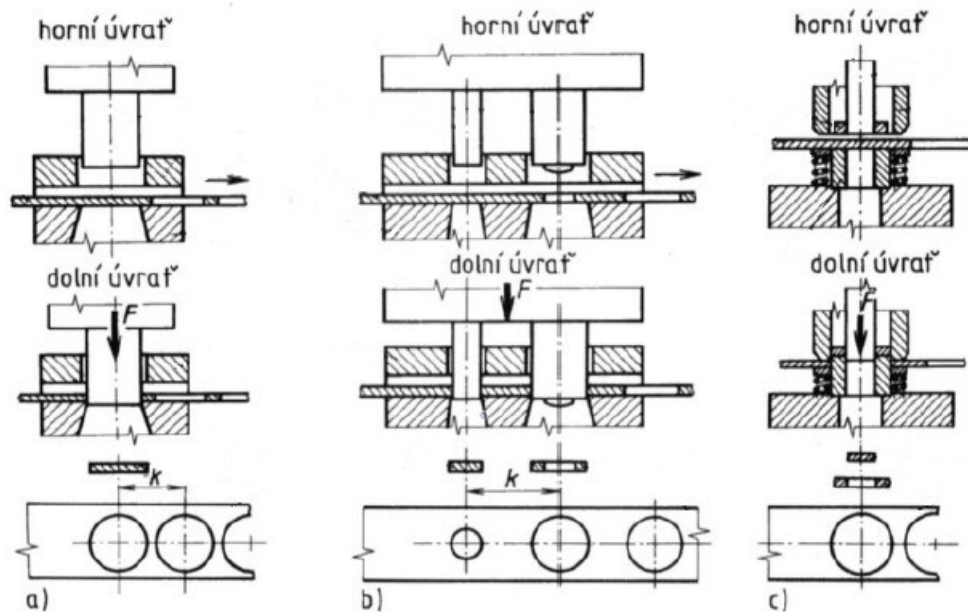
2.10 Nástroje pro stříhání – stříhadla

Hlavní částí stříhadla je střížník a střížnice. Materiál se vkládá mezi střížník a střížnici a je nejčastěji veden vodícími lištami. Jeho posuv (krok) je mezi jednotlivými zdvihy střížníku zpravidla omezen dorazem. Stříhadla jsou doplněna různým zařízením a nářadím, zajišťující správný chod nástroje, jako např. ústrojí upevňovací, posuvové, vyhazovací aj. Názvosloví stříhadel je normalizováno dle ČSN 22 6000. [5]

Stříhadla lze rozdělit následovně:

- Jednoduché stříhadlo – je určeno pro vystříhování jednoduchých tvarů z pásu plechu. Poloha pásu při stříhání je zajištěna pevným koncovým dorazem. Před dalším vystřížením se pás posune o hodnotu kroku. Výlisek je zhotoven při jednom zdvihu střížníku.
- Postupové stříhadlo – zhotovuje výstřížek postupně. V prvním kroku je to děrování, v dalším vystřížení tvaru (obvodu) výstřížku. Při vložení nového pásu do nástroje se použije k vymezení jeho polohy pro děrování a vystříhování tzv. načínací doraz. V dalším průběhu práce je poloha pásu zajištěna pevným koncovým dorazem.

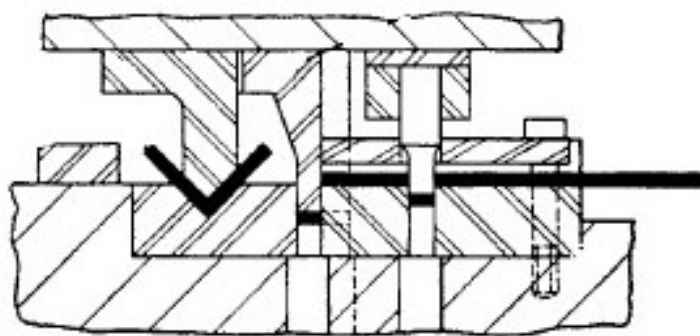
- Sloučené stříhadlo – na jeden pracovní zdvih nástroje je ve stejné poloze pásu děrován a vystřihován hotový výstřížek.



Obrázek 25 – Lisovací nástroje [5]

a) jednoduché stříhadlo, b) postupové stříhadlo, c) sloučené stříhadlo

- Sdružené stříhadlo – v tomto stříhadle se sdružují různé pracovní úkony, jako např. děrování, stříhání, ohýbání, tažení na jeden krok, resp. ve více krocích. Poté se jedná o sdružený postupový nástroj. [21][5]



Obrázek 26 – Sdružené stříhadlo (stříh a ohyb) [22]

3 MATERIÁLY STŘIŽNÝCH NÁSTROJŮ

Na materiálu funkčních částí nástroje a na postupu tepelného zpracování je závislá hospodárnost a především ekonomická otázka výhodnosti stříhání. Byly vyvinuty nástrojové oceli pro výrobu střížných nástrojů, u nichž se vyžaduje maximální odolnost proti opotřebení. Výběr materiálu pro funkční části nástrojů je závislý na řadě činitelů. Patří mezi ně typ nástroje, zpracovávaný materiál a požadovaný počet výstřížků. Mimo kovové materiály se při výrobě nástrojů používají např. elastomery aj. [9]

3.1 Konstrukční oceli

Volba správného druhu oceli pro součásti nástrojů je vyjádřena způsobem a velikostí namáhání, předpokládaným tvarem a technologií výroby. V současné době vývoj všeobecně směřuje k používání pokud možno nejmenších rozměrů, s velmi dobrými vlastnostmi zvoleného materiálu. Tyto oceli se používají především na nefunkční díly, jako jsou např. základové desky. [14]

Tabulka 2 – Použití konstrukčních ocelí

Ocel	Použití	Tepelné zpracování
11 110, 11 373, 11 375, 11 523	pro méně namáhané součástky	-
11 500, 11 523, 11 600	klíny, pera, základové desky	-
12 060, 12 061	stěrače, upínací stopky	zušlechtěno
12 040, 12 090	méně namáhané pružiny	zušlechtěno
14 260, 15 260	vysoce namáhané pružiny	zušlechtěno
14 120, 14 220	vodící sloupky, pouzdra	cementováno, kaleno

3.2 Litiny

Méně namáhané součásti, hlavně u velkých nástrojů, dovolují použití litiny. Při jejich volbě je však nutno uvážit způsob namáhání. Nahradíme-li ocel litinou, lze dosáhnout úspor hmotnosti a snížení kapacity třískového obrábění. Použití je v tom případě ekonomicky výhodné. Pro díly s malým tahovým nebo ohybovým napětím postačí i šedá litina. Je zvláště vhodná pro vodící elementy, kde grafit v základní struktuře působí jako mazivo. Dále se

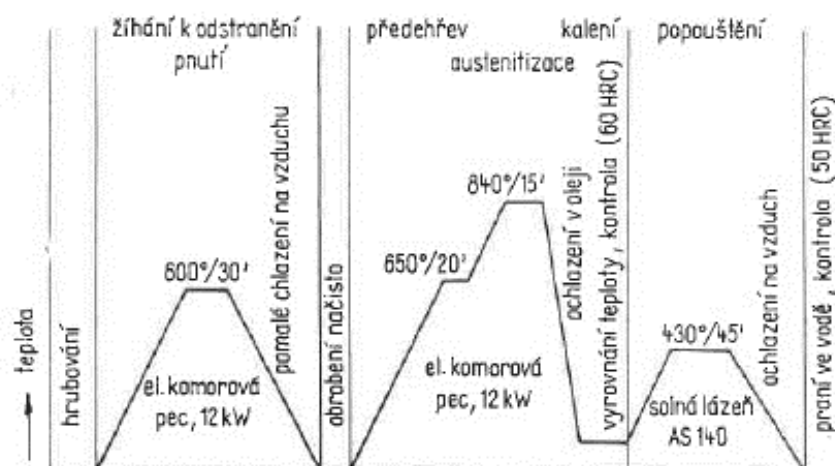
používá tvárná litina, kterou lze nahradit ocelový odlitek při stejné pevnosti a s vyšší mezí průtažnosti. Litiny se používají na základové desky, stěrače, vodící pouzdra a jiné součástky velkých rozměrů. [14]

3.3 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli jsou slitinou železa, karbidu železa a dalších slitinových prvků, které svou přítomností ovlivňují prokalitelnost, koagulaci karbidů, zvyšují odolnost proti opotřebení a zjemňují zrna. Pro střižné nástroje se používají tyto druhy nástrojových ocelí:

- nelegované uhlíkové,
- středně legované,
- vysoce legované,
- oceli k cementování,
- oceli vyrobené práškovou metalurgií. [14]

Aby oceli měly požadované vlastnosti, musí se tepelně zpracovat. Základní operace tepelného zpracování nástrojových ocelí je žíhání k odstranění pnutí, které následuje po hrubování dané součástky. Každá operace obrábění způsobí v oceli pnutí. Žíhání spočívá v ohřevu s následným pomalým ochlazením v peci. Zvláštní pozornost je třeba věnovat přehřevu před vlastním kalením. Přehřev se skládá z několika stupňů vzhledem k prostředí. Tím se získá dostatečný čas k rozpuštění karbidů. Rovnoměrné prohřátí je předpokladem malých deformací během kalení. Kalení představuje ochlazení oceli pro dosažení požadované struktury. Je odlišné podle skupiny a požadovaných vlastností oceli. Jako kalící prostředí používáme minerální olej, vodu, vzduch, teplou lázeň apod. [14]



Obrázek 27 – Cyklus tepelného zpracování oceli 19452 [14]

Tabulka 3 – Příklady používaných nástrojových ocelí [23]

Ocel	Použití	Vlastnosti	Tvrдость HRC
19 132.4	nože strojních nůžek, pro menší výkony	vysokouhliková ocel ke kalení do vody s malou prokalitelností, dobře obrobiteľná	58
19 152.4	pro méně namáhané střižné a tvářecí nástroje, pro menší výkony	vysokouhliková ocel ke kalení do vody s malou prokalitelností, dobře obrobiteľná	65
19 312.4	opěrné desky, vedení, všechny druhy nástrojů pro stříhání a ohýbání, razicí nástroje	nízkolegovaná Mn-V ocel ke kalení do oleje, dobrá stálost rozměrů, dobrá houževnatost a odolnost proti opotřebení	63
19 346.4	všechny nástroje pro stříhání na lisech, materiálů o velkých pevnostech a pro tvrdé materiály, ohybové nástroje	vysokolegovaná chromová ocel ke kalení do oleje a na vzduchu s velkou prokalitelností, dobrou odolností proti opotřebení a nižší houževnatostí	63
19 573.4	nástroje pro stříhání materiálů do tloušťky 10mm, materiálů o vysoké pevnosti, materiálů s keramickým povlakem, rotorových plechů, plechů z nerezavějících ocelí	vysokolegovaná Cr-V-Mo ocel ke kalení do oleje nebo na vzduchu s velmi vysokou prokalitelností	63
19 802.4	střižné nástroje s velkou životností	rychlořezná wolframová ocel se zvýšeným obsahem V, s dobrou odolností proti opotřebení, ztížená obrobiteľnost	64
19 830.4	nástroje s velkou životností pro stříhání a děrování materiálů s velkou pevností, tvárníky, pro vysoké tlaky	rychlořezná W-Mo ocel s vysokou houževnatostí, s dobrou odolností proti opotřebení	64

značka	chemické složení						tvrdost HRc	poznámka
	C	Cr	Mo	W	V	Co		
CPM® 1V RQ®	0,6	4,5	2,8	2,2	1,0	-	50↔58	extrémně houževnatá nástrojová ocel pro práci za tepla; výkonnější alternativa k ocelím 1.2343 nebo 1.2344
CPM® 3V®	0,8	7,5	1,3	-	2,8	-	54↔61	výtečná houževnatost s dobrou otěruvzdorností; houževnatější než oceli 1.2379 nebo 1.2363 a přibližuje se v tomto parametru nástrojovým ocelím pro práci za tepla
CPM® 9V®	1,9	5,2	1,3	-	9,0	-	43↔58	ocel pro aplikace, při kterých vysoce legované rychlořezné nástrojové oceli nestačí houževnatostí a nástrojové oceli pro práci za tepla nestačí otěruvzdorností
CPM® 10V®	2,4	5,2	1,3	-	9,7	-	59↔64	vysoce otěruvzdorná a výjimečně houževnatá ocel v oblasti práce za studena (dochází-li k problémům s lomy nebo výlomy)
CPM® 15V®	3,4	5,2	1,3	-	14,5	-	59↔63	ve srovnání s CPM 10 V má o cca 50% vyšší obsah vysoce otěruvzdorných karbidů vanadu, což její otěruvzdornost posunuje na extrémní úroveň

Obrázek 28 – Příklady nástrojových ocelí vyrobených práškovou metalurgií od firmy Bohdan Bolzano s.r.o. [24]

3.4 Elastomerní materiály

Aplikační oblast elastických materiálů u střížných nástrojů je široká. Používají se na funkčních částí nástrojů, sčerače, vyhazovače, přidržovače, pružiny atd. Nejznámější polymer používaný při výrobě střížných nástrojů je polyuretanový elastomer tzv. polytan.

Polytan se vyznačuje velmi dobrými fyzikálně-mechanickými parametry a vysokou stálostí v benzínech, minerálních olejích, alifatických uhlovodících a odolností vůči ozónu. Vykazuje rovněž vysokou strukturní pevnost a odolnost vůči oděru, což společně s tlumícími schopnostmi z něj činí vynikající materiál pro řadu aplikací. [25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

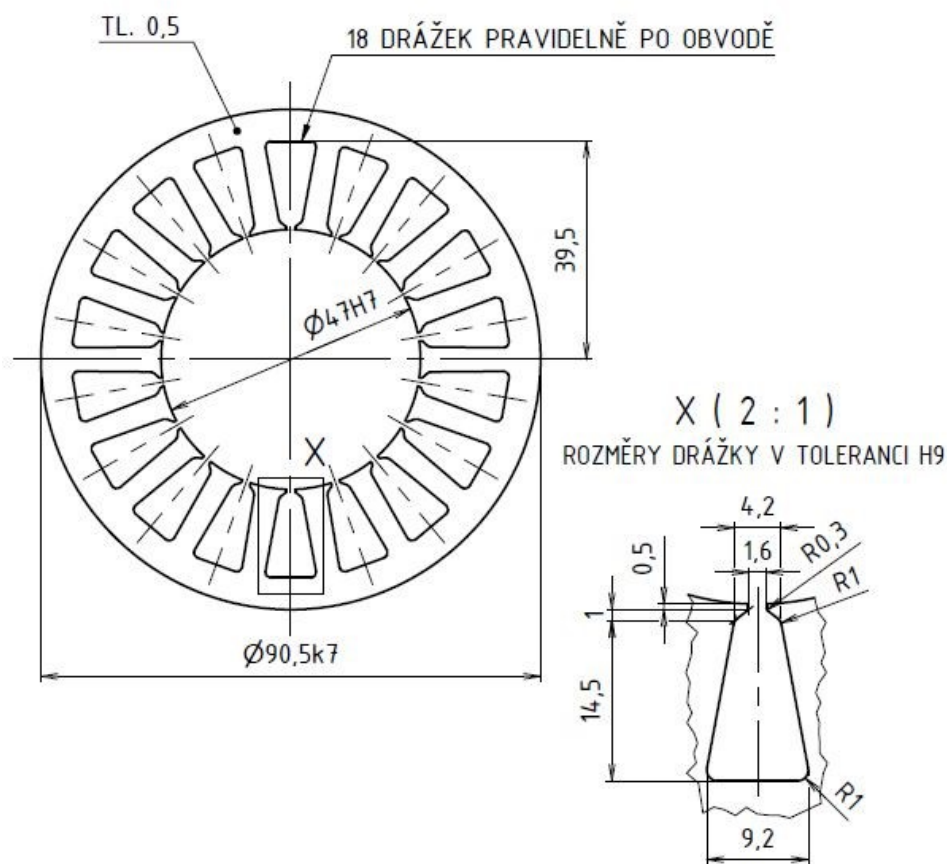
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je konstrukce postupového stříhadla pro lisování plechu statoru dle jednotlivých bodů zadání.

- Vypracování literární studie technologie tváření a stříhání.
- Návrh nástřihového plánu. Je nutné zvolit správný nástřihový plán, dle kterého vyplynou rozměry jednotlivých částí nástroje. Dále je důležité zjistit potřebnou lisovací sílu a porovnat ji s maximální silou lisu a ověřit tak jeho použitelnost pro daný nástroj.
- Provedení konstrukce jednotlivých částí nástroje včetně sestavy. Tato část se zabývá konstrukcí částí postupového nástroje, jejich popisem a volbou normovaných dílů.
- Vypracování výkresové dokumentace.
- V neposlední řadě je také důležité ověření funkčnosti nástroje a zhodnocení výsledků.

5 VOLBA NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU

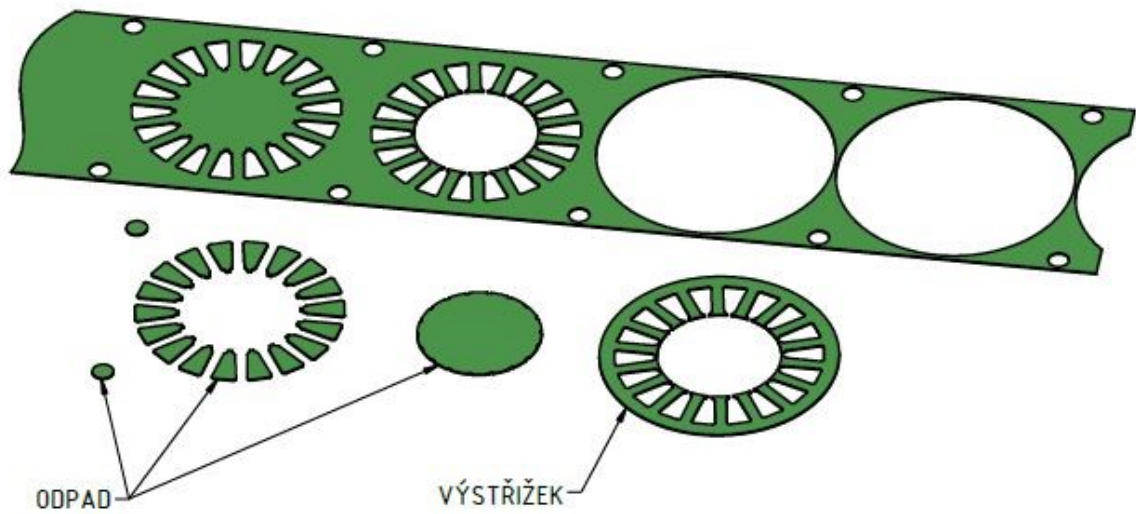
Základem pro volbu nástřihového plánu a následnou konstrukci postupového střížného nástroje je zadaný výstřížek. Jedná se o plech statoru (Obrázek 29), z materiálu M400-50A a tloušťky 0,5 mm.



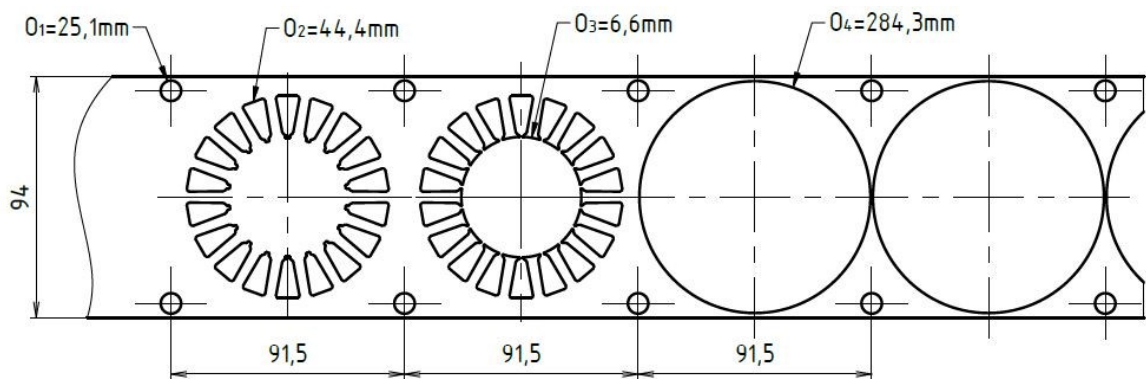
Obrázek 29 – Statorový plech

5.1 Nástřihový plán

Byl navržen nástřihový plán (Obrázek 30), který sestává ze tří kroků. V prvním kroku se do pásu plechu razí hledáčekové otvory, které v následujících krocích zajišťují správnou polohu pásu plechu v nástroji. Dále jsou prostříženy jednotlivé drážky statoru. Tyto dvě operace jsou sloučeny do jednoho kroku. V druhém kroku je vystřížen středový otvor. V posledním, třetím kroku je obstřížen obvod výstřížku. Hotový plech je odváděn skrz střížnici a dále odvodným tunelem. Zbytková mřížka je dále za nástrojem odstřížena šrotovacími noži samotného lisu. Pro výrobu bude použit svitek o šířce 84 mm, krok nástroje je 91,5 mm. Pro výpočet lisovací síly byly z 3D modelu stanoveny délky střížných hran v jednotlivých krocích (Obrázek 31).



Obrázek 30 – Nástřihový plán 3D



Obrázek 31 – Nástřihový plán 2D

5.2 Výpočet lisovací síly

Pro zjištění použitelnosti nástroje na daném lisu je nutné porovnat potřebnou lisovací sílu s maximální silou lisu. Ze střížné síly se také následně stanovuje stírací síla vodící desky, která slouží zároveň jako stěrač.

Napětí ve stříhu τ_S :

$$\tau_S = R_m \cdot 0,8 = 465 \cdot 0,8 = 372 \text{ MPa} \quad (8)$$

kde

R_m ...mez pevnosti stříhaného materiálu (dle [26] $R_m = 465 \text{ MPa}$)

Střížný obvod O :

$$O = x_1 \cdot O_1 + x_2 \cdot O_2 + x_3 \cdot O_3 + x_4 \cdot O_4 \text{ [mm]} \quad (9)$$

$$O = 2 \cdot 25,1 + 18 \cdot 44,4 + 18 \cdot 6,6 + 1 \cdot 284,3 = 1\,252,5 \text{ mm} \quad (10)$$

kde

$O_1, O_2, O_3, O_4 \dots$ jednotlivé délky střížných tvarů viz Obrázek 31 v mm

$x_1, x_2, x_3, x_4 \dots$ počet střížných tvarů

Střížná síla F_S :

$$F_S = (1,1 \div 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_S \text{ [N]} \quad (11)$$

$$F_S = 1,3 \cdot 1\,252,5 \cdot 0,5 \cdot 372 = 302\,854,5 \text{ N} \quad (12)$$

kde

$O \dots$ střížný obvod v mm

$s \dots$ tloušťka plechu v mm

$\tau_S \dots$ napětí ve stříhu v MPa

Potřebná lisovací síla je 302,9 kN. Jmenovitá síla lisu 2 000 kN tudíž dostačuje.

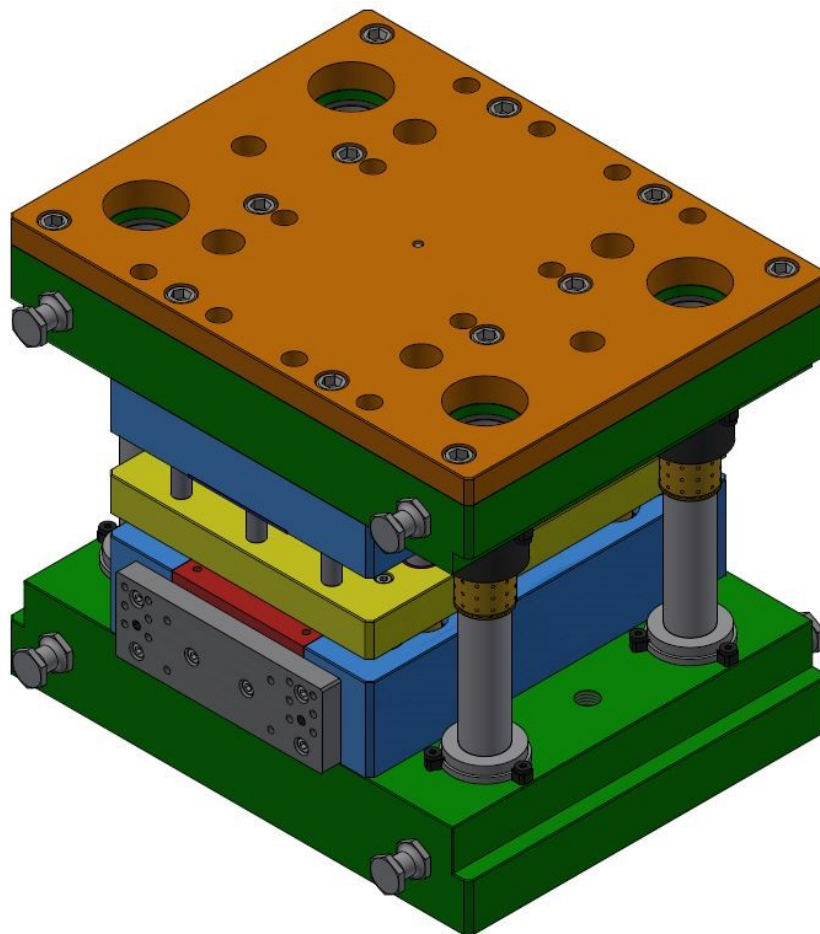
Jakost		Ztráty v jádře max. při		Minimální magnetická polarizace při			Mechanické vlastnosti			Hustota
EN 10027-1	EN 10027-2	1,5 T/50 Hz [W/kg]	1,0 T/50 Hz [W/kg]	2.500 A/m [T]	5.000 A/m [T]	10.000 A/m [T]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	HV5	[kg/dm ³]
Nominální tloušťka: 0,35 mm										
M235-35A	1.0890	2.35	0.95	1.49	1.60	1.70	430	560	215	7.60
M250-35A	1.0800	2.50	1.00	1.49	1.60	1.70	360	510	200	7.60
M270-35A	1.0801	2.70	1.10	1.49	1.60	1.70	350	500	190	7.65
M300-35A	1.0804	3.00	1.20	1.49	1.60	1.70	345	490	170	7.65
M330-35A	1.0803	3.30	1.30	1.49	1.60	1.70	335	480	155	7.65
Nominální tloušťka: 0,5 mm										
M250-50A	1.0891	2.50	1.05	1.49	1.60	1.70	430	560	215	7.60
M270-50A	1.0806	2.70	1.10	1.49	1.60	1.70	360	510	200	7.60
M290-50A	1.0807	2.90	1.15	1.49	1.60	1.70	350	500	190	7.60
M310-50A	1.0808	3.10	1.25	1.49	1.60	1.70	345	490	180	7.65
M330-50A	1.0809	3.30	1.35	1.49	1.60	1.70	335	480	160	7.65
M350-50A	1.0810	3.50	1.50	1.50	1.60	1.70	330	475	155	7.65
M400-50A	1.0811	4.00	1.70	1.53	1.63	1.73	325	465	150	7.70
M470-50A	1.0812	4.70	2.00	1.54	1.64	1.74	320	460	145	7.70
M530-50A	1.0813	5.30	2.30	1.56	1.65	1.75	315	450	140	7.70
M600-50A	1.0814	6.00	2.60	1.57	1.66	1.76	310	440	135	7.75
M700-50A	1.0815	7.00	3.00	1.60	1.69	1.77	300	430	130	7.80
M800-50A	1.0816	8.00	3.60	1.60	1.70	1.78	295	420	125	7.80
M940-50A	1.0817	9.40	4.20	1.62	1.72	1.81	280	400	120	7.85

Obrázek 32 – Vlastnosti elektrotechnických ocelí [26]

6 KONSTRUKCE POSTUPOVÉHO STŘIŽNÉHO NÁSTROJE

Sestava postupového střížného nástroje se skládá ze tří základních částí.

- Spodní části – spodní deska, kotevní deska, střížnice, vložka střížnice, vedení pásu, dorazy, vodící sloupky a další.
- Střední části (tzv. mezidesky) – vodící deska, vodící vložky, dorazy.
- Vrchní části – vrchní deska, kotevní deska, střížníky, pružinová deska, distanční trubky, tlačné kolíky, aj.

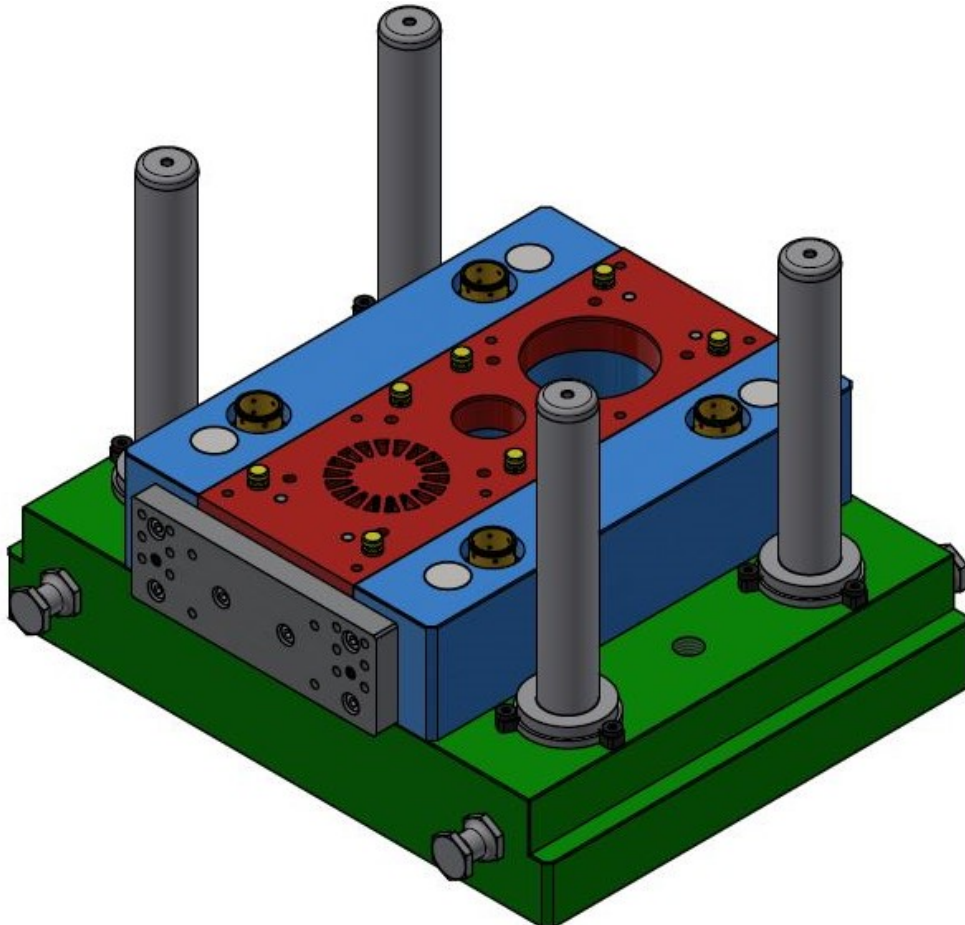


Obrázek 33 – Celková sestava

Nástroj se bude používat na lisu SCHULLER A2-200 se jmenovitou silou 2 000 kN. Součástí lisu je odviják a následná rovnačka svitku. Dále je nutné použití vodící plošiny pro navedení svitku do nástroje, tunel pro odvod výlisků a podložnou desku, která vymezení otvor propadu spodní desky lisu a zabrání tak zbytečnému prohýbání nástroje. S nástrojem jako celkem lze manipulovat za závěsné šrouby M20 ve vrchní desce. Je nutné však nástroj sešroubovat dvěma šrouby M24x350.

6.1 Spodní část

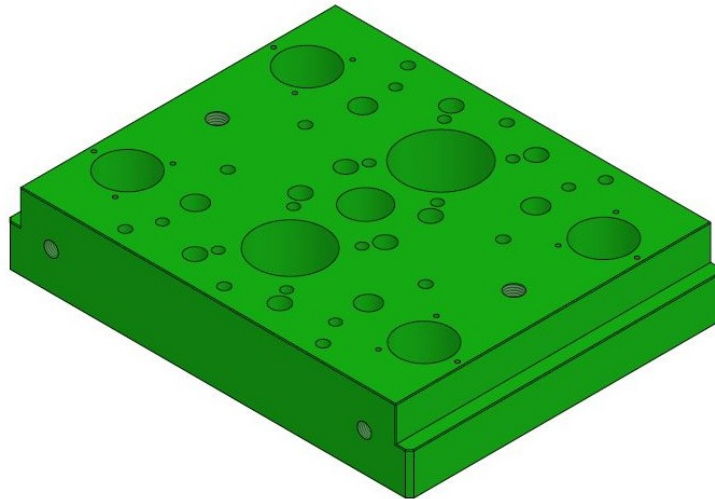
Spodní část nástroje se skládá z nosné desky, ke které jsou postupně ukotveny všechny ostatní díly jako je deska kotevní, střižnice, spodní dorazy a vedení pásu plechu v nástroji. Osazena je přesnými kónickými pouzdry pro vodící sloupky.



Obrázek 34 – Spodní část

6.1.1 Spodní deska

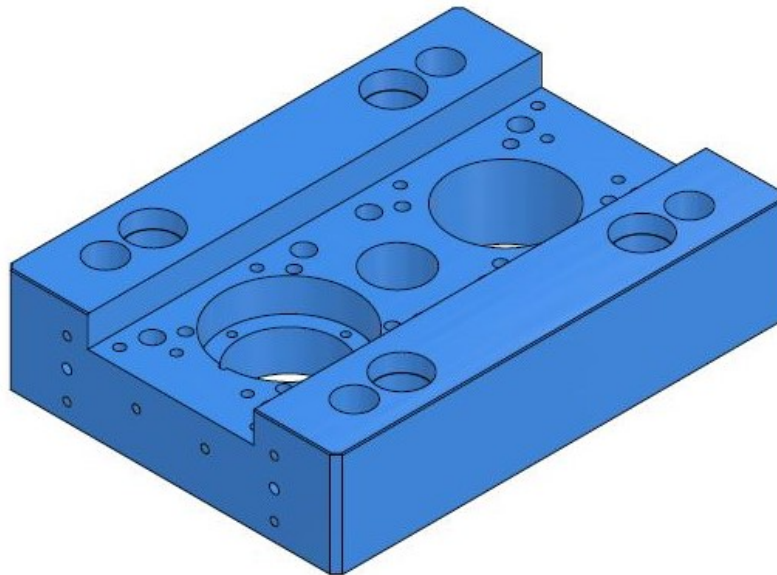
Pomocí této desky se spodní část nástroje připevňuje ke stolu lisu. V desce jsou zhotoveny přesné otvory pro pouzdra vodících sloupků. Dále slouží jako nosič spodní kotevní desky, která je přišroubovaná a ustavená pomocí středících kolíků. Jako materiál je zvolena konstrukční ocel 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 35 – Spodní deska POZ. 1001

6.1.2 Kotevní deska – spodní

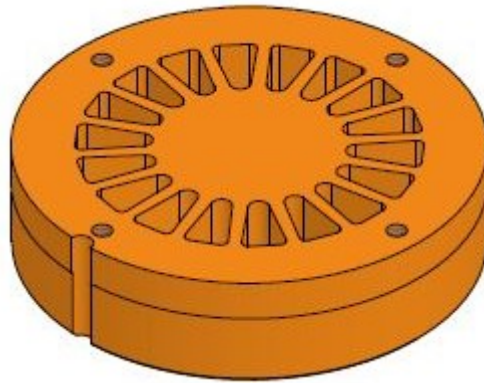
Deska sloužící k ukotvení střížnice. Zámek pro osazení střížnice je vyroben v toleranci H7. Velký důraz je kladen na polohu zámku a otvorů pro pouzdra vedení střední části nástroje, aby byl zaručen hladký průběh stříhu. Materiál byl zvolen jako u spodní desky, tj. 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 36 – Spodní kotevní deska POZ. 1002

6.1.3 Vložka desky kotevní

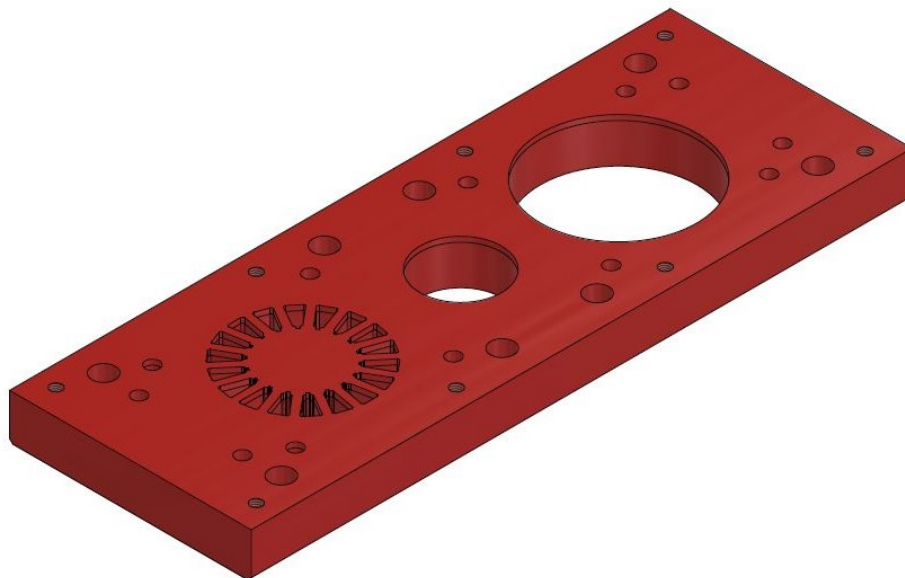
Pro lepší podepření střížnice v místě prvního kroku, kde dochází ke stříhu drážek plechu je použita vložka, která zabraňuje případnému prohýbání střížnice. Materiál vložky je 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 37 – Vložka POZ. 1003

6.1.4 Střížnice

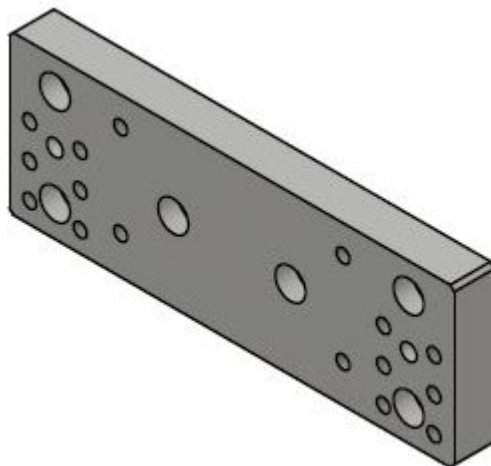
Při větších postupových nástrojích se obvykle dělí pro jednotlivé kroky. V tomto případě, kdy má nástroj pouze tři kroky a je relativně krátký, je střížnice konstruována jako sdružená. Střížné tvary a všechny přesné otvory jsou zhotoveny pomocí elektroerozivního obrábění. Střížná hrana opatřená fazetkou o výšce 3mm je zhotovena se střížnou vůlí 0,04 mm oproti střížníkům. Jako materiál byla zvolena nástrojová ocel 19 573 (EN X153CrMoV12), která je vhodná pro střížné nástroje díky své otěruvzdornosti a dobré prokalitelnosti. Střížnice je kalena a popuštěna na tvrdost 63 HRC.



Obrázek 38 – Střížnice POZ. 1004

6.1.5 Deska vedení

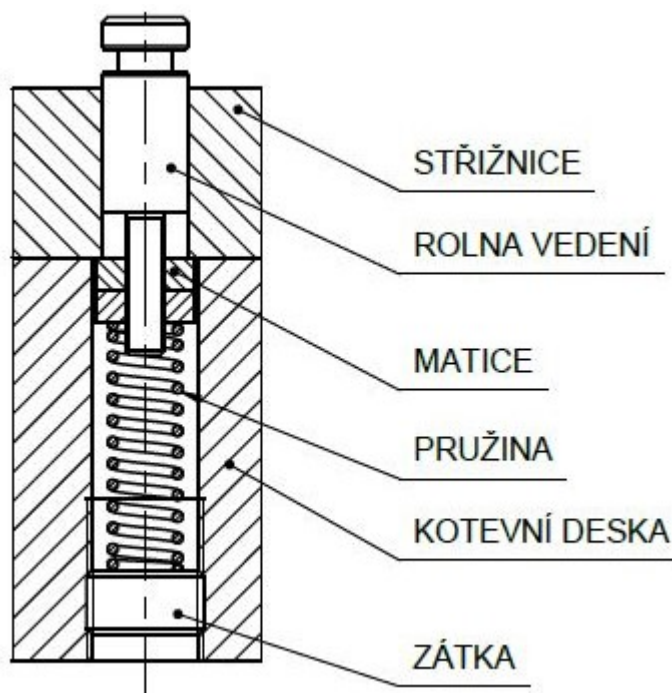
Slouží pro připevnění vodící plošiny, která vede pás plechu do postupového nástroje. Je zhotovená z konstrukční oceli 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 39 – Deska vedení POZ. 1003

6.1.6 Vedení pásu plechu v nástroji

V nástroji je nutné zajistit správné vedení pásu nad úrovní střížnice. K tomuto účelu slouží tzv. rolna. Celá sestava se skládá z rolny vedení, dvou matic, pružiny a zátky. Pomocí matic se nastaví požadovaná výška, ve které je pás veden. Zátkou M18x1,5 lze regulovat předpětí pružiny. Rolna je vedená v přesném otvoru střížnice.



Obrázek 40 – Vedení pásu

Zvolené materiály (tepelné zpracování) pro jednotlivé součásti:

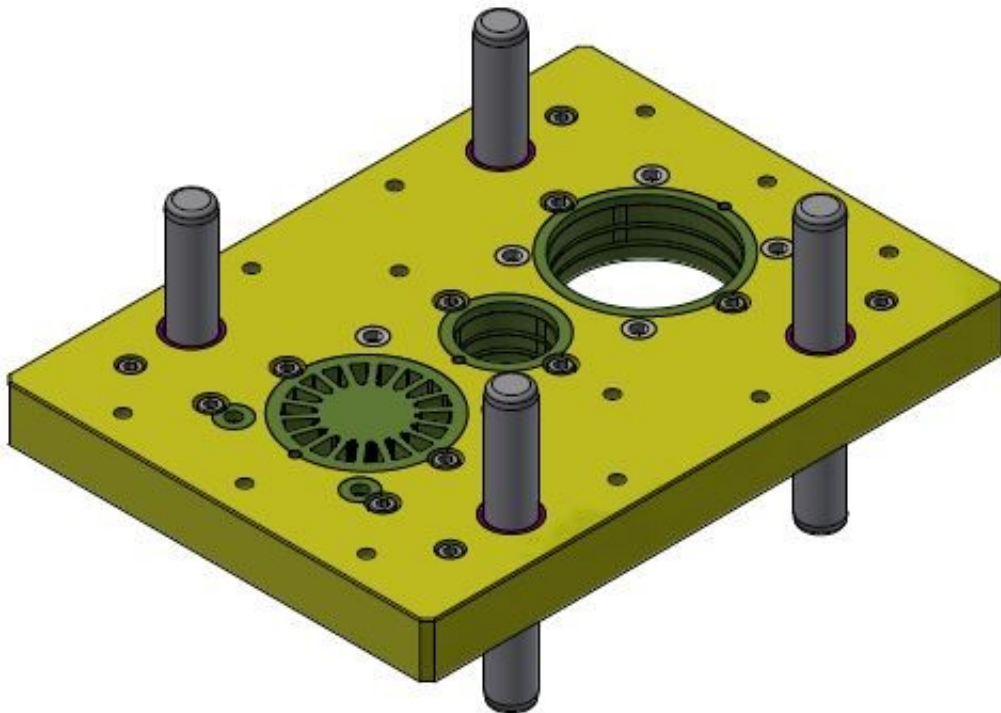
- rolna vedení – 19 312 (EN 90MnCrV8) kalena a popuštěna na 58 HRC,
- matice – 12 050 (EN C45).

6.1.7 Dorazy spodní

Spolu s vrchními dorazy slouží k tomu, aby střední deska nedosedla na stříhaný plech. Udržují tak vůli mezi plechem a deskou na hodnotě cca 0,5 mm. Jsou zhotoveny z materiálu 19 312 (EN 90MnCrV8), kaleny a popuštěny na 56 HRC.

6.2 Střední část

Střední část je odpovědná za správné vedení střížníků do stříhu. Skládá se z nosné desky, která je osazena kalenými vodícími pouzdry, vodícími sloupky a vrchními dorazy. Současně také slouží jako stěrač.

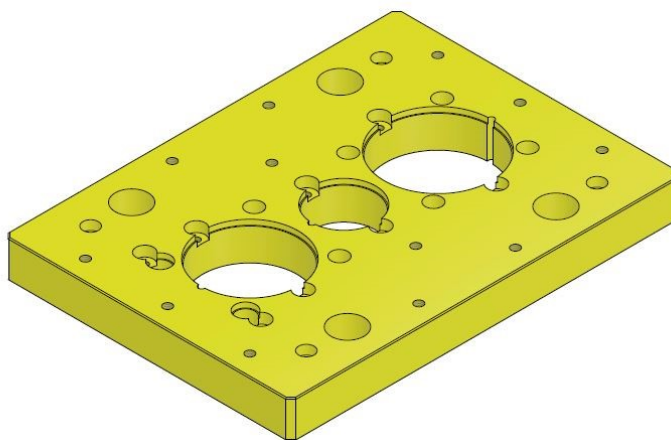


Obrázek 41 – Střední část (mezideska)

6.2.1 Deska vodící

Zabezpečuje vzájemnou polohu střížníků a střížnice. Pro správnou funkci nástroje je nutné dodržet stejnou vůli mezi střížnými částmi po celém jejich obvodu. Deska vodící je opatřena

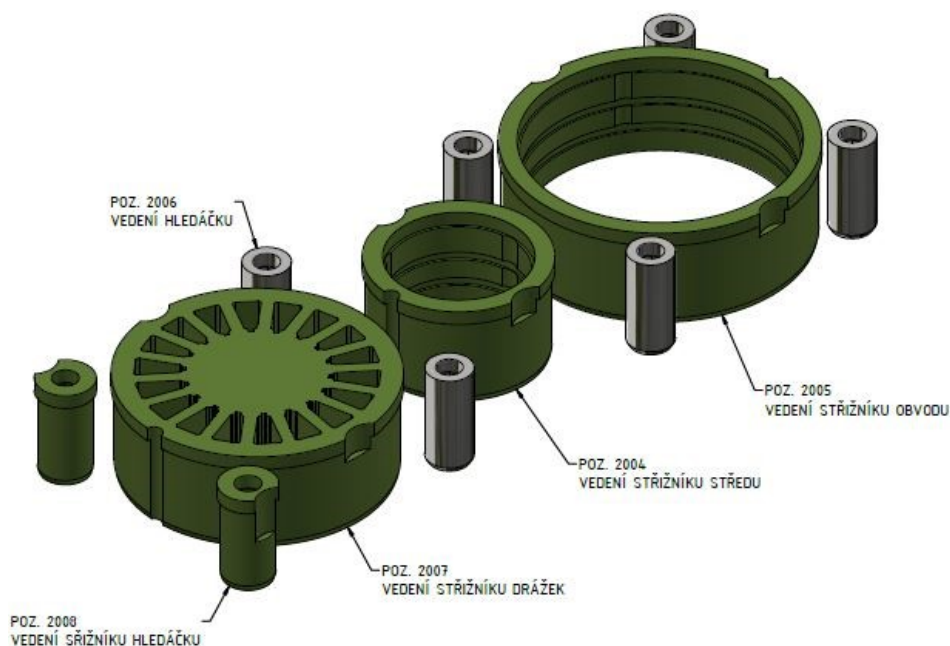
kalenými vložkami pro vedení střížníků a hledáček. Jsou v ní taktéž osazeny vodící sloupky a vrchní dorazy. Vyrobená je z oceli 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 42 – Vodící deska POZ. 2001

6.2.2 Vložky vodící desky

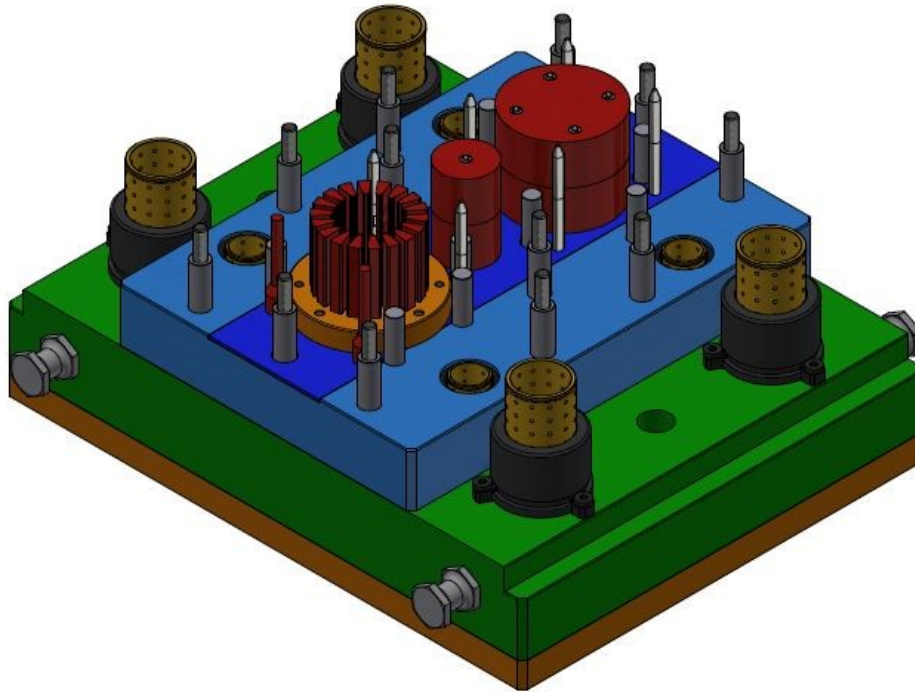
Kalené vložky vedení jsou z důvodů zabránění opotřebení a následného nepřesného chodu pro funkčnost nástroje zcela nezbytné. Střížníky jsou ve vložkách vedeny s vůlí pouze 0,01 mm. Aby se zajistil co nejhladší chod, jsou opatřeny mazacími drážkami. Uložení vložek ve vodící desce je s přesahem a jejich poloha je určena kolíkem. Aby se docílilo správného vylišování plechu v toleranci dle výkresu, je nutné v kalených vložkách vést i hledáčky, které udržují pás plechu ve správné poloze vůči střížným částem. Jako materiál pro všechny vložky byla zvolena ocel 19 312 (EN 90MnCrV8) kalená a popuštěná na 58 HRC.



Obrázek 43 – Vložky vedení

6.3 Vrchní část

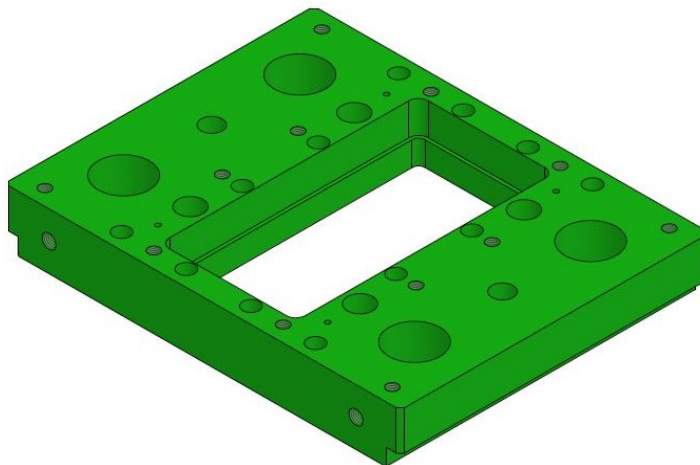
Vrchní část nástroje se skládá ze základní desky, na kterou se šroubuje deska kotevní. Kotevní deska slouží jako nosič střížníků. Síla pružin, které vyvozují stírací sílu, je skrze pružinovou desku a tlačné kolíky přenášena na střední část. Přesné vedení zaručují vodící pouzdra s kuličkovými klecemi.



Obrázek 44 – Vrchní část

6.3.1 Deska vrchní

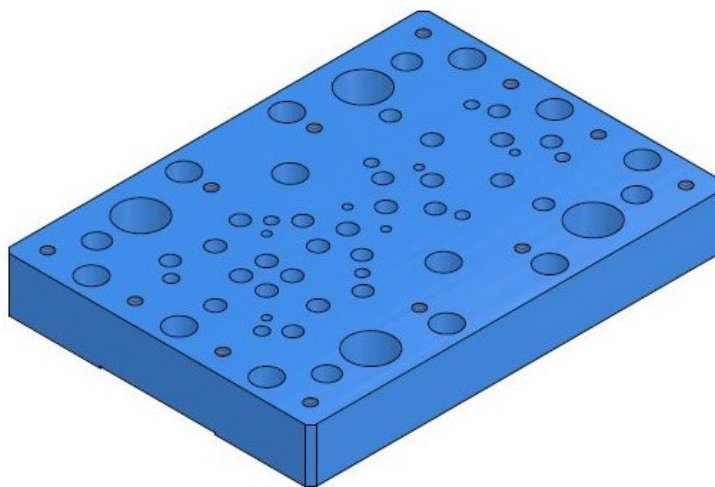
Stejně jako spodní deska slouží k upnutí nástroje do lisu. Pomocí upínek se skrze ni vrchní část nástroje upne do pohyblivého beranu. Je k ní přišroubována kotevní deska střížníků a deska krycí. Vzájemnou polohu vrchní desky a desky kotevní zajišťují středící kolíky. V desce je vedena pružinová deska. Z důvodu nízkého namáhání byla pro výrobu zvolena ocel 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 45 – Vrchní deska POZ. 3001

6.3.2 Kotevní deska – vrchní

Slouží jako nosič pro střižníky, hledáčky, vodící pouzdra a distanční šrouby. Materiál pro desku byla navržena ocel 11 523 (EN S355J0).



Obrázek 46 – Vrchní kotevní deska POZ. 3002

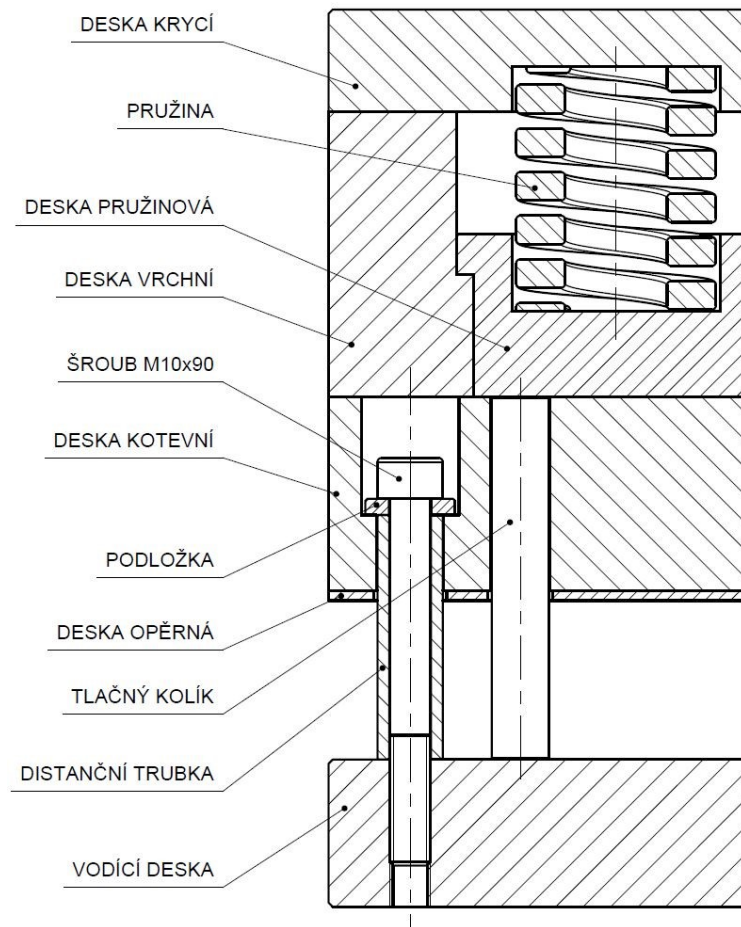
6.3.3 Sestava odpružení vodící desky

Pro dosažení potřebné stírací síly, kterou tvoří cca 10 – 15% ze střižné síly, bylo zvoleno 8 nástrojových pružin od firmy Meusburger $\text{Ø}50 \times 64$ dle [27]. Síla pružin je na vodící desku přenesena pomocí pružinové desky a tlačných kolíků. Vzdálenost mezi kotevní a vodící deskou určují distanční trubky spolu se šrouby M10x90 (Obrázek 47).

Při broušení nástroje, respektive razníků, je nutné pro dodržení předpětí pružin ubrušovat z délky kolíků i distančních trubek. Nicméně toto zkracování nemusí následovat při každém ostření nástroje.

Zvolené materiály pro jednotlivé díly:

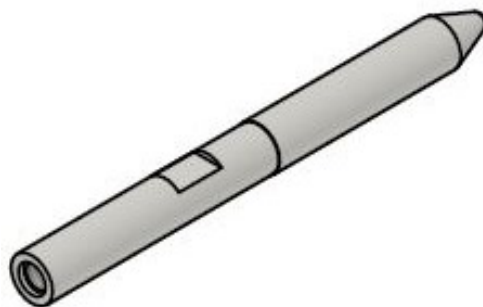
- deska pružinová – 11 523 (EN S355J0),
- deska krycí – 11 523 (EN S355J0),
- tlačné kolíky – 19 312 (EN 90MnCrV8) kaleno popuštěno na 52 HRC,
- distanční trubky a podložky – ETG100.



Obrázek 47 – Sestava odpružení

6.3.4 Hledáčky

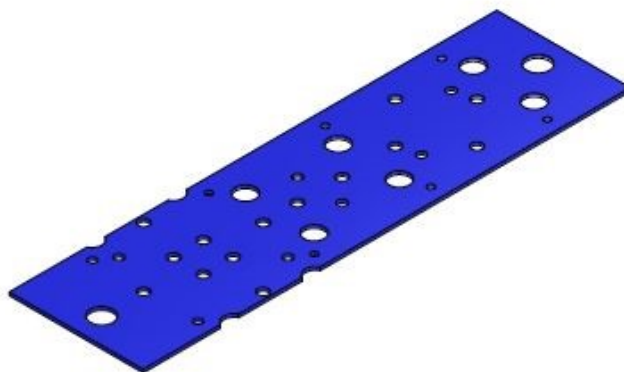
Slouží k udržení správné polohy pásu plechu v nástroji. Než se samotné střížníky dotknou stříhaného materiálu, je nutné mít plech ve správné poloze vůči střížným částem. Tuto úlohu zabezpečují hledáčky, které jsou umístěny v každém kroku. Při broušení nástroje je nutné hledáčky postupně zkracovat a to ze strany jejich zavěšení. Jako materiál hledáček byla zvolena ocel 19 312 (EN 90MnCrV8), kalená a popuštěná na 58 HRC.



Obrázek 48 – Hledáček POZ. 3010

6.3.5 Opěrná deska

Pro zamezení protlačení střížníků do kotevní desky se mezi ně vkládá opěrná deska, která je zhotovena z nerezové oceli 17 618 (EN X120Mn12), která velice dobře odolává tlakovému zatížení.

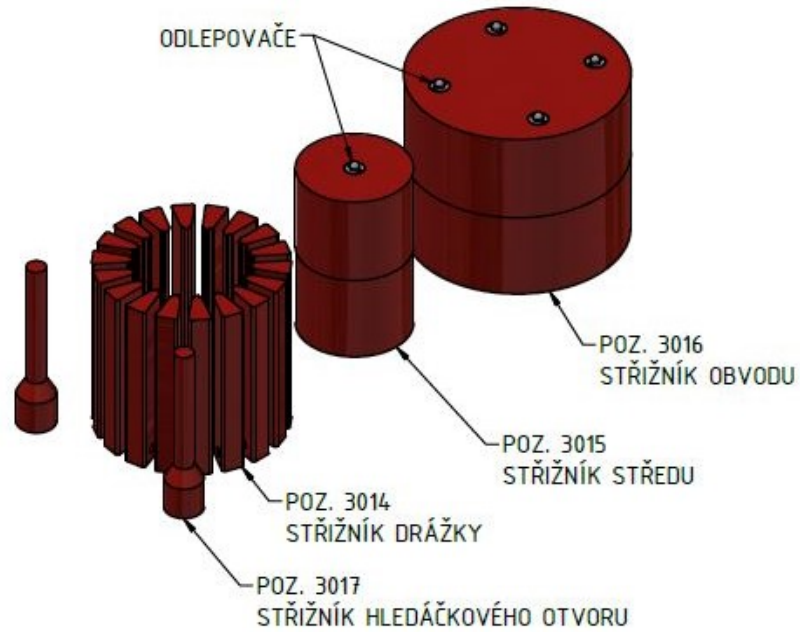


Obrázek 49 – Opěrná deska POZ. 3011

6.3.6 Střížníky

Byly navrženy z nástrojové oceli 19 573 (EN X153CrMoV12) stejně jako střížnice, jen s rozdílem hodnoty kalení. Pro střížníky byla zvolena tvrdost 61 HRC. V zásadě bývá tvrdost střížnic o 2 až 3 jednotky HRC vyšší. Střížník středu a obvodu byl opatřen odlepovači. Všechny střížníky, kromě drážkových, jsou ke kotevní desce přišroubovány.

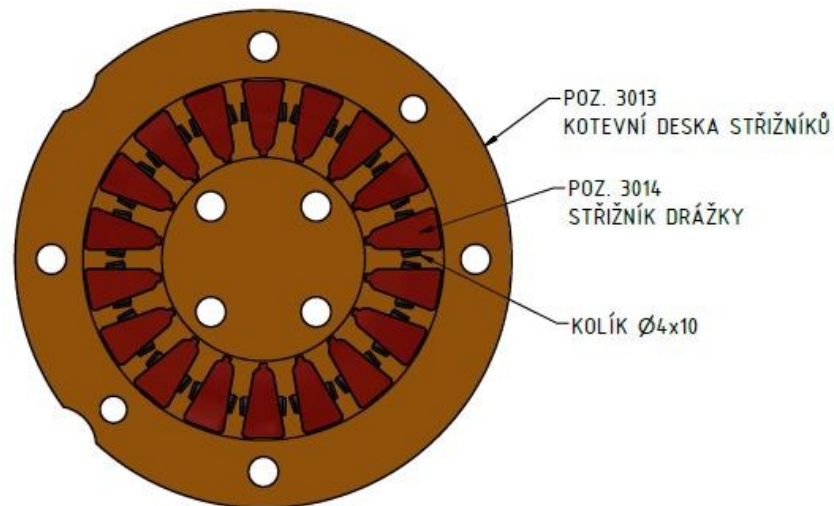
Rozměry razníků byly voleny ze zkušeností s předchozími podobnými nástroji. V zásadě platí, že při děrování rozměr výrobku určuje rozměr razníku a naopak při vystřihování rozměr střížnice. Je však nutné brát v potaz i to, že při vystřihování se výlisek prohne a následně při narovnání jeho rozměry mírně narostou.



Obrázek 50 – Střižníky

6.3.7 Kotevní deska střižníků

Ve tvarových střižnicích není dostatek prostoru pro zhotovení závitu pro přišroubování. Je nutné proto střižníky tzv. zavěsit na kolík. Materiál byl zvolen ocel 19 312 (EN 90MnCrV8), kalená a popuštěná na 58 HRC. Tvary pro střižníky jsou zhotoveny s vůlí 0,02 mm. Deska je zkolíkovaná a sešroubovaná s kotevní deskou POZ. 3002.



Obrázek 51 – Ukotvení střižníků drážek

6.4 Vedení nástroje

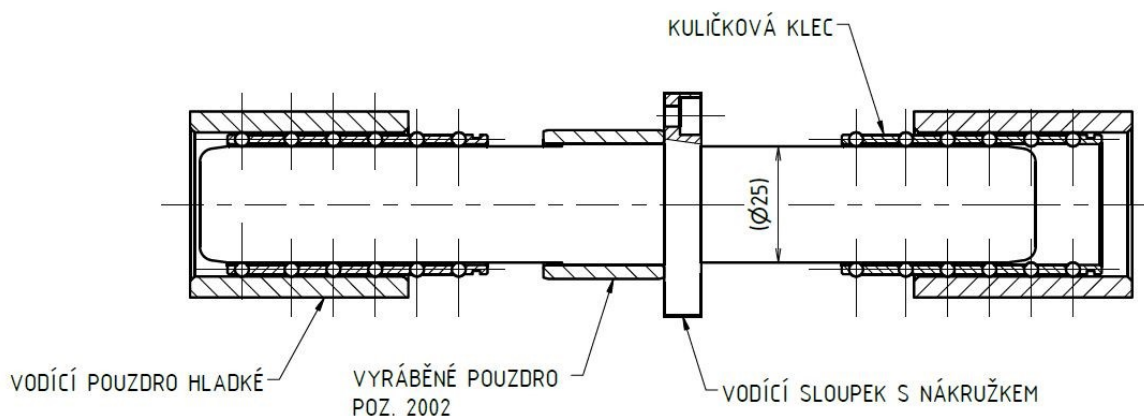
Pro nástroj bylo zvoleno dle katalogu firmy FIBRO přesné kuličkové vedení. Tento druh vedení je díky předepjatým kuličkám bez vůle s vysokou stabilitou chodu. Minimální tření dovoluje použití vyšších rychlostí.

6.4.1 Vedení střední části

Pro vedení střední části byly použity vodící sloupky s nákrůžkem upevněné ve vodící desce POZ. 2001. Ve spodní, resp. vrchní kotevní desce jsou uloženy vodící pouzdra. Jelikož je vodící deska vyrobena z oceli 11 523 (EN S355J0), byla kvůli případnému opotřebení vlivem občasné montáže/demontáže sloupků osazena kalenými pouzdry POZ. 2002.

Tabulka 4 – Použité komponenty – vedení střední části

Název	Označení (výkres, katalogové číslo)	Počet kusů
Vodící sloupek s nákrůžkem Ø25	2020.62.025.080.100.10	4
Vodící pouzdro hladké	206.144.025.047.30	8
Kuličková klec Ø25-56	206.71.025.056	8
Pouzdro kalené	45033.2002	4



Obrázek 52 – Vedení střední části

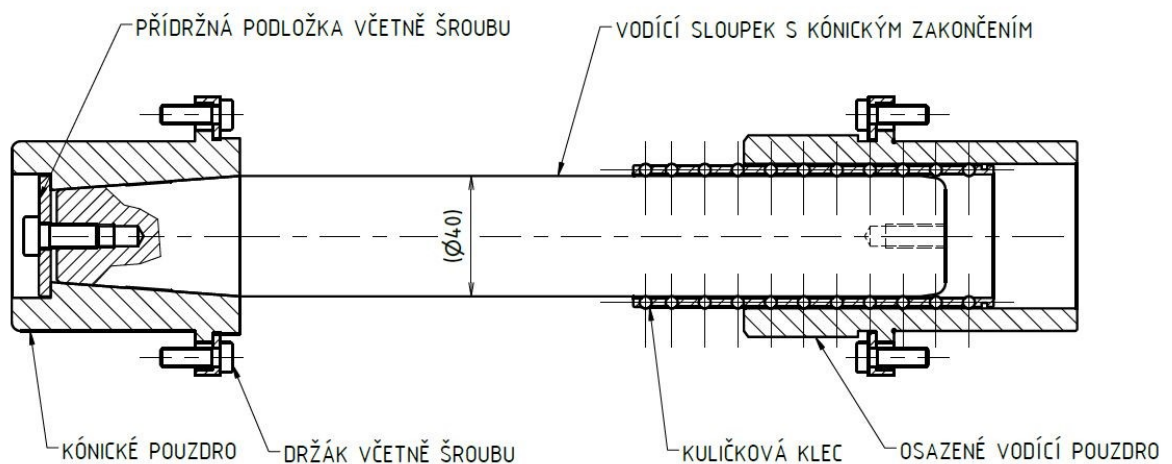
6.4.2 Vedení hlavní

Pro hlavní vedení nástroje byly zvoleny vodící sloupky o průměru 40 mm. Z důvodu rozebírání nástroje kvůli broušení byla spodní deska osazena kónickými pouzdry. Demontáž

a následná montáž je tak velmi rychlá. Do vrchní desky byly zalisovány osazená vodící pouzdra.

Tabulka 5 – Použité komponenty – vedení hlavní

Název	Označení (výkres, katalogové číslo)	Počet kusů
Vodící sloupek s kónickým zakončením Ø40	202.150.040.250.061.10	4
Kónické pouzdro	210.39.040.061	4
Vodící pouzdro osazené	210.44.040.061.10	4
Kuličková klec	206.71.040.120	4
Přídržná podložka včetně šroubu	202.53.040	4
Držák včetně šroubu M6	207.45	24



Obrázek 53 – Hlavní vedení

7 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Před samotnou konstrukcí nástroje bylo za potřebí podniknout několik přípravných kroků. V první řadě bylo důležité navrhnout funkční nástřihový plán, tak aby nástroj správně fungoval a výrobně se zbytečně neprodražoval. Nástroj byl rozdělen do tří kroků. V prvním kroku se do pásu plechu razí otvory pro hledáčky a také jednotlivé drážky plechu statoru. V druhém kroku je dokončen vnitřní otvor $\varnothing 47H7$. V posledním, třetím kroku, je obstřižen vnější průměr $\varnothing 90,5k7$. Dále bylo nutné vypočítat potřebnou střižnou sílu a ověřit tak použitelnost na daném lisu.

Po této části se přistoupilo k samotné konstrukci nástroje v programu Autodesk Inventor. Byly zpracovány jednotlivé díly stříhadla a jeho celková sestava. Po vytvoření 3D modelů se přešlo ke tvorbě výkresové dokumentace.

Střižné části, respektive střižníky a střižnice byly navrženy s ohledem na danou aplikaci z materiálu 19 573 (EN X153CrMoV12). Tato ocel vykazuje dobrou prokalitelnost a otěruvzdornost. Desky (základní, kotevní, pružinová, atd.) byly navrženy z konstrukční oceli 11 523 (EN S355J0), která je pro méně namáhané součásti dostačující. Proti vtlačení střižníků do kotevní desky, byla mezi ně umístěna opěrná deska z materiálu 17 681 (EN X120Mn12). Ostatní menší díly byly navrženy z materiálů odpovídající jejich aplikaci. Vedení pásu v nástroji je uskutečněno prostřednictvím odpružených rolen, které zabezpečují vedení pásu nad střižnou hranou. Síla pružin umístěných ve vrchní části je prostřednictvím pružinové desky a tlačných kolíků přenesena na střední část, která pak může plnit funkci stěračce. Přesnost střední části je pro funkci nástroje stěžejní, neboť její nejdůležitější funkce je vedení střižníků. Mezi střižníky a vodíci vložkami je vůle pouze 0,01 mm. Hlavní vedení, respektive vedení střední části je zabezpečeno pomocí vodících prvků od firmy FIBRO, která se na tyto díly specializuje. Vzhledem k vysokým zdvihovým rychlostem bylo použito valivé kuličkové vedení, které má nízké tření a chod s vysokou rychlostí zdvihů je tak hladký a bez rázů.

Následovala samotná výroba. Po výrobě a kompletaci byl nástroj převezen do lisovny ke zkoušení. Při zkoušení a seřizování nástroje v lisu SCHULLER A2-200 bylo vylišováno několik zkušebních výlisků, které byly poslány na kontrolu rozměrů. Naměřené hodnoty byly následně porovnány s výkresovými rozměry, viz Obrázek 29.

Protokol o měření součásti

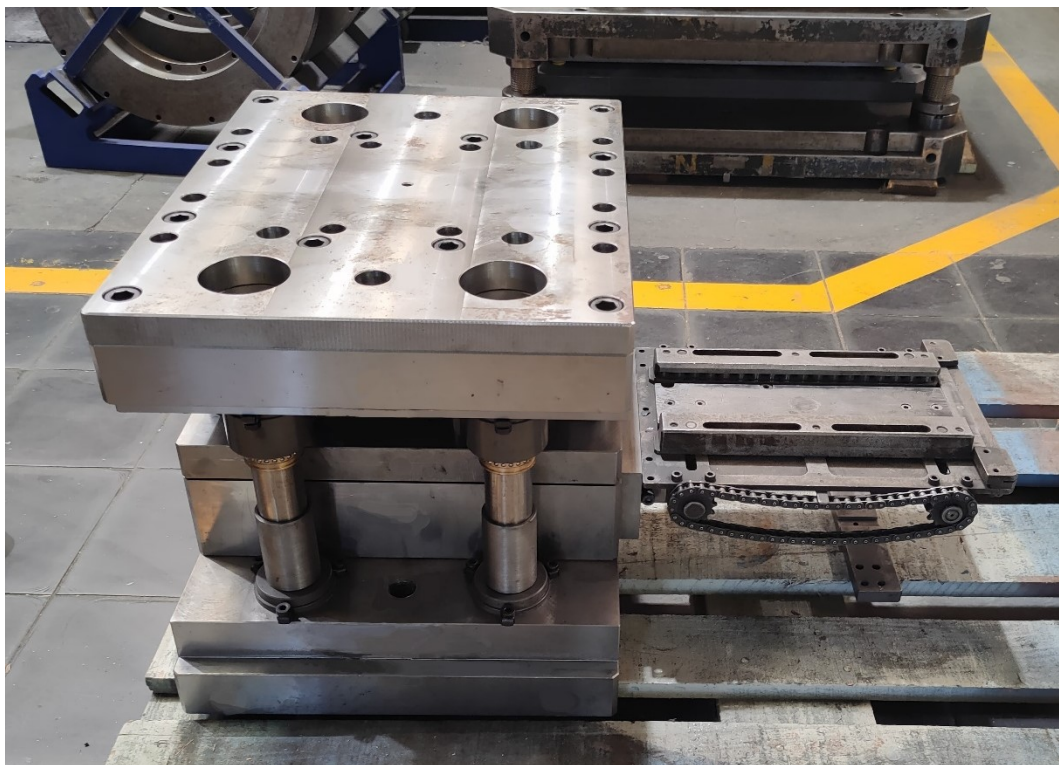
Součást: 470959

Datum: 28.04.2023

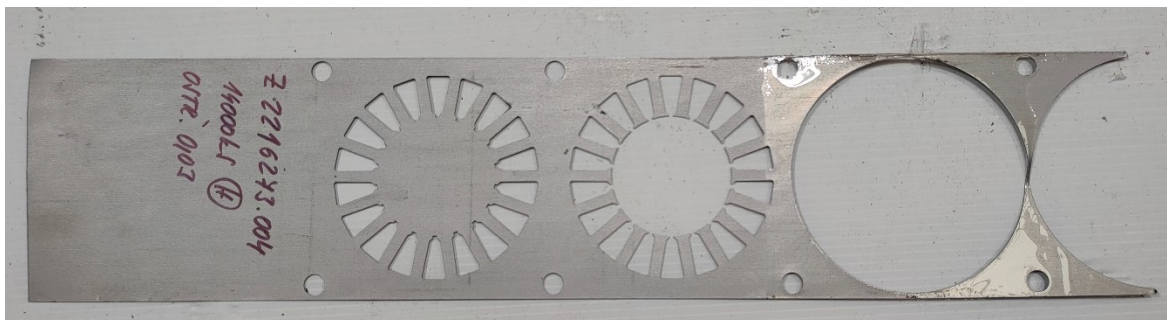
Rozměr nominální	Rozměr aktuální	Horní tolerance	Dolní tolerance	Rozdíl	OK/NOK
Ø47H7	47,02	0,025	0	0,02	OK
Ø90,5k7	90,524	0,038	0,003	0,024	OK
SOUSTŘEDNOST	0,051	0,1			OK
1,6	1,62	0,025	0	0,02	OK
1	1,01	0,025	0	0,01	OK
14,5	14,53	0,043	0	0,03	OK
16	16,03	0,043	0	0,03	OK
9,2	9,23	0,036	0	0,03	OK
4,2	4,22	0,03	0	0,02	OK
OSTŘINA	0,03	0,05			OK

Obrázek 54 – Protokol měření

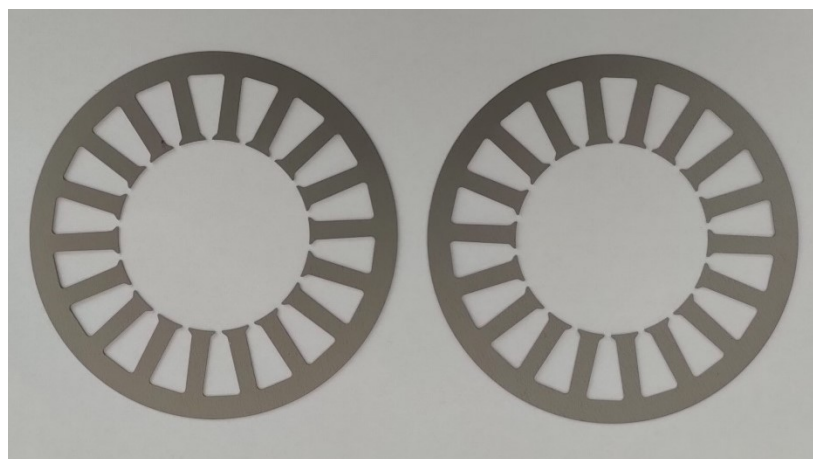
Z Obrázku 54 je zřejmé, že všechny měřené rozměry jsou v toleranci a lze tak bez úprav pokračovat s lisováním celé výrobní dávky.



Obrázek 55 – Postupový střížný nástroj + naváděcí plošina



Obrázek 56 – Pás plechu



Obrázek 57 – Hotové výrobky

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla konstrukce postupového střížného nástroje pro daný výlisek. Výliskem je plech statoru s osmnácti drážkami pro vinutí.

V teoretické části byla přiblížena teorie tváření kovů s důrazem na plošné tváření za studena, konkrétně stříhání. Byly popsány jednotlivé druhy stříhání, střížných nástrojů a důležité pojmy jako je střížná vůle, střížná síla, nástřihový plán, aj. V neposlední řadě byly uvedeny materiály používané při výrobě stříhadel.

Praktická část se zaměřuje na konstrukci postupového nástroje. Dle stanoveného nástřihového plánu se vypočítala potřebná střížná síla. V programu Autodesk Inventor byly zpracovány 3D modely jednotlivých částí, sestava a výkresová dokumentace k nástroji. V práci byly dále popsány nejdůležitější části nástroje, volba materiálu jednotlivých dílů a případného tepelného zpracování vzhledem k jejím namáhání a aplikaci.

V diskuzi výsledků jsou přiloženy obrázky postupového střížného nástroje, výlisků i pásu plechu. Lze konstatovat, že všechny cíle diplomové práce byly splněny.

Kompletní výkresová dokumentace společně s 3D modelem sestavy je přiložena k diplomové práci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LANGE, Kurt. *Handbook of metal forming*. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1995. ISBN 0-87263-457-4. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMF00004/handbook_of_metal_forming
- [2] BOLJANOVIC, Vukota. *Metal shaping processes: casting and molding, particulate processing, deformation processes and metal removal*. New York: Industrial Press, 2010, ISBN 978-1-61344-855-7. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPCMPP1/metal_shaping_processes_casting_and_molding_particulate_processing_deformation_processes_and_metal_removal
- [3] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-054-2.
- [4] KALPAKJIAN, Serope, Steven R. SCHMID a K. S. Vijay SEKAR. *Manufacturing Engineering and Technology*. 7th ed. in SI units. Jurong, Singapore: Pearson Education South Asia, 2014, XXVIII, 1180 s. ISBN 978-981-06-9406-7.
- [5] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
- [6] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [7] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie*. 2. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969. Řada strojírenské literatury (SNTL).
- [8] *Technologie tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2022-17-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [9] NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
- [10] SCHULER. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998. ISBN 35-406-1185-1
- [11] ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYAY. *Sheet metal forming fundamentals*. Ohio: ASM International, [2012], xiii, 296 s. ISBN 978-1-61503-842-8.
- [12] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2014. ISBN 978-0-8311-3492-1.

- [13] GUIDI, Alfons. *Přistřihování a přesné stříhání*. Praha: SNTL, 1969.
- [14] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
- [15] ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA, ed. *Sheet metal forming: processes and applications*. Ohio: ASM International, 2012, xiii, 365 s. ISBN 978-1-61503-844-2.
- [16] BOLJANOVIC, Vukota, J. R. PAQUIN. *Die design fundamentals*. New York: Industrial Press, 2006, ISBN 9781613448434. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDDFE0001/die_design_fundamentals_3rd_edition
- [17] KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. Praha: MON, 1989. ISBN 80-214-1037-x.
- [18] DVORŇÁK, 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.
- [19] ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřely. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, září 1977.
- [20] TSCHÄTTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
- [21] ČSN 22 6000. *Tvářecí nástroje. Nástroje pro plošné tváření. Názvosloví*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, září 1985.
- [22] SMITH, David A. *Die design handbook*. 3rd ed. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1990, ISBN 9781613449752. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDDHE0001/die_design_handbook_3rd_edition
- [23] LEINVEBER J. a VÁVRA P. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [24] Interní dokumenty – LIS SCHULLER A2-200. *Technické údaje SCHULLER A2-200*
- [25] *Bohdan Bolzano* [online]. Copyright © 2020. [cit. 2022-30-03]. Dostupné z: <https://bolzano.cz/nastrojove-oceli/nastrojove-oceli-vyrabene-praskovou-metalurgii/>
- [26] *PolyPLASTY* [online]. © 2023. [cit. 2023-30-03]. Dostupné z: <https://polyplasty.cz/material-polyuretan>
- [27] *Waelzholz* [online]. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: <https://www.waelzholz.com/en/downloads/brochures.html>

- [28] *Meusburger* [online]. [cit. 2023-19-04]. Dostupné z: <https://ecom.meusburger.com/e/index.asp?id=107&rnd=83201>
- [29] *Toolsteel.cz – nástrojové oceli a speciální materiály* [online]. [cit. 2023-19-04]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/1-2379-19-573-x153crmov12-x155crvmo12-1/>
- [30] Normálie katalog 02/2003. *FIBRO* [online]. [cit. 2023-19-04]. Dostupné z: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/
- [31] ČSN 02 6002. *Šroubovitě pružiny válcové tlačné a tažné z drátu a tyčí kruhového průřezu. Technické dodací předpisy*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, leden 1989.
- [32] Feron online – Materiálové normy. *Feron online – Materiálové normy* [online]. © 2017 Feron a.s. [cit. 2023-19-04]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
- [33] ČSN 41 9573. *Nástrojová vysokolegovaná Cr-V-Mo ocel pro práci za studena. Materiálový list*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, leden 1983.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ε_c	celková deformace [-]
ε_e	elastická deformace [-]
ε_p	plastická deformace [-]
R_e	mez kluzu [MPa]
R_m	mez pevnosti [MPa]
A	tažnost [%]
Z	kontrakce [%]
φ	skutečná deformace [-]
n	exponent zpevnění [-]
T_{rek}	teplota rekrystalizační [°C]
T_{tav}	teplota tavení [°C]
T	teplota [°C]
F_S	střižná síla [N]
O	délka střižného obvodu [mm]
O_1, O_2, O_3, O_4	délky jednotlivých střižných tvarů [mm]
x_1, x_2, x_3, x_4	počet jednotlivých střižných tvarů [-]
s	tloušťka plechu [mm]
τ_S	pevnost ve stříhu [MPa]
Z_r	pásma zaoblení [mm]
Z_s	pásma stříhu [mm]
Z_f	pásma utržení [mm]
Z_b	pásma otláčení a otrepu [mm]
c	střižná mezera [mm]
IT6, IT9	třídy přesnosti [-]

η	využití materiálu [-]
S_o	plocha výstřižku [mm ²]
S_p	plocha plechu [mm ²]
F_{1V}, F_{2V}, F_{3V}	velikosti střižných sil pro jednotlivé tvary ve vertikálním směru [N]
P_V	pól v pólovém obrazci [-]
F_1, F_2, F_3	velikosti střižných sil pro jednotlivé tvary ve směru osy y [N]
F_1', F_2', F_3'	velikosti střižných sil pro jednotlivé tvary ve směru osy x [N]
F_x	výslednice sil ve směru y [N]
F_y	výslednice sil ve směru x [N]
X	vzdálenost výslednice od osy y [mm]
Y	vzdálenost výslednice od osy x [mm]
a, b, c	vzdálenost sil F_1, F_2, F_3 od osy y [mm]
a_1, b_1, c_1	vzdálenost sil F_1', F_2', F_3' od osy x [mm]
HRC	jednotka tvrdosti dle Rockwella [-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Metody výroby dané součásti [1]	11
Obrázek 2 – Závislost napětí na deformaci [3]	12
Obrázek 3 – Změna tvaru zrn tvářením [5]	14
Obrázek 4 – Vliv teploty na pevnost ocelí [6]	15
Obrázek 5 – Vliv teploty na pevnost ocelí [7]	16
Obrázek 6 – Průběh operace stříhání [10]	19
Obrázek 7 – Rozdělení stříhání dle typu operace [9]	20
Obrázek 8 – Rozdělení stříhání dle typu operace - pokračování [9]	21
Obrázek 9 – Stříhání rovnoběžnými noži [11]	22
Obrázek 10 – Stříhání šikmými noži [12]	23
Obrázek 11 – Úpravy střížníku a střížnice [10]	23
Obrázek 12 – Kruhové nůžky [7]	24
Obrázek 13 – Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku [14]	25
Obrázek 14 – Pásma stříhu [15]	27
Obrázek 15 – Střížná mezera [12]	28
Obrázek 16 – Vliv střížné mezery na plochu stříhu [17]	28
Obrázek 17 – Stříhání s tlačnou hranou [9]	29
Obrázek 18 – Přesné stříhání se zaoblenými střížnými hranami [17]	30
Obrázek 19 – Stříhání se zkoseným přídržovačem [18]	30
Obrázek 20 – Přistříhování [8]	31
Obrázek 21 – Rozmístění výrobků a vliv na hospodárnost využití v procentech [17]	32
Obrázek 22 – Doporučené velikosti můstků [9]	32
Obrázek 23 – Grafické stanovení těžiště střížných sil [9]	33
Obrázek 24 – Výpočetní stanovení těžiště střížných sil [9]	35
Obrázek 25 – Lisovací nástroje [5]	36
Obrázek 26 – Sdružené stříhadlo (stříh a ohyb) [22]	36
Obrázek 27 – Cyklus tepelného zpracování oceli 19452 [14]	38
Obrázek 28 – Příklady nástrojových ocelí vyrobených práškovou metalurgií od firmy Bohdan Bolzano s.r.o. [24]	40
Obrázek 29 – Statorový plech	43
Obrázek 30 – Nástříhový plán 3D	44
Obrázek 31 – Nástříhový plán 2D	44
Obrázek 32 – Vlastnosti elektrotechnických ocelí [26]	45
Obrázek 33 – Celková sestava	46

Obrázek 34 – Spodní část	47
Obrázek 35 – Spodní deska POZ. 1001	48
Obrázek 36 – Spodní kotevní deska POZ. 1002	48
Obrázek 37 – Vložka POZ. 1003	49
Obrázek 38 – Střížnice POZ. 1004	49
Obrázek 39 – Deska vedení POZ. 1003	50
Obrázek 40 – Vedení pásu	50
Obrázek 41 – Střední část (mezideska).....	51
Obrázek 42 – Vodící deska POZ. 2001	52
Obrázek 43 – Vložky vedení	52
Obrázek 44 – Vrchní část.....	53
Obrázek 45 – Vrchní deska POZ. 3001	54
Obrázek 46 – Vrchní kotevní deska POZ. 3002	54
Obrázek 47 – Sestava odpružení.....	55
Obrázek 48 – Hledáček POZ. 3010	56
Obrázek 49 – Opěrná deska POZ. 3011	56
Obrázek 50 – Střížníky	57
Obrázek 51 – Ukotvení střížníků drážek	57
Obrázek 52 – Vedení střední části	58
Obrázek 53 – Hlavní vedení	59
Obrázek 54 – Protokol měření	61
Obrázek 55 – Postupový střížný nástroj + naváděcí plošina	61
Obrázek 56 – Pás plechu.....	62
Obrázek 57 – Hotové výrobky.....	62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Střížná vůle v procentech pro různé materiály [12].....	28
Tabulka 2 – Použití konstrukčních ocelí.....	37
Tabulka 3 – Příklady používaných nástrojových ocelí [23]	39
Tabulka 4 – Použité komponenty – vedení střední části	58
Tabulka 5 – Použité komponenty – vedení hlavní.....	59

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkresová dokumentace

Příloha P II: 3D model postupového nástroje

