

Tvorba postupového střížného nástroje pro stříhání z plechu

Jakub Zajíček

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jakub Zajiček
Osobní číslo:	T20231
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Tvorba postupového střížného nástroje pro stříhání z plechu

Zásady pro vypracování

1. Teoretická studie na téma plošné tváření a stříhání materiálů
2. Praktická část zahrnující návrh výstřížku, zhotovení nástříhového plánu a matematické propočty střížného nástroje
3. Návrh střížného nástroje a zhotovení modelu sestavy v 3D programu
4. Sestavení výkresové dokumentace stříhané součásti a vybraných prvků sestavy

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

Seznam doporučené literatury:

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, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 9788021447479.

KOTOUC, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 8001010031.

TSCHÄTSCH, H. *Metal Forming Practise*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. BOLJANOVIC, Vukota.

PAQUIN, J. R. *Die Design Fundamentals*. Industrial press, 2006.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bilek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. 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 22. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- 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 užit své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: Jakub Zajíček

.....
Podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této práce je tvorba postupového střížného nástroje pro stříhání z plechu.

Teoretická část se zabývá tvářením materiálů, dělením materiálů, stříháním materiálů a postupovým stříháním.

Praktická část je zaměřena na návrh výstřížku, nástřihového plánu, určení střížné vůle, výpočet využití materiálu, střížné síly a zhotovení modelu a výkresové dokumentace střížného nástroje v programu Autodesk Inventor Professional 2023.

Klíčová slova: tvářením, stříhání plechů, postupové stříhání, střížný nástroj

ABSTRACT

The goal of this thesis is the creation of a progressive cutting tool for cutting sheet metal.

The theoretical part deals with forming materials, dividing materials, cutting materials and progressive cutting.

The practical part is focused on the design of the cutout, cutting plan, determination of shear clearance, calculation of material usage, shear force and creation of a model and drawing documentation of the cutting tool in the Autodesk Inventor Professional 2023 program.

Keywords: forming, sheet metal cutting, progressive cutting, progressive cutting tool

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné rady, doporučení, připomínky a čas, který věnoval konzultacím této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TVÁŘENÍ	12
1.1 ROZDĚLENÍ PODLE TEPLoty TVÁŘENÉHO MATERIÁLU	12
1.1.1 Tváření za studena.....	13
1.1.2 Tváření za tepla	13
1.1.3 Tváření za částečného ohřevu	13
1.2 ROZDĚLENÍ PODLE GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK	14
1.2.1 Plošné tváření	14
1.2.2 Objemové tváření	14
1.3 ROZDĚLENÍ PODLE ÚČINKU TVÁŘECÍ SÍLY	15
1.3.1 Za působení statické síly	15
1.3.2 Za působení dynamické síly	15
2 DĚLENÍ MATERIÁLU	16
2.1 DĚLENÍ MATERIÁLU MECHANICKÉ.....	16
2.1.1 Dělení materiálu lámáním	16
2.1.2 Dělení materiálu sekáním.....	16
2.1.3 Dělení materiálu řezáním	16
2.1.4 Dělení materiálu upichovacím nožem na soustruhu	17
2.1.5 Dělením materiálu rozbrušováním	17
2.1.6 Dělení materiálu vodním paprskem	18
2.2 DĚLENÍ MATERIÁLU NEKONVENČNÍMI METODAMI.....	19
2.2.1 Dělení materiálu plamenem (s přídavným kyslíkem)	19
2.2.2 Dělení materiálu plasmou	20
2.2.3 Dělení materiálu laserem.....	21
2.2.4 Dělení materiálu elektronovým paprskem	21
2.2.5 Dělení materiálu elektrojiskrové	22
2.2.6 Dělení materiálu elektrochemické.....	23
3 STŘÍHÁNÍ	24
3.1 ROZDĚLENÍ STŘÍHÁNÍ MATERIÁLU PODLE DRUHU STŘIŽNÉ OPERACE	25
3.1.1 Prosté stříhání.....	25
3.1.2 Děrování	25
3.1.3 Vystřihování.....	25
3.1.4 Ostřihování	26
3.1.5 Přistřihování	26
3.1.6 Nastřihování	26
3.1.7 Prostřihování	27
3.2 STŘIŽNÝ PROCES	27
3.2.1 První fáze: oblast pružné deformace	27
3.2.2 Druhá fáze: oblast plastické deformace	28

3.2.3	Třetí fáze stříhání: oblast oddělení materiálu	28
3.3	ROZDĚLENÍ STŘÍHÁNÍ MATERIÁLU PODLE DRUHU NÁSTROJE	29
3.3.1	Stříhání rovnoběžnými noži	29
3.3.2	Stříhání skloněnými (šikmými) noži	29
3.3.3	Stříhání rotačními (kotoučovými) noži	30
3.3.4	Stříhání tvarovými noži	30
3.4	TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ	31
3.4.1	Stříhání s tlačnou hranou	31
3.4.2	Stříhání se zaoblenou hranou	32
3.4.3	Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem	32
4	POSTUPOVÉ STŘÍHÁNÍ.....	33
4.1	POSTUPOVÝ STŘIŽNÝ NÁSTROJ	34
4.2	NÁSTŘIHOVÝ PLÁN PRO POSTUPOVÉ STŘÍHÁNÍ	34
4.2.1	Přidavky mezi stříhanými součástmi a můstek	34
4.3	TĚŽIŠTĚ STŘIŽNÝCH SIL	35
4.3.1	Početní metoda určení těžiště střížných sil	35
4.3.2	Grafická metoda určení těžiště střížných sil	37
	PRAKTICKÁ ČÁST	39
6	NÁVRH VÝSTŘIŽKU.....	40
6.1	VÝBĚR MATERIÁLU VÝSTŘIŽKU	40
6.2	FEM ANALÝZA VÝSTŘIŽKU	41
6.4	VYUŽITÍ MATERIÁLU	47
6.4.1	Koeficient využití materiálu	47
7	VÝPOČET STŘIŽNÉ SÍLY.....	50
7.1	VÝPOČET DÉLKY STŘIŽNÉ HRANY	50
7.2	VÝPOČET STŘIŽNÉ SÍLY PRO MATERIÁL 11 373.1	52
8	STŘIŽNÁ VŮLE	53
9	NÁVRH STŘIŽNÉHO NÁSTROJE	54
9.1	SPODNÍ ČÁSTI NÁSTROJE	54
9.1.1	Střížnice.....	55
9.1.2	Upínací deska spodní	55
9.1.3	Vodící deska.....	55
9.1.4	Vodící lišty	56
9.2	HORNÍ ČÁST NÁSTROJE.....	56
9.2.1	Kontrola střížníků.....	56
9.2.2	Kontrola střížníku na tlak.....	57
9.2.3	Kontrola střížníků na vzpěr	59
9.2.4	Upínací deska horní.....	60
9.2.5	Kotevní deska.....	60

9.2.6	Vložka	61
9.2.7	Poloha stopky	61
10	DISKUZE VÝSLEDKU ŘEŠENÍ.....	64
10.1	KONSTRUKČNÍ MODEL STŘIŽNÉHO NÁSTROJE.....	64
10.1.1	Střížnice.....	65
10.1.2	Upínací deska spodní	65
10.1.3	Vodící deska.....	66
10.1.4	Vodící lišta	66
10.1.5	Střížník šestihrného otvoru.....	67
10.1.6	Střížník tvarového otvoru.....	67
10.1.7	Střížník obvodu součásti	68
10.1.8	Upínací deska horní.....	68
10.1.9	Kotevní deska.....	69
10.1.10	Vložka	69
10.1.11	Stopka.....	70
10.1.12	Spojovací materiál.....	70
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK.....	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81

ÚVOD

Hráči fotbalu se neobejdou bez specializované sportovní obuvi, která jim umožňuje se dobře pohybovat na travnaté ploše fotbalového hřiště. Kopačky se liší od jiné sportovní obuvi zejména tak, že mají na podrážce špunty nebo kovové kolíky. Kovové kolíky jsou na kopačky montovány speciálním klíčem a právě tento klíč byl inspirací pro tvorbu této bakalářské práce. Klíč by bylo možno vyrobit více technologiemi. Ovšem technologie jako je například ruční nebo strojní kování by byly časově nebo energeticky nevýhodné. Zvolil jsem postupové stříhání, které eliminuje časovou náročnost ručního kování a energetickou náročnost strojního kování. Klíč se tedy stal výstřížkem a podle tohoto výstřížku byl konstruován postupový střížný nástroj, který je předmětem této bakalářské práce.

Teoretická část této bakalářské práce se zaměří na tváření materiálů s rozdělením podle tvářecích teplot, geometrických charakteristik tvářící operace a působení tvářící síly. Dále dělení materiálů různými technologiemi, stříhání materiálů a druhy stříhání. Závěr teoretické části je věnován postupovému stříhání.

Praktická část práce se bude zabývat návrhem výstřížku, nástříhového plánu, výpočtem využití materiálu, určení střížné vůle, výpočet střížné síly, konstrukcí včetně popisu jednotlivých částí a desek (rozměry, použitý materiál) a výkresovou dokumentací střížného nástroje v programu Autodesk Inventor Professional 2023.

TEORETICKÁ ČÁST

1 TVÁŘENÍ

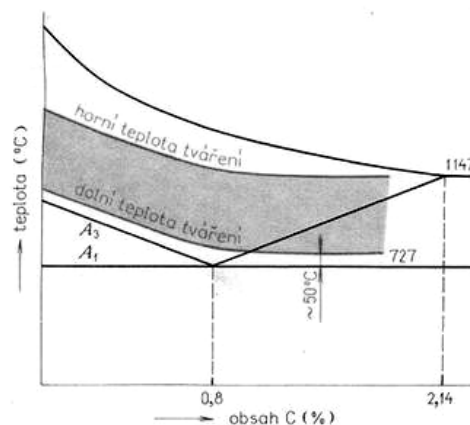
Tváření je technologický proces, kterým provádíme trvalé změny materiálu. Tyto změny jsou konány mechanickou silou bez odběru třísky. Podstatou tohoto procesu je vznik plastických deformací. K těmto deformacím dojde právě tehdy, když dosáhneme napětí na mezi kluzu pro vybraný materiál. [1]

Mezi výhody tváření patří vysoké využití materiálu, produktivita vykonané práce, možné zkrácení výrobních časů oproti jiným technologiím, přesnost rozměrů, možnost automatizace celého výrobního procesu a především dosažení lepších mechanických vlastností materiálů oproti netvářenému materiálu podobných rozměrů. Toto je způsobeno výhodným uspořádáním vláken materiálu. Zpevnění materiálu však není vždy vítané a tak se musí jinou technologickou operací zase odstranit (zahřátí oceli na teplotu mezi 600-720 stupni celsia v závislosti na daném materiálu). [2,3]

Nevýhodou tváření je omezení rozměrů finálních výrobků nebo polotovarů. Za další nevýhodu tváření můžeme považovat vyšší ekonomické náklady na stroje (lisy, buchary) a výrobu nástrojů na tváření kvůli požadavkům na pevnost, kvalitu povrchu, odolnost vůči tepelné námaze a odolnost vůči působení vnějších sil. [2]

1.1 Rozdělení podle teploty tvářeného materiálu

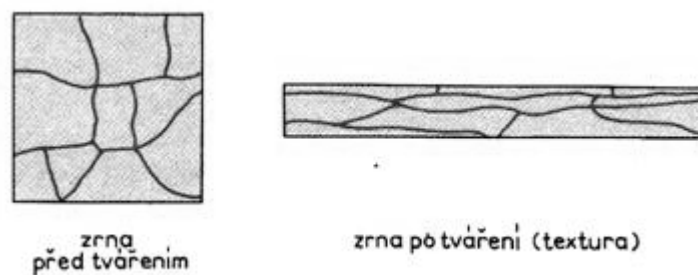
Při tváření materiálu vnějšími silami materiál vyvíjí odpor vůči tváření. Zvýšením teploty se tento odpor snižuje, což má za následek zlepšení plastických vlastností materiálu. Rozdělení je závislé na teplotě rekrystalizace daného materiálu (tato teplota je většinou 0,4 násobek teploty tání materiálu). Nad rekrystalizační teplotou dojde k pozměnění materiálové struktury, což to má za výsledek lepší tvárnost materiálu. [1]



Obrázek 1 – Oblast tvářecích teplot [1]

1.1.1 Tváření za studena

Tváření za studena nebo také tváření pod teplotou rekrystalizace je tváření, při kterém teplota materiálu nepřesáhne 30% teploty tání. Při tomto druhu tváření dochází ke deformaci zrn materiálu ve směru tváření. To má za následek zpevnění. Zpevnění se projevuje zvýšením meze pevnosti a meze kluzu, klesá však tažnost a tvárnost materiálu. Zahřátím materiálu nad teplotu rekrystalizace je možné vrátit zrna do původního tvaru a tak dosáhnout originálních vlastností materiálu. Nevýhoda tváření za studena je vysoký odpor materiálu a tím pádem potřeba vyšší tvářecí síly než při tváření za tepla. [1]



Obrázek 2 – Deformace zrn po tváření za studena [1]

1.1.2 Tváření za tepla

Tváření za tepla nebo také tváření nad teplotou rekrystalizace je tváření, při kterém teplota materiálu dosáhne hodnoty 70% teploty tavení materiálu. Při tomto druhu tváření je rekrystalizace materiálu tak rychlá, že nevzniká zpevnění materiálu a deformace zrn spojená s tímto jevem. Mezi výhody tohoto tváření můžeme také nízký přetvárný odpor materiálu. Vzhledem k nízkému přetvárnému odporu potřebujeme vyvinout značně nižší síly než u tváření za studena (až 10x nižší síly). Za nevýhodu tohoto tváření však můžeme považovat nekvalitní povrch následkem okují nebo také hrubé zrna, které může být problematické u následujících technologických operací. Další nevýhodou je cena nástrojů, které musí konstantně odolávat vyšším teplotám než nástroje pro tváření za studena. [1]

1.1.3 Tváření za částečného ohřevu

Tváření za částečného ohřevu je kompromis mezi tvářením za studena a tvářením za tepla. Výhodou tohoto tváření je snížení přetvárného odporu. Snížením přetvárného odporu je potřeba nižší síla pro tváření. Teplota, na kterou zahříváme materiál, záleží na jeho specifických vlastnostech. [1]

1.2 Rozdělení podle geometrických charakteristik

Polotovary z kovů se plasticky deformují s cílem dosáhnout daného tvaru součásti, kterou potřebujeme (výkovek, výlisek, protlaček, atd.). U některých těchto operací se dosáhne lepších konečných mechanických vlastností materiálu. [4]

1.2.1 Plošné tváření

Plošné tváření je operace, při které se změní tvar výrobku, ale nemění se jeho průřez. Většina plošného tváření jsou různé operace, při kterých je polotovar plech. Využití materiálu je u plošného tváření většinou nižší, kvůli technologickému odpadu, který lze minimalizovat správným uspořádáním střížného planu, nelze však odstranit úplně. Mechanické vlastnosti jsou ve většině případů zachovány, ne však ve všech (zpevnění okolo střížné plochy je jeden z příkladů změny mechanických vlastností u plošného tváření). Používá se většinou u méně zatěžovaných součástí nebo výrobků. [4, 10, 19]

Mezi operace plošného tváření patří:

- Stříhání (prosté stříhání, vystřihování, prostřihování, nastřihování, děrování, atd.)
- Ohýbání (prosté ohýbání, lemování, zakružování, ohraňování, rovnání, atd.)
- Tažení (prosté tažení bez ztenčení stěny, rozšiřování, protahování, zužování, atd.)
- Tlačení (prosté tlačení, žlábkování, obrubování, atd.)
- Kalibrování
- Tváření nepevnými nástroji (hydroforming)

1.2.2 Objemové tváření

Objemové tváření je proces, při kterém dojde k výrazné změně tvaru a plochy původního polotovaru. Využívá se především pro polotovary nebo součásti s větším namáháním kvůli příznivé orientaci průběhu vláken v materiálu. U přesného objemového tváření se může vyrábět takzvaně nahotovo což znamená, že nepotřebujeme žádné přídatky na obrábění a využití materiálu je 100%. Objemové tváření probíhá převážně za tepla, teplota závisí na druhu materiálu a jeho chemickém složení. Při tváření za tepla může však dojít k oxidaci povrchu a tak mohou mít některé výrobky horší povrch. [4, 10]

Mezi operace objemového tváření patří:

- Kování (volné kování nebo zápustkové kování)

- Válcování (podélné tvarové, příčné tvarové, příčné profilové rozválcování, atd.)
- Protlačování (dopředné, zpětné, kombinované, hydrostatické, profilové, atd.)
- Tažení (redukování, kalibrování, rozšiřování)
- Vtlačování (pro různé tvarové dutiny)
- Házení
- Ražení

1.3 Rozdělení podle účinku tvářecí síly

1.3.1 Za působení statické síly

Tváření za působení statické síly je typ tváření, při kterém na polotovary působí statická síla. Mezi operace, při kterých na polotovary působíme statickými silami, patří: válcování, protlačování a tažení.

1.3.2 Za působení dynamické síly

Tváření za působení dynamické síly je typ tváření, při kterém na polotovary působí rázy, nebo kmitání. Mezi operace, při kterých na polotovary působíme rázy, patří: kování, stříhání, sekání a ohýbání.

2 DĚLENÍ MATERIÁLU

Technologie tváření využívá různé druhy polotovarů (tyčový materiál, svitky, tabule, atd.), které je třeba dělit na požadovaný rozměr nebo váhu. Technologie dělení materiálu má vliv na kvalitu výrobku, zejména na tomto závisí kvalita povrchu v místě dělení materiálu. Technologii dělení materiálu volím vzhledem k použití, drsnosti povrchu a mechanickým vlastnostem finálního výrobku. Některé druhy dělení materiálu jsou ekonomicky výhodné, zanechají však horší drsnost povrchu či mechanické vlastnosti na finálním výrobku, proto musíme ekonomiku výroby brát také jako jeden z faktorů při volbě druhu dělení materiálu. [5, 16, 17]

2.1 Dělení materiálu mechanické

Materiál se dělí za pomoci mechanické práce, která působí za pomoci nástroje na polotovar. Do tohoto druhu dělení patří například stříhání nebo sekání kde nástroj působí rázem na polotovar. Další technologie dělení materiálu mechanickým způsobem může být řezání materiálu, rozbrušování nebo upichováním materiálu na soustruhu, v tomto případě nástroj odebírá třísku z polotvaru. [5]

2.1.1 Dělení materiálu lámáním

Dělení materiálu lámáním se používá u materiálu s vysokou hodnotou mezi pevnosti a obtížně obrobitelných materiálů. Kvalita lomové plochy je velmi nízká a často se vyskytnou v materiálu sekundární trhliny v okolí lomové plochy. Nevýhodou je také potřeba vytvořit vrub v polotovaru (pilou nebo plamenem). Kvůli těmto faktorům se lámání materiálů používá v praxi jen zřídka. [5]

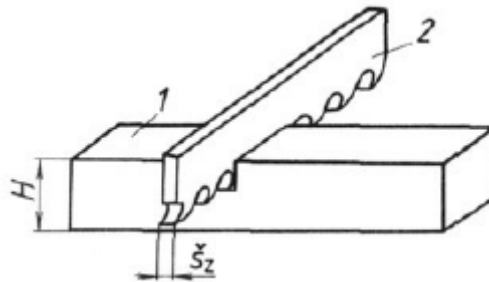
2.1.2 Dělení materiálu sekáním

Dělení materiálu sekáním se provádí převážně za tepla. Používá se, jako doplňková operace zejména v kovárnách kde se odsekává přebytečný materiál (například sekání výrobku po zápusťkovém kování). Nevýhodou sekání je nekvalitní dělicí plocha. Nástroj pro sekání je mechanicky zatěžován, a proto musí být dostatečně tvrdý a houževnatý (obou těchto vlastností dosáhneme zakalením a popouštěním). [5]

2.1.3 Dělení materiálu řezáním

K dělení materiálu řezáním se používají okružní, rámové, pásové nebo kotoučové pily. Z hlediska kvality povrchu a produktivity se nejčastěji používá právě kotoučová pila.

Řezání materiálu se zpravidla používá tam, kde kvůli velkému průřezu materiálu nelze stříhat (například tyče různých profilů nebo trubky). Mezi výhody řezání můžeme považovat relativně kolmý a hladký řez materiálem a přesné dodržení rozměru či váhy. Nevýhodou řezání je relativně nízká produktivita práce, náklady na výměnu nástroje (kotouč nebo pilový pás) a také ztráta materiálu v místě řezu. [5, 18]



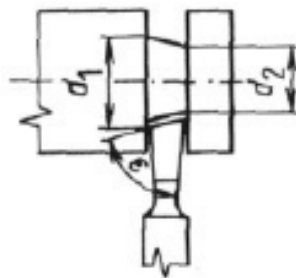
Obrázek 3 – Dělení materiálu řezáním
[12]

H – hloubka řezu, s_z – šířka řezu

1 – obrobek, 2 – pilový list

2.1.4 Dělení materiálu upichovacím nožem na soustruhu

Dělení upichovacím nožem je jen zřídka používáno kvůli relativně velkým ztrátám materiálu (v podobě třísky). Používá se u kusové nebo malosériové výroby. [5, 18]



Obrázek 4 – Dělení materiálu
upichovacím nožem na soustruhu
[12]

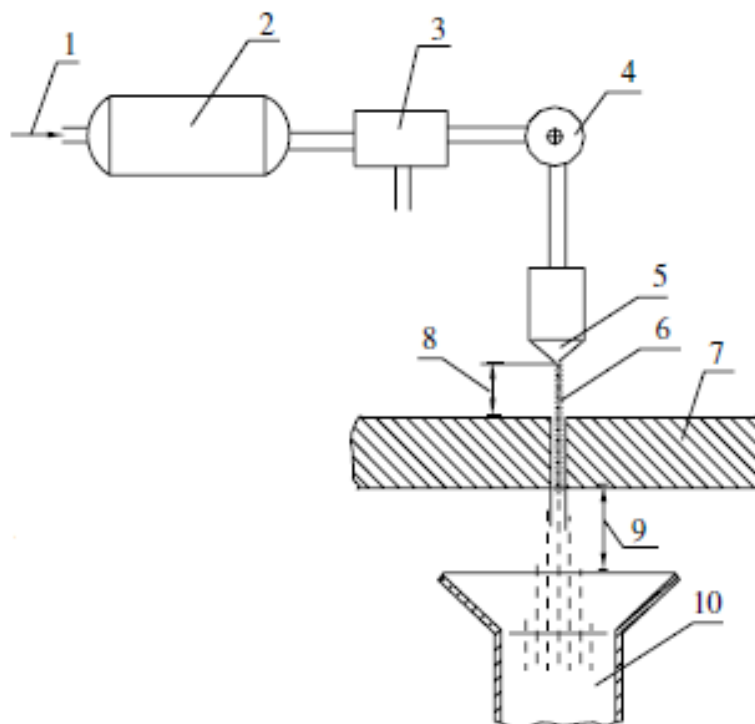
2.1.5 Dělením materiálu rozbrušováním

Rozbrušování, je způsob dělení materiálu, kde využíváme úzký brousící kotouč. V dělicí rovině dochází k prudkému zvýšení teploty vlivem tření (teplota může dosahovat 700 – 1100°C). Zvýšení teploty má vliv na mechanické vlastnosti materiálu (rozbrušovací

kotouč se méně opotřebovává, což znamená, že se zvyšuje jeho životnost). Nevýhodou je vznik otřepů. [5]

2.1.6 Dělení materiálu vodním paprskem

Vodní paprsek působí na materiál kinetickou energií vysokotlaké vody na malé ploše. U tohoto druhu dělení materiálu může být medium čisté nebo se do něj přidávají abrazivní částice, které zvyšují efektivitu řezného procesu. Čistý paprsek se používá pro řezání měkkých a zatím co paprsek s abrazivními částicemi se používá pro řezání houževnatých a tvrdých materiálů. V závislosti na tlaku a typu řezacího média můžeme řezat různé tloušťky materiálů. Kvalita řezné roviny u této metody závisí na několika faktorech: průměr trysky, tlak řezacího média, rychlost posuvu paprsku, vzdálenost trysky od řezaného materiálu, druh abraziva a aditiv v médiu. Zvolení špatných řezných parametrů může mít za následek špatnou drsnost povrch v místě řezu nebo vznik úkosů. Ideálně zvolené řezné parametry zajišťují rovný a hladký řez materiálem. Tato technologie má široké využití co se týče druhů řezaných materiálu (ocel, hliník, dural, polymery, kompozity, sklo, atd.). [9]



Obrázek 5 – Schéma zařízení pro dělení materiálu vodním paprskem [10]

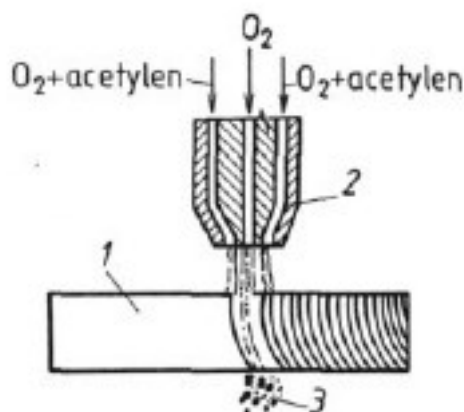
- 1 – přívod vysokotlaké vody, 2 – zásobník, 3 – ovládání vodního paprsku,
4 - ventil, 5 – tryska, 6 – vodní paprsek, 7 – obrobek, 8 – mezera mezi
obrobkem a tryskou, 10 – odvod odpadu

2.2 Dělení materiálu nekonvenčními metodami

Od klasického dělení materiálu nekonvenční metody dělení materiálu liší především ve využití fyzikálních či chemických principů místo mechanické práce. Jedná se většinou o poměrně nové metody dělení materiálů. Obrobitelnost u klasických druhů dělení materiálů je stanovena v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu, jako je například tvrdost nebo pevnost. U nekonvenčních druhů dělení materiálu je obrobitelnost dána především fyzikálními vlastnostmi materiálu (tepelná a elektrická vodivost, teplota tavení, elektroerozivní odolnost, atd.). Z tohoto vychází jedna z největších výhod nekonvenčního dělení materiálu. Materiály těžko obrobitelné konvenčními metodami lze relativně efektivně obrábět nekonvenčními metodami. Tyto metody obrábění využíváme hlavně tam, kde jsou konvenční metody málo účinné nebo nevhodné. [8, 9]

2.2.1 Dělení materiálu plamenem (s přídavným kyslíkem)

Dělení materiálu plamenem je dělení materiálu, při kterém tepelně ovlivňujeme materiál většinou za pomoci acetylen-kyslíkového hořáku. Princip této technologie spočívá v ohřátí materiálu na teplotu okolo 1200°C kdy začne kyslík chemicky reagovat s kovem, což způsobí vytvoření oxidační vrstvy, kterou hořák vyfukuje, čímž dochází k dělení materiálu. Především dělíme nelegované a nízkolegované oceli (legující prvky by mohli zabraňovat oxidaci nebo tavení materiálu). Touto metodou nelze dělit litiny, slitiny hliníku, mědi a další neželezné kovy. Dělení materiálu kyslíkem se využívá zejména pro dělení velkých tlouštěk materiálu (až 300 milimetrů). [10, 11,20]

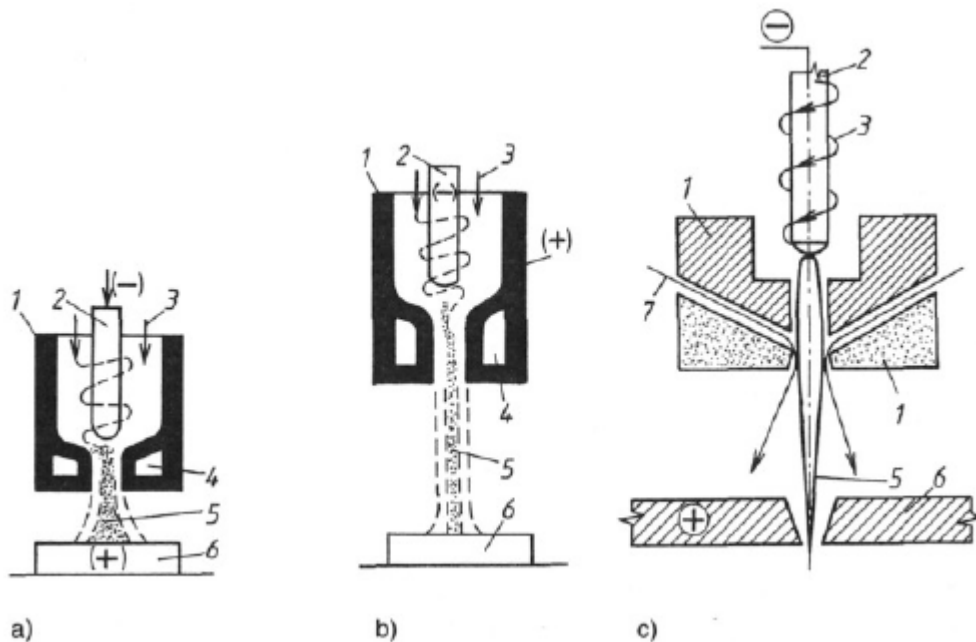


Obrázek 6 – Řezání materiálu acetylen-kyslíkovým plamenem [11]

1 – obrobek, 2 – hořák, 3 – struska

2.2.2 Dělení materiálu plasmou

Dělení materiálu plasmou je technologie, při které využíváme úzký oblouk vysokorychlostního ionizovaného plynu k tavení materiálu na poměrně malé ploše. Často využívané médium je stlačený vzduch nebo inertní plyn. Oblouk vzniká mezi tryskou hořáku (anoda) a elektrodou hořáku (katoda). K dělení materiálu plasmou využíváme stejnosměrného zdroje napětí. Plasmové řezání má pět fází (předfuk, pivoční oblouk, startování, řezací oblouk a dofuk). Ve srovnání s dělením materiálu plamenem dokážeme dělit tlustší materiál. Mezi nevýhody dělení plasmou patří vyšší náklady (oproti řezání plamenem). Za hlavní nevýhodu dělení materiálu plasmou můžeme považovat (podobně jako u dělení elektrickým obloukem) podmínku elektrické vodivosti materiálu, který dělíme (není možné tak řezat čistou keramikou či sklo). [9]



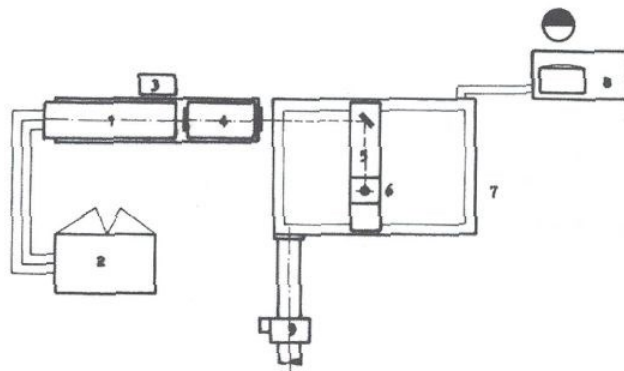
Obrázek 7 – Plasmové hořáky pro řezání plasmou [11]

a) s plynovou stabilizací s transferovým obloukem, b) s plynovou stabilizací s netransferovým obloukem, c) s vodní stabilizací

1 – těleso hořáku, 2 – katoda, 3 – přívod plynu (argon), 4 – chlazení hořáku, 5 – paprsek plasmy, 6 – obrobek, 7 – přívod vody

2.2.3 Dělení materiálu laserem

Dělení materiálu laserem je technologie využívající paprsek energie (světla) koncentrovaný na velice malou plochu. Využívá se pro vytvoření drážky a následného kontrolovaného vylamování nebo řezání. Rychlost řezání laserem je závislá na několika parametrech (výkonu laseru, požadované kvalitě řezné plochy, druhu materiálu a kategorii způsobu řezání). Nejvýkonnější lasery jsou schopné řezat ocel tlustou 50 milimetrů. Dělení materiálu laserem se rozlišujeme do tří kategorií. Sublimační dělení materiálu laserem je technologie odstraňování materiálu jeho odpařením. V současné době tato technologie není často využívána kvůli vysokým nárokům na optické zařízení a malým tloušťkám, které jsme schopné efektivně řezat. Další technologií dělení materiálu laserem je technologie tavného řezání. Při této technologii je materiál roztaven a odfukován asistenčním inertním plynem. Výhodou této technologie je neoxidovaná řezná plocha, díky které není nutné použít další dodatečné úpravy. Nevýhoda této technologie spočívá ve vytvoření otřepů na spodní hraně řezaného materiálu a relativně nízká řezná rychlost. Třetí a poslední kategorie dělení materiálu laserem je řezání pálením. Materiál je ohřátý na zápalnou teplotu s přívodem reaktivního plynu (většinou se jedná o O_2). Materiál shoří exotermickou reakcí. Výhodou je zvýšení řezné rychlosti oproti tavnému řezání, avšak jakost povrchu řezu je horší. [9, 10]



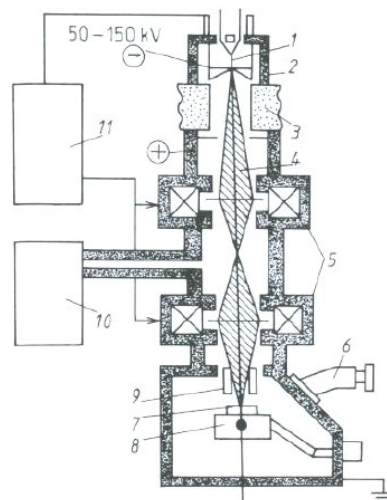
Obrázek 8 – Laserové pracoviště pro dělení materiálu [10]

- 1 – laser, 2 – elektronická část, 3 – ovládání laseru, 4 – kolimátor, 5 – podélný suport,
6 – příčný suport, 7 – kryt pracovního prostoru, 8 – řídicí počítač

2.2.4 Dělení materiálu elektronovým paprskem

Dělení materiálu elektronovým paprskem funguje na principu přeměny kinetické energie dopadajících elektronů na materiál na energii tepelnou, která materiál odpaří. Paprsek elektronů je omezený velikostí pracovního stolu a jeho vakuové komory. Zařízení pro

dělení materiálu elektronovým paprskem se skládá z několika dílů (elektronové dělo, elektromagnetický zaostřovací systém, napájecí generátor, systém pro vychýlení paprsku, vakuové pracovní komory a číslicový řídicí systém) Běžná tloušťka řezaného materiálu touto metodou se pohybuje okolo 2 – 3 milimetrů a šířka řezu 0,1 milimetru. Využívá se pro legované oceli (obsahující chrom, nikl, atd.). [9]



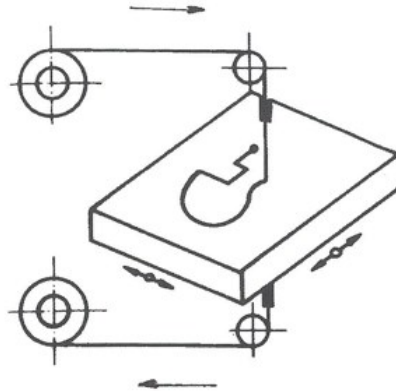
Obrázek 9 – Zařízení pro dělení materiálu elektronovým paprskem [11]

- 1 – wolframový drát, 2 – elektronové dělo, 3 – izolátor, 4- elektronový paprsek, 5 – elektromagnetické čočky, 6 – průzor, 7 – obrobek, 8 – pracovní stůl, 9 – elektrostatické vychýlování elektronového paprsku, 10 – vývěvy, 11 - napájecí zdroj

2.2.5 Dělení materiálu elektrojiskrové

Dělení elektrojiskrové je řezání materiálu, které se zakládá na odebrání materiálu sérií elektrických výbojů (jisker) vznikajících mezi obrobkem a drátovou elektrodou. Vyznačuje se velice úzkou šířkou řezu. Uplatňuje se především při výrobě technologických nástrojů z pevných a velmi tvrdých materiálů (střížné a lisovací nástroje). Pro toto dělení materiálu se používá takzvaná nástrojová elektroda (tenký drát s průměry od 0,02 až po 0,33 mm), který se postupně v průběhu řezání odvíjí a prochází přes vodící soustavu v místě řezu. Opatření drátu by mohlo ovlivnit kvalitu řezu a délku řezání, proto se musí postupně měnit a odvíjení je efektivní řešení vzhledem ke kontinuální povaze řezání. Nástrojová elektroda musí být konstantně přepnutá tahovou silou. Mezera mezi nástrojovou elektrodou a materiálem je zaplněná dielektrickou kapalinou na bázi vody nebo oleje, která zajišťuje správný průběh řezání a proplachuje spálený materiál. Nevýhodou tohoto druhu

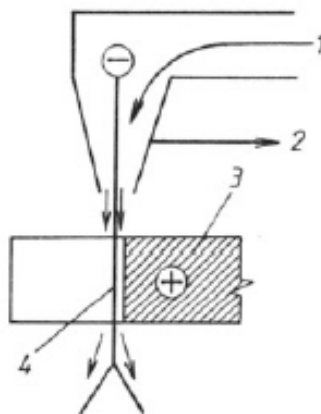
řezání materiálu je opal drátu a jeho vlnění což může způsobovat horizontální nepřesnosti v řezu. Řešením tohoto problému může být korekce CNC systému nebo zvýšení tažné síly napínacích kladek. [8, 10]



Obrázek 10 – Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou [10]

2.2.6 Dělení materiálu elektrochemické

Elektrochemické dělení materiálu je proces oddělování materiálu pomocí zapouštění materiálu v elektrolytu nebo drátovou elektrodou. Základem tohoto procesu jsou tedy Faradayovy zákony elektrolýzy. Na anodě (nástroji) přístroje se vytváří vodík, který reaguje na katodě (materiálu) kde vzniká hydroxid železa. Rychlost rozpouštění závisí na intenzitě elektrického proudu (proudová hustota může dosahovat až tisícinásobku proudové hustoty u galvanizačního nanášení povlaků). Mezi výhody elektrochemického dělení materiálu patří možnost obrábět materiály, které jsou konvenčně špatně obrobitelné nebo opakovaná výroba tvarově složitých dílů, které bychom jinými způsoby dělení materiálu nedosáhli. [8]



Obrázek 11 – Elektrochemické dělení materiálu (drátovou elektrodou) [11]

1 – přívod elektrolytu, 2 – směr pohybu nástroje, 3 – obrobek, 4 - elektroda

3 STŘÍHÁNÍ

Stříhání je operace, jehož podstata spočívá v oddělení materiálu protilehlými břity nebo hranou střížného nástroje. Tuto technologickou operaci používáme pro dělení pásů nebo tabulí z plechu, pomocné operace, přistříhování, vystříhování otvorů. Obecně se při této operaci částečně zpevňuje oblast v okolí střížné plochy. U větších výstřížků může docházet k prohnutí výrobku kvůli ohybovému momentu. Touto technologií můžeme různé druhy materiálů. [6, 7, 10]

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

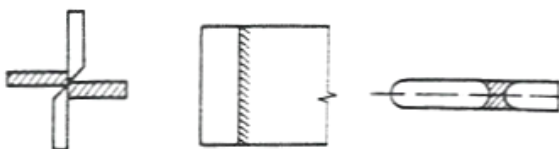
Obrázek 12 – Přehled vybraných materiálů pro stříhání [6]

3.1 Rozdělení stříhání materiálu podle druhu střížné operace

Dělení materiálu stříháním můžeme rozdělit podle různých druhů střížné operace.

3.1.1 Prosté stříhání

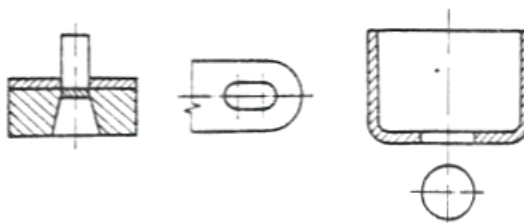
Obyčejné dělení různých druhů polotovarů, ať už jde o tabule, svitky, pásy či tyče. Při správném návrhu střížného plánu nevzniká žádný odpad (100% využití materiálu). Většinou je to pouze mezioperace před dalšími druhy stříhání či jiné technologické operace. [6, 7]



Obrázek 13 – Prosté stříhání [7]

3.1.2 Děrování

Vytvoření děr nebo otvorů různých tvarů. Při tomto druhu stříhání vzniká odpad v podobě vystřiženého materiálu. [6, 7]



Obrázek 14 – Děrování [7]

3.1.3 Vystřihování

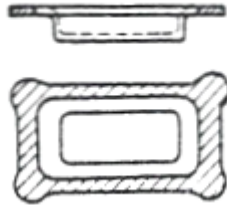
Oddělování materiálu po uzavřené geometrii. Oddělená část se nazývá výstrižek. Většinou se jako polotovar využívají tabule nebo pásy. Při této operaci vzniká relativně velké množství odpadu (za efektivní výrobu se považuje vystřihování s maximálně 30% odpadu v závislosti na ploše). [6, 7]



Obrázek 15 – Vystřihování [7]

3.1.4 Ostřihování

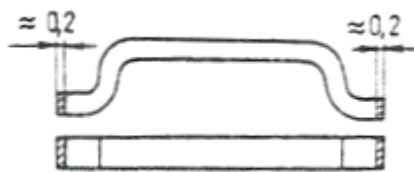
Jedná se o operaci, při které oddělujeme přebytečný materiál od výrobku. Většinou se využívá u výkovků pro odstrižení přebytečného materiálu (výronku). [6, 7]



Obrázek 16 – Ostřihování [7]

3.1.5 Přistřihování

Při této operaci oddělujeme mále množství materiálu, tak abychom dosáhli přesných rozměrů, hladkých ploch nebo tvarů. [6, 7]



Obrázek 17 – Přistřihování [7]

3.1.6 Nastřihování

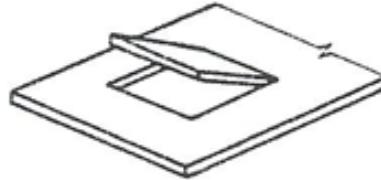
Parciální nastřížení materiálu v okrajích, tak aby nebyla žádná část materiálu úplně oddělena. Využívá se jako přípravná operace před některými druhy ohýbání materiálu. [6, 7]



Obrázek 18 – Nastřihování [7]

3.1.7 Prostřihování

Parciální nastřížení materiálu v jakémkoliv místě uvnitř geometrie výrobku. Využívá se jako přípravná operace před některými druhy ohýbání materiálu. [6, 7]



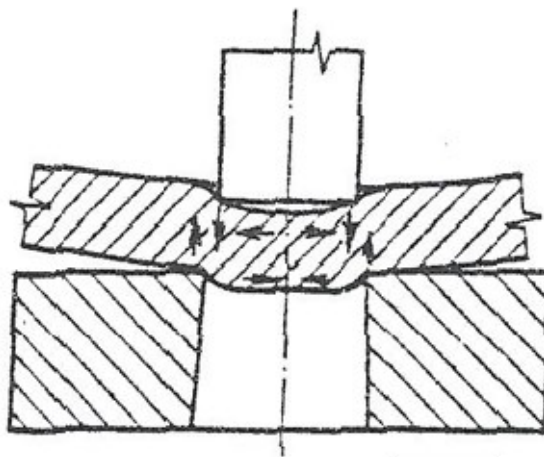
Obrázek 19 – Prostřihování [7]

3.2 Střížný proces

Stříhání plechu můžeme dělit do tří po sobě jdoucích fází.

3.2.1 První fáze: oblast pružné deformace

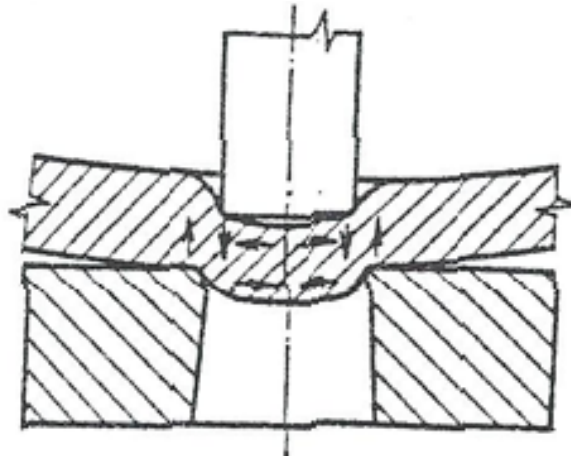
V této fázi vznikají pružné deformace ve stříhaném materiálu. Střížník vnikne do stříhaného materiálu přibližně 5 až 8% tloušťky plechu, v závislosti na mechanických vlastnostech. [7, 14, 15]



Obrázek 20 – První fáze stříhání: oblast pružné deformace [7]

3.2.2 Druhá fáze: oblast plastické deformace

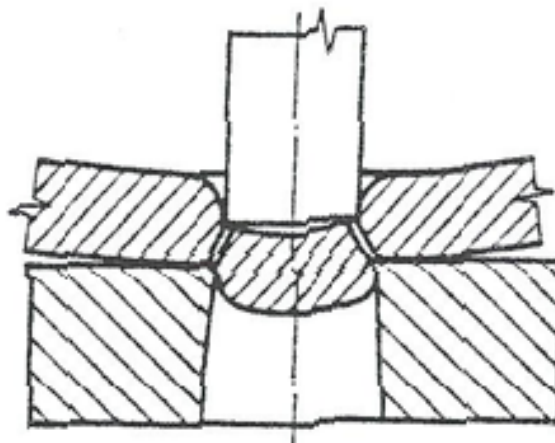
Napětí začíná přesahovat mez kluzu materiálu. Vznikají trvalé plastické deformace v materiálu. Střížník vniká do materiálu 10 až 25% tloušťky plechu, v závislosti na mechanických vlastnostech. [7, 14, 15]



Obrázek 21 – Druhá fáze stříhání: oblast plastické deformace [7]

3.2.3 Třetí fáze stříhání: oblast oddělení materiálu

Ve třetí fázi dojde k odtržení výrobku od zbytku plechu kvůli přesažení meze namáhání pevnosti ve stříhu. Střížník vniká do materiálu 10 až 60% tloušťky plechu, v závislosti na mechanických vlastnostech a střížné mezery. Ve zbylé tloušťce plechu se šíří prasklina, která oddělí výrobek od materiálu.[7, 14, 15]



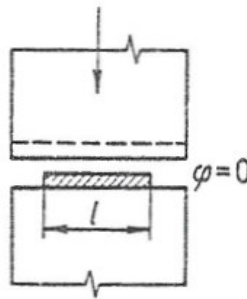
Obrázek 22 – Třetí fáze stříhání: oblast oddělení materiálu [7]

3.3 Rozdělení stříhání materiálu podle druhu nástroje

Stříhání lze rozdělit s ohledem na konstrukci střížného nástroje a jeho pohybu.

3.3.1 Stříhání rovnoběžnými noži

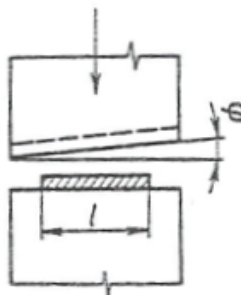
Ostří stříhací nástroje (nože) je rovnoběžné se stříhaným materiálem. Jeden z nožů je pohyblivý a vykonává práci zatím co druhý je nepohyblivý. Nevýhodou stříhání rovnoběžnými noži je značná a okamžitě působící střížná síla, která působí rázem. V průběhu stříhání nepůsobí střížná síla ideálně v rovině, mezi noži tedy musí být určitá vůle. [6, 10]



Obrázek 23 – Stříhání rovnoběžnými noži [7]

3.3.2 Stříhání skloněnými (šikmými) noži

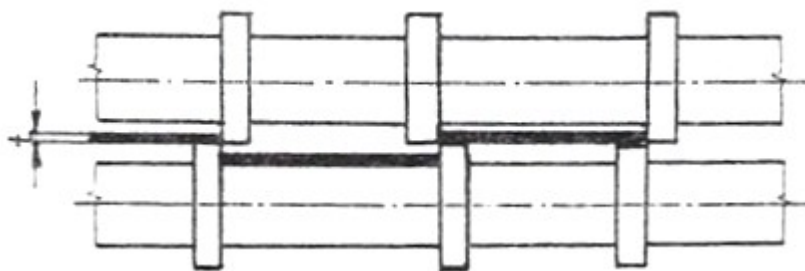
Oproti stříhání rovnoběžným nožem je skloněný nůž namáhán menšími rázy, protože se postupně pod úhlem zařezává do materiálu. Je potřeba tedy mnohem menší střížnou sílu oproti stříhání s rovnoběžnými noži. Tento nůž má tedy delší zdvih oproti rovnoběžným nožům. Kvůli svému tvaru je náročnější na výrobu než rovnoběžný nůž. Podobně jako u stříhání rovnoběžnými noži je jeden nůž pohyblivý a druhý nepohyblivý. Za nevýhodou můžeme považovat postupné ohýbání, ke kterému dochází při stříhu. [6, 10]



Obrázek 24 – Stříhání skloněnými (šikmými) noži [7]

3.3.3 Stříhání rotačními (kotoučovými) noži

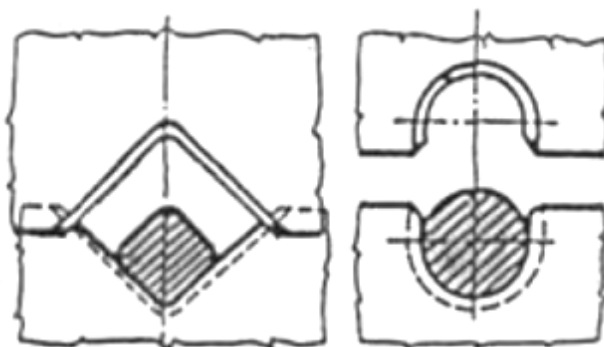
Princip tohoto stříhání spočívá v plynulém stříhání tabulí plechu bez jakýchkoliv rázů. Kotoučový nůž je v kontaktu s materiálem na velmi krátké křivce (jedná se téměř o bodový dotyk). Těto vlastnosti můžeme využít pro stříhání křivkových profilů, proto se tyto nože mohou označovat také jako křivkové. Vřetena, na kterých jsou kotouče upevněny, mohou být rovnoběžné ale také různoběžné. [6, 10]



Obrázek 25 – Stříhání pásů rotačními (kotoučovými) noži [7]

3.3.4 Stříhání tvarovými noži

Stříhání tvarovými noži využíváme u profilů (kruhové tyče, čtvercové tyče, profily: I, U, T, L, atd.). Nástroj má tvar negativu stříhaného profilu (tyto nástroje jsou specializované na jeden typ profilu a jsou využívány především ve velkých sériích, aby se jejich výroba vyplatila). [6, 10]



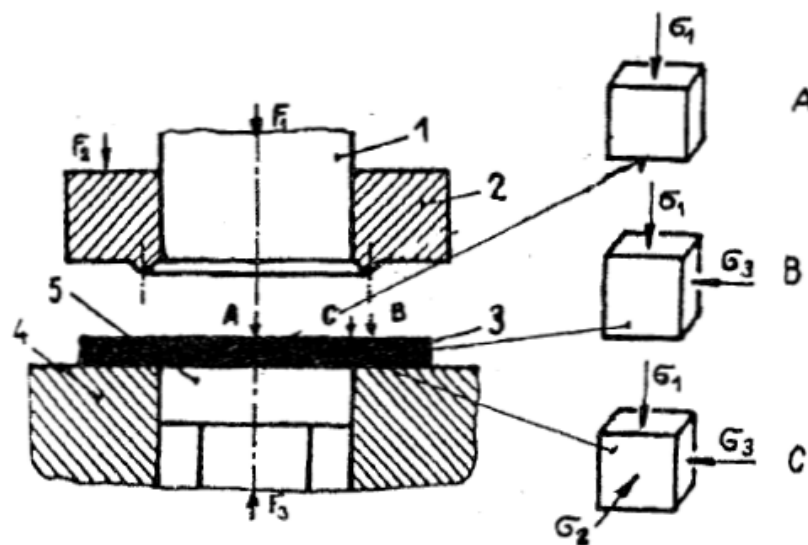
Obrázek 26 – Stříhání tvarovými noži [1]

3.4 Technologie přesného stříhání

Změnou konstrukce střížného nástroje a způsobu stříhání lze dosáhnout lepší kvality střížné plochy. Princip tohoto stříhání spočívá v rozšíření plastické fáze stříhu na celou tloušťku materiálu, tím že vyvineme tlak na celou plochu materiálu a materiál tím namáháme trojosou napjatostí. Nejčastější varianta je stříhání za použití přídržovače s obvodovou hranou (často také jako stříhání s tlačnou hranou) mezi další způsoby patří stříhání se zaoblenou hranou, přesné stříhání se zkoseným přídržovačem a přistříhování. [6]

3.4.1 Stříhání s tlačnou hranou

Stříhání s tlačnou hranou využívá přídržovače na straně střížníku, který se zaryje do polotovaru a vyvine tak tlak na materiál. V případech, kdy je tloušťka polotovaru větší jak 5 mm, nebo má dílec ostré hrany využíváme také tlačné hrany na straně nepohyblivé střížnice. Přídržovač a tlačná hrana kopíruje geometrii výrobku ekvidistantně v určité vzdálenosti. Rozměry, poloha a tvar tlačné hrany ovlivňují přesnosti střížné plochy a životnost samotného nástroje, proto je vhodné stanovit správné rozměry. Za pomoci této metody můžeme dosáhnout drsnosti střížné plochy R_a 0,4 až 0,8 μm . Nevýhodou této metody je potřeba více činného lisu a výroba samotného nástroje je poměrně nákladná. Vhodná pro větší výrobní série vzhledem k ceně nástroje. [6, 7]

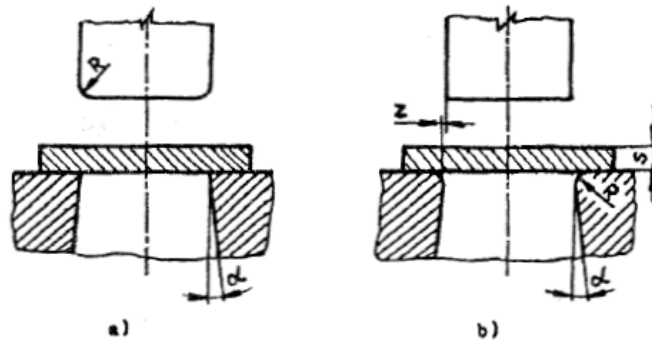


Obrázek 27 – Stříhání s tlačnou hranou [6]

1 – střížník, 2 – přídržovač s tlačnou hranou, 3 – plech, 4 – střížnice, 5 – vyhazovač
(A, B, C – schéma napjatosti)

3.4.2 Stříhání se zaoblenou hranou

Tato metoda stříhání se zakládá na zabránění vytvoření střížné trhliny v materiálu. Střížník nebo střížnice má zaoblenou hranu (zaoblení se rovná 15 – 20 % tloušťky stříhaného materiálu). U tohoto stříhání volíme malou střížnou vůli (0,01 až 0,05 mm). Vhodné spíše pro měkkčí ocel. [6]



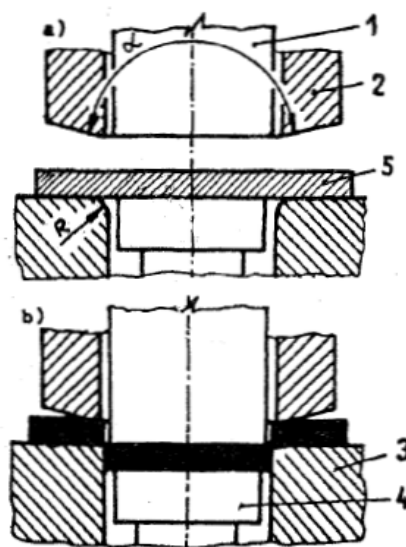
Obrázek 28 – Stříhání se zaoblenou hranou [6]

a – stříhání se zaobleným střížníkem,

b – stříhání se zaoblenou střížnicí

3.4.3 Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem

Zkosený přídržovač vyvozuje dvojsoý stav napjatosti. Uhel přídržovače bývá většinou $178^{\circ} 30'$ a poloměr zaoblení na straně střížnice 0,01 mm. Tento způsob je oproti ostatním metodám přesného stříhání poměrně málo využívaný. [6]



Obrázek 29 – Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem [6]

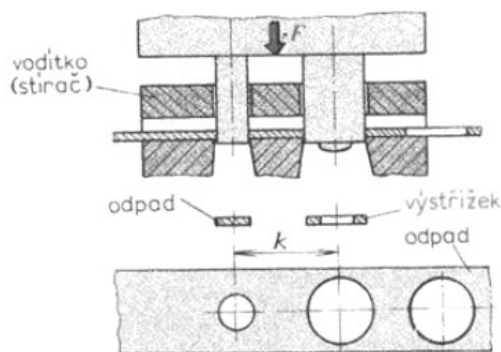
1 – střížník, 2 – přídržovač, 3 – střížnice,

4 – vyhazovač, 5 – plech

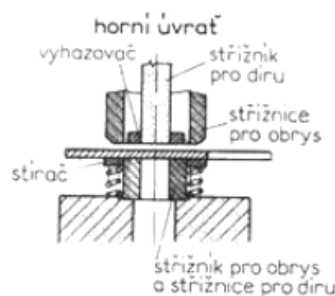
a – výchozí poloha, b – konečná poloha

4 POSTUPOVÉ STŘÍHÁNÍ

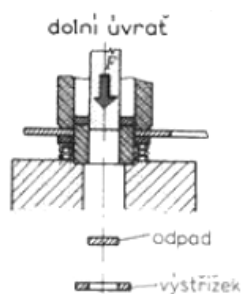
Postupové stříhání je technologie, při které je vyráběný díl s jedním nebo více otvory. Tento výrobek je zhotoven postupně na několik zdvihů stříhacího nástroje. Výhodou postupového stříhání je relativně rychlá výroba součástky (cyklus může u nejjednoduchých součástí trvat pouze sekundy). Nevýhodou je poměrně velké množství odpadku, kvůli potřebě dodržet správné rozestupy mezi výstřížky (nedodržení těchto rozestupů může mít za následek deformaci výstřížků nebo špatný průběh stříhání). Návrh postupového stříhadla také závisí na správném určení těžiště sil. Výstřížky s dírou lze vyrábět na speciální formě postupového stříhadla, kterou je sloučené stříhadlo. Výhoda sloučeného stříhadla je výroba součástky pouze na jeden zdvih pomocí jednoho střížníku. Nevýhodou je však složitější konstrukce samotného střížníku. [1]



Obrázek 30 – Postupové stříhadlo [1]



Obrázek 32 – Sloučené stříhadlo v horní úvratí [1]



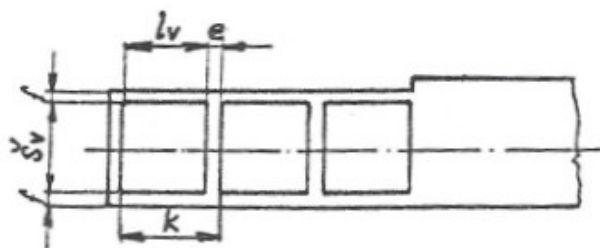
Obrázek 31 – Sloučené stříhadlo v dolní úvratí [1]

4.1 Postupový střížný nástroj

Postupový střížný nástroj je obdoba jednoduchého stříhadla, za pomoci kterého vyrábíme jednoduché díly bez otvorů. Při konstrukci je běžný střížník doplněn o děrovací střížníky a vzniká tak postupový střížný nástroj. Postupový střížný nástroj má vodící elementy (vodící lišta) pro polotovar většinou v podobě pásu. Materiál je veden z jedné strany nástroje na druhou ať už obsluhou či manipulátorem. Na první zdvih je stříhána díra a na druhý je vystřižen celý výrobek. [1, 6]

4.2 Nástřihový plán pro postupové stříhání

Při postupovém stříhání je navržen takzvaný nástřihový plán, který vychází z námi zvoleného polotovaru (většinou se jedná o pás plechu, který je nástřihán z větších tabulí). Na tomto nástřihovém plánu jsou implementovány mezery mezi výstřižky, můstek a mezery od kraje potovou, tak abychom dosáhli požadované kvality střížné plochy a plynulého posouvání plechu v nástroji. Aby byl nástřihový plán považován za efektivní, musí být vyžití materiálu aspoň 70% plochy polotovarového pásu, ideální je samozřejmě stříhání bez odpadu. [5, 6]



Obrázek 33 – Příklad nástřihového plánu [7]

(l_v – délka výstřižku, $š_v$ – šířka výstřižku, e – můstek,

f – šířka okraje plechu, k – délka kroku)

4.2.1 Přidávky mezi stříhanými součástmi a můstek

Tyto přidávky zajišťují správný průběh postupového stříhání a požadovanou kvalitu střížné plochy. U měkčích materiálů se tyto rozměry volí menší a tvrdších zase větší, abychom byly schopni vyvodit dostatečné napětí pro stříh. Při navrhování těchto rozměrů také bereme v potaz tloušťku materiálu a rozmístění výstřižku na polotovaru, tak abychom dosáhli ideálních podmínek pro danou aplikaci. [6]

4.3 Těžiště střížných sil

U postupového stříhání je použito několik za sebou jdoucích střížníků a každý má své těžiště. Pro tuto operaci využíváme běžně jako stroj lis, který však působí silou pouze v jedné ose. Je potřeba tedy určit těžiště střížných sil (ať už grafickou či výpočetní metodou). Jelikož je v každém místě polotovaru stejná tloušťka a mechanické vlastnosti je velikost střížných sil přímo úměrná střížnému obvodu. Těžiště střížných sil musí být správně určeno hlavně kvůli negativním vlivům, které by mělo špatně určené těžiště na průběh stříhání a na nástroj. Přesnost výrobku by mohla být ovlivněna negativně v některých místech stříhání. Nástroj by byl vystaven nerovnoměrnému namáhání a tak by se mohl opotřebovávat nerovnoměrně, což by způsobilo zkrácení životnosti celého nástroje. [7]

4.3.1 Početní metoda určení těžiště střížných sil

Početní metoda určení těžiště vychází z předpokladu, že je střížná síla přímo úměrná střížnému obvodu. Za tohoto předpokladu lze sestavit sada rovnic:

$$F_X * X = F_1 * a + F_2 * b + F_3 * c \quad [N] \quad (1)$$

$$F_Y * Y = F_1' * a_1 + F_2' * b_1 + F_3' * c_1 \quad [N] \quad (2)$$

Kde:

$$F_X = F_1 + F_2 + F_3 \quad [N] \quad (3)$$

a, b, c – vzdálenosti F_1 , F_2 a F_3 od osy y

X – vzdálenost výslednice těžiště od osy y

$$F_Y = F_1' + F_2' + F_3' \quad [N] \quad (4)$$

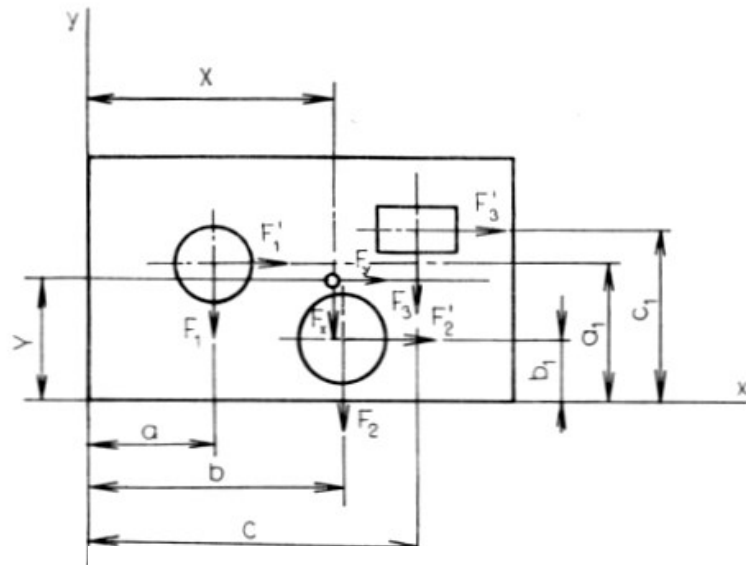
a_1 , b_1 , c_1 – vzdálenosti F_1' , F_2' , F_3' od osy x

Y – vzdálenost výslednice těžiště od osy x

Potom platí:

$$X = \frac{F_1 * a + F_2 * b + F_3 * c}{F_1 + F_2 + F_3} [mm] \quad (5)$$

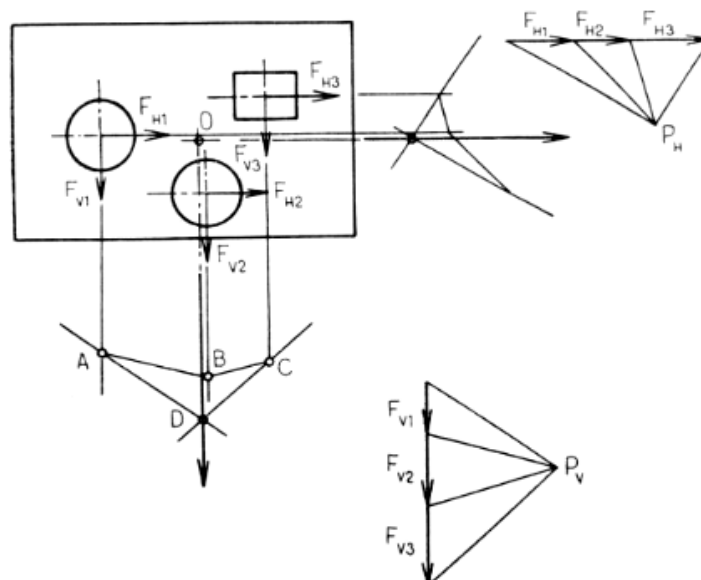
$$Y = \frac{F_1' * a_1 + F_2' * b_1 + F_3' * c_1}{F_1' + F_2' + F_3'} [mm] \quad (6)$$



Obrázek 34 – Určení těžiště za pomoci početní metody [23]

4.3.2 Grafická metoda určení těžiště střížných sil

V případě využití grafické metody vyneseme v námi zvoleném měřítku jednotlivé střížné síly a to ve vertikálním (F_{V1} , F_{V2} , F_{V3}) i horizontálním (F_{H1} , F_{H2} , F_{H3}) směru. Následně si zvolíme bod v libovolném místě (P_V pro vertikální směr a P_H pro horizontální) a vyneseme na přímkou u tohoto bodu síly. Spojíme začátky a konce sil s námi zvolenými body, vzniknou tak úsečky, které budeme potřebovat v dalším kroku. Z každého dílčího těžiště vedeme přímkou mimo těleso a vynášíme na ně přímkou rovnoběžnou s úsečkami, které spojují začátky a konce sil. To znamená, že vyneseme náhodný bod na úsečku spuštěnou z dílčího těžiště první střížné síly (v našem případě bod A) a z něho vynášíme úsečku rovnoběžnou s přímkou dělicí sílu F_{V1} a F_{V2} , tato úsečka protne úsečku spuštěnou z dílčího těžiště druhé střížné síly (v tomto místě vznikl bod B). Tuto operaci opakujeme pro každou střížnou sílu (vznikají tak další bod C). Po vynesení všech úseček z každého dílčího těžiště se protne úsečka z bodu A a bodu C, na průniku vznikne bod D, který leží na výslednici těžiště celkové střížné síly. Tento proces opakujeme i v horizontálním směru a dostaneme tak horizontální výslednici těžiště. V průsečíku těchto dvou výslednic leží těžiště střížných sil (bod 0). [21, 22]



Obrázek 35 – Určení těžiště za pomoci grafické metody [23]

5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

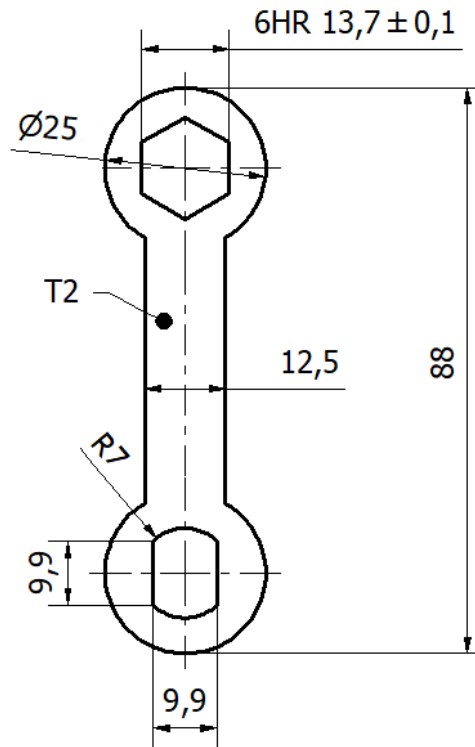
V teoretické části bakalářské práce je popsáno tváření a jeho rozdělení dle tvářecí teploty, geometrických charakteristik a účinku tvářecí síly. Dále je se teoretická část věnuje dělení materiálu na dělení materiálu mechanickou prací (lámání, sekání, řezání, upichovacím nožem na soustruhu, rozbrušováním a dělením vodním paprskem) a dělení materiálu nekonvenčními metodami (řezáním za pomoci plamene, plasmou, laserem, elektronovým paprskem, elektrojiskrově a elektrochemicky). Hlavní část teoretické studie se zabývá stříhání. Stříhání je rozděleno podle druhu střížné operace (prosté stříhání, děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování a prostřihování), střížného procesu a střížného nástroje. Závěr teoretické části, je zaměřen na postupové stříhání a postupový střížný nástroj.

Praktická část se bude zabírat návrhem výstřížku, nástřihového plánu a konstrukcí postupového střížného nástroje. Součástí praktické části bude také model zhotovený v 3D programu (Autodesk Inventor Professional 2023) a výkresová dokumentace jednotlivých součástí.

PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH VÝSTŘIŽKU

Tvar výstřížku a jeho rozměry jsou v reálném světě zadávány zákazníkem, vzhledem k funkci a využití výstřížku. Pro moje účely si rozměry a tvar zvolím na základě vlastního návrhu. Materiál výstřížku je zvolen v závislosti na využití výstřížku.



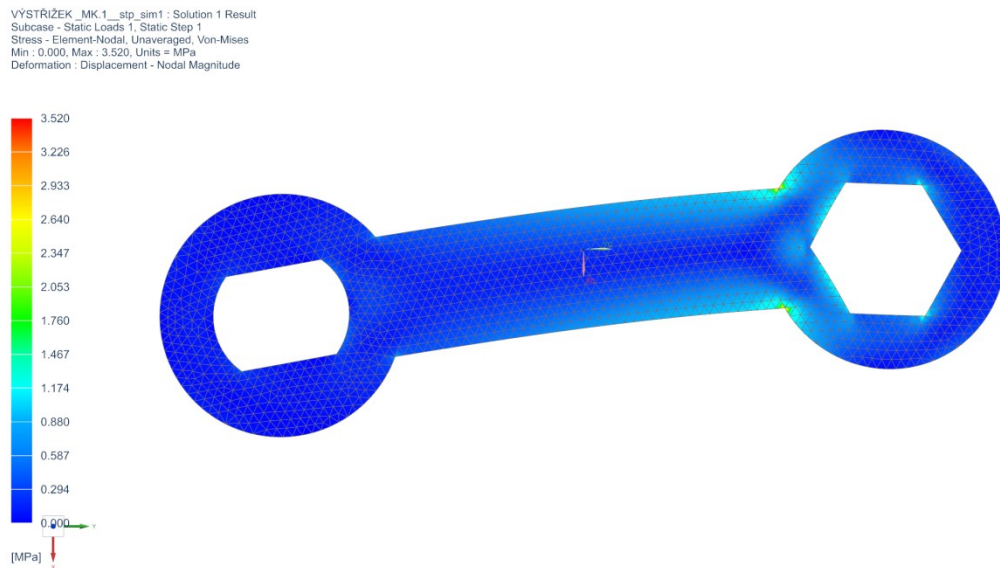
Obrázek 36 – Rozměry výstřížku

6.1 Výběr materiálu výstřížku

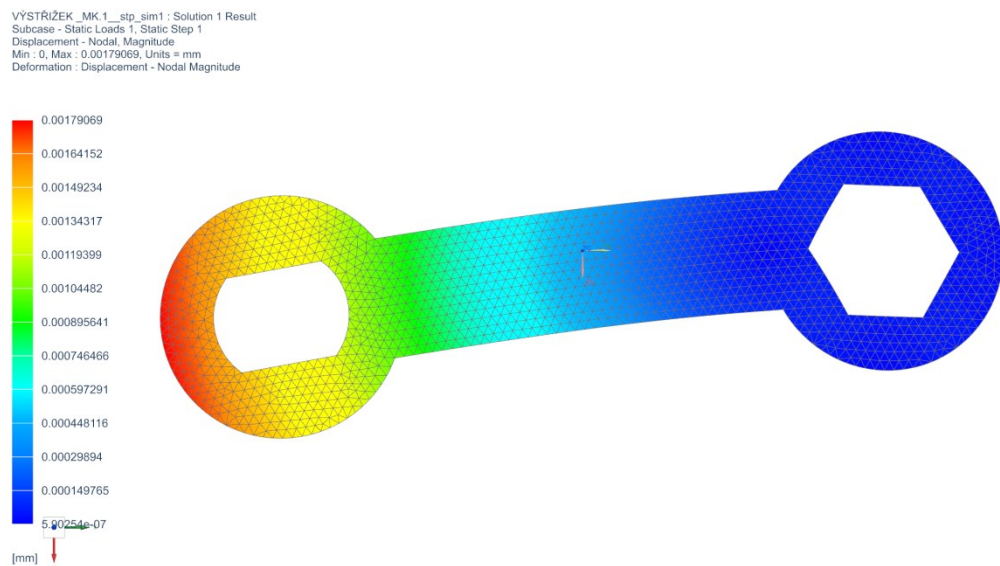
Materiál vybírám vzhledem k využití finálního výstřížku. Zvolil jsem ocel ČSN 11373.1 (dle EN 1.0036). Jedná se o nelegovanou ocel obvyklé jakosti. Polotovarem z této oceli je tabule válcovaná za tepla, a proto je polotovár ještě normalizačně žhán pro navrácení homogenních vlastností a struktury. Více informací o tomto materiálu je zaznamenáno v materiálovém listu v příloze P XVIII. [24]

6.2 FEM analýza výstřížku

Vybraný výstřížek jsem podrobil FEM analýze, abych zjistil mechanicky nejslabší místa na vystřihovaném tvaru. Výstřížek je upnut pevně v jednom bodě a na druhou stranu výstřížku působí jednotková síla, následně je toto upnutí obráceno. Nejslabší místo výstřížku je očekávatelně v nejtenčím místě výstřížku a to na „krčku“ klíče. Napětí by se dalo rozložit na větší plochu zaoblením tohoto „vrubu“. Napětí je však poměrně rozložené i v těchto místech.

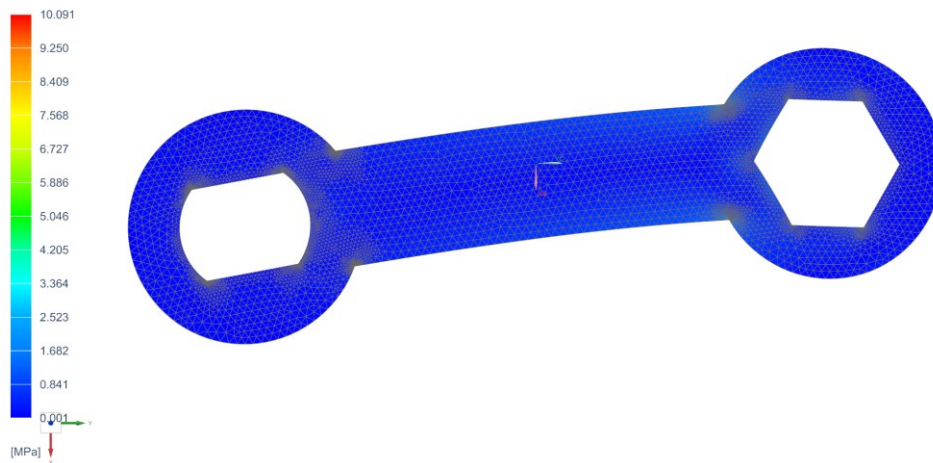


Obrázek 37 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v šestiranném otvoru



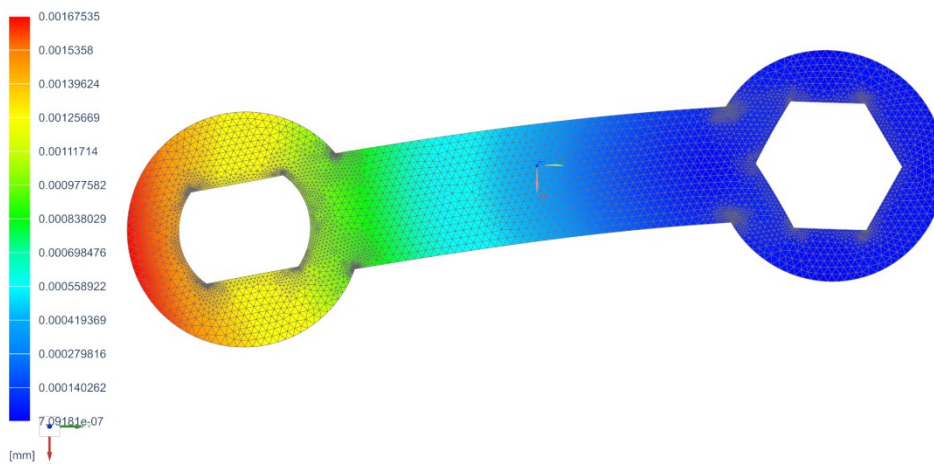
Obrázek 38 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v šestiranném otvoru

VÝSTRÍŽEK_MK.1__stp_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
 Min : 0,001, Max : 10,091, Units = MPa
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



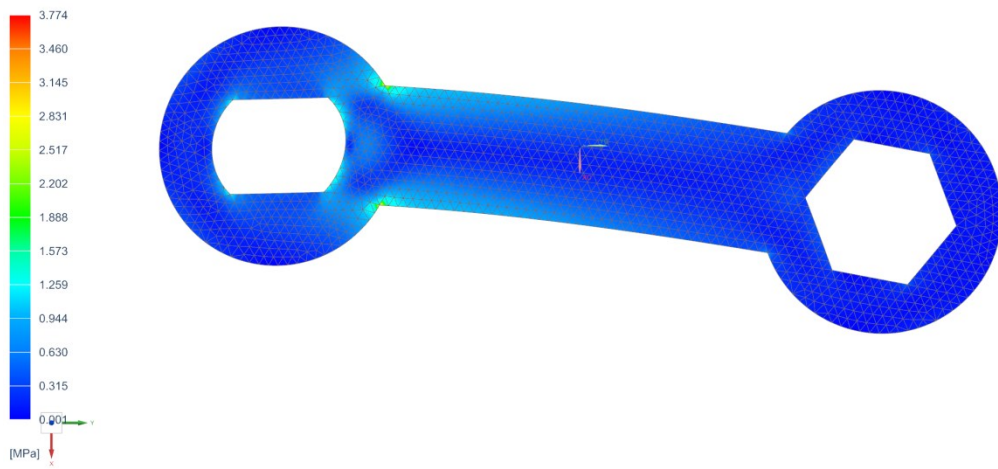
Obrázek 39 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v šestiranném otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť

VÝSTRÍŽEK_MK.1__stp_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal Magnitude
 Min : 0, Max : 0,00167535, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



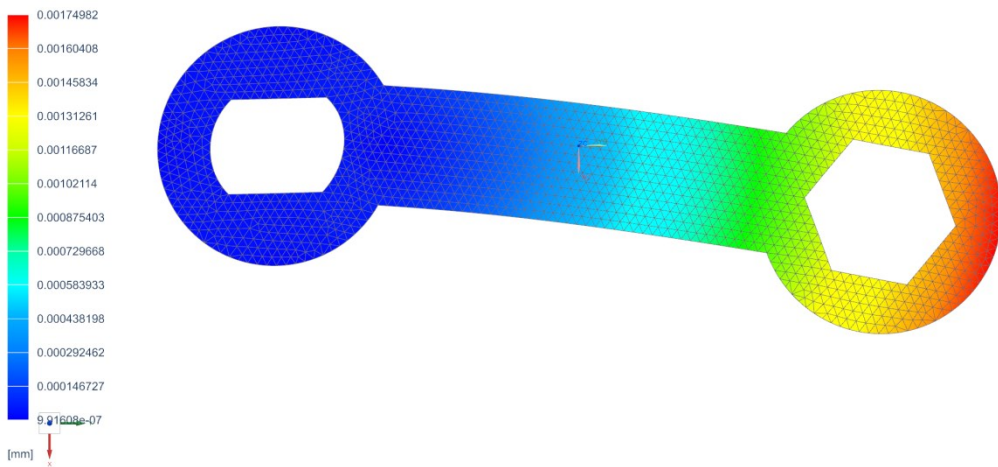
Obrázek 40 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v šestiranném otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť

VÝSTRÍŽEK_MK.1__stp_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
 Min : 0.001, Max : 3.774, Units = MPa
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

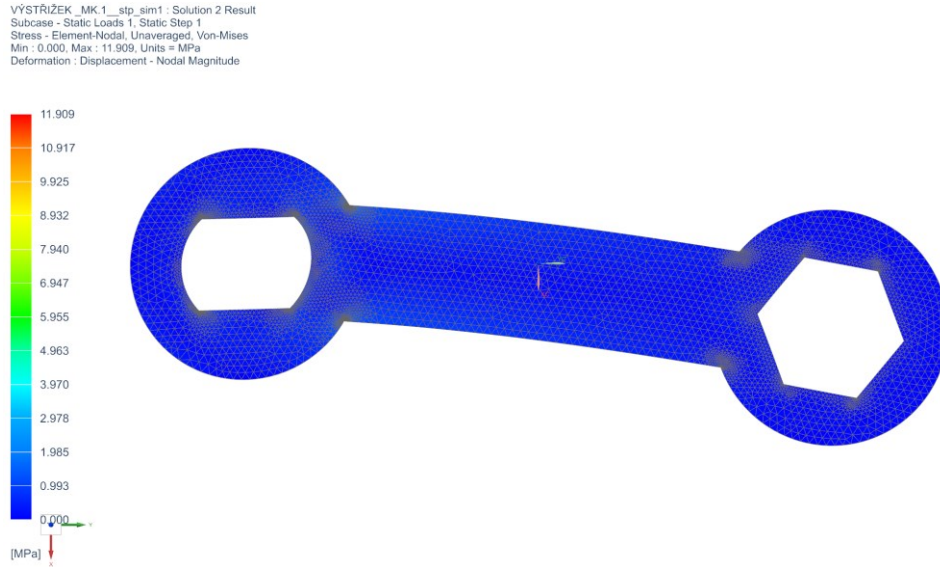


Obrázek 41 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru

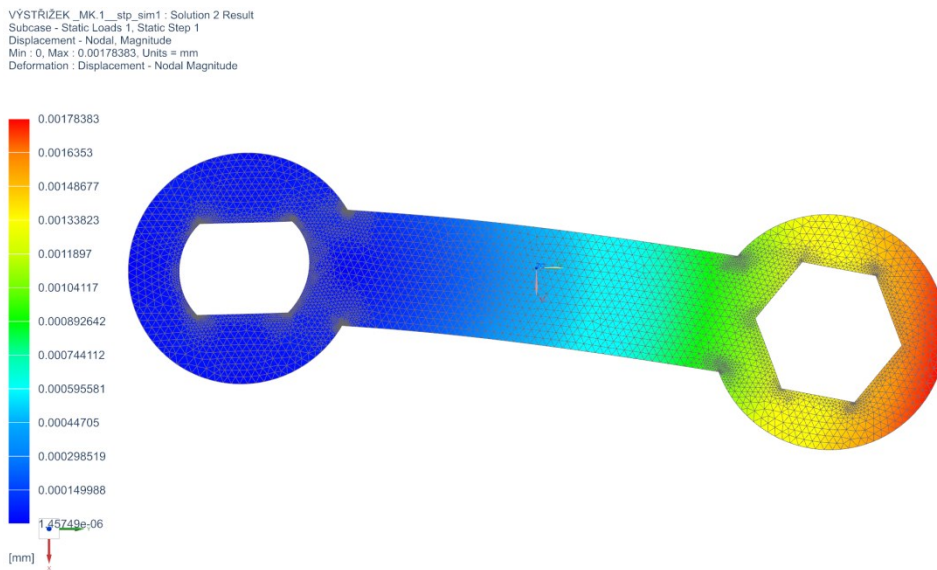
VÝSTRÍŽEK_MK.1__stp_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0, Max : 0.00174982, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 42 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru



Obrázek 43 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť

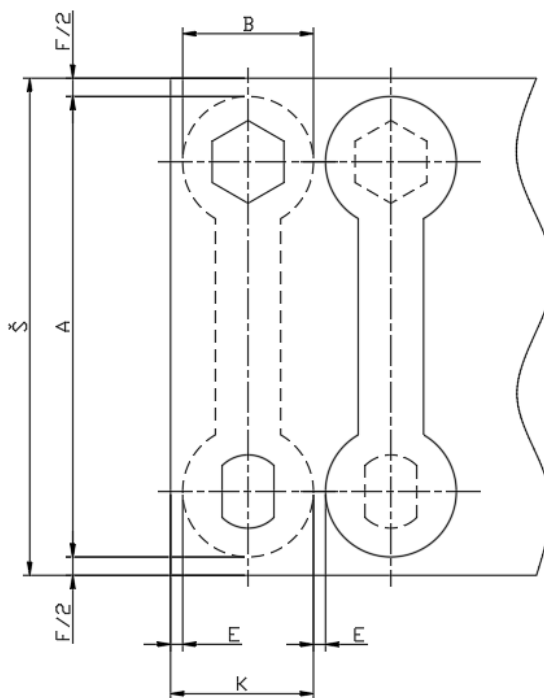


Obrázek 44 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť

Z FEM analýzy vyplívá, že je největší koncentrace napětí vždy v přechodu krčku na rozšíření. Po uplatnění adaptability na FEM model je zjevné že maximální napětí působí pouze ve velmi malé oblasti. Návrh by se dal vylepšit změnou geometrie přechodu krčku na rozšíření. Návrh je pro účely této bakalářské práce vyhovující.

6.3 Nástřihový plán

Nástřihový plán volím v závislosti na tvaru mnou zvolenou součástí. Nástřihový plán se snažím volit tak, aby byl co nejefektivnější. Regulace odtahu je řešená krokovými motory zařazenými před a za střižný nástroj.



Obrázek 45 – Nástřihový plán

A – Délka výstřižku [mm]

B – Šířka výstřižku [mm]

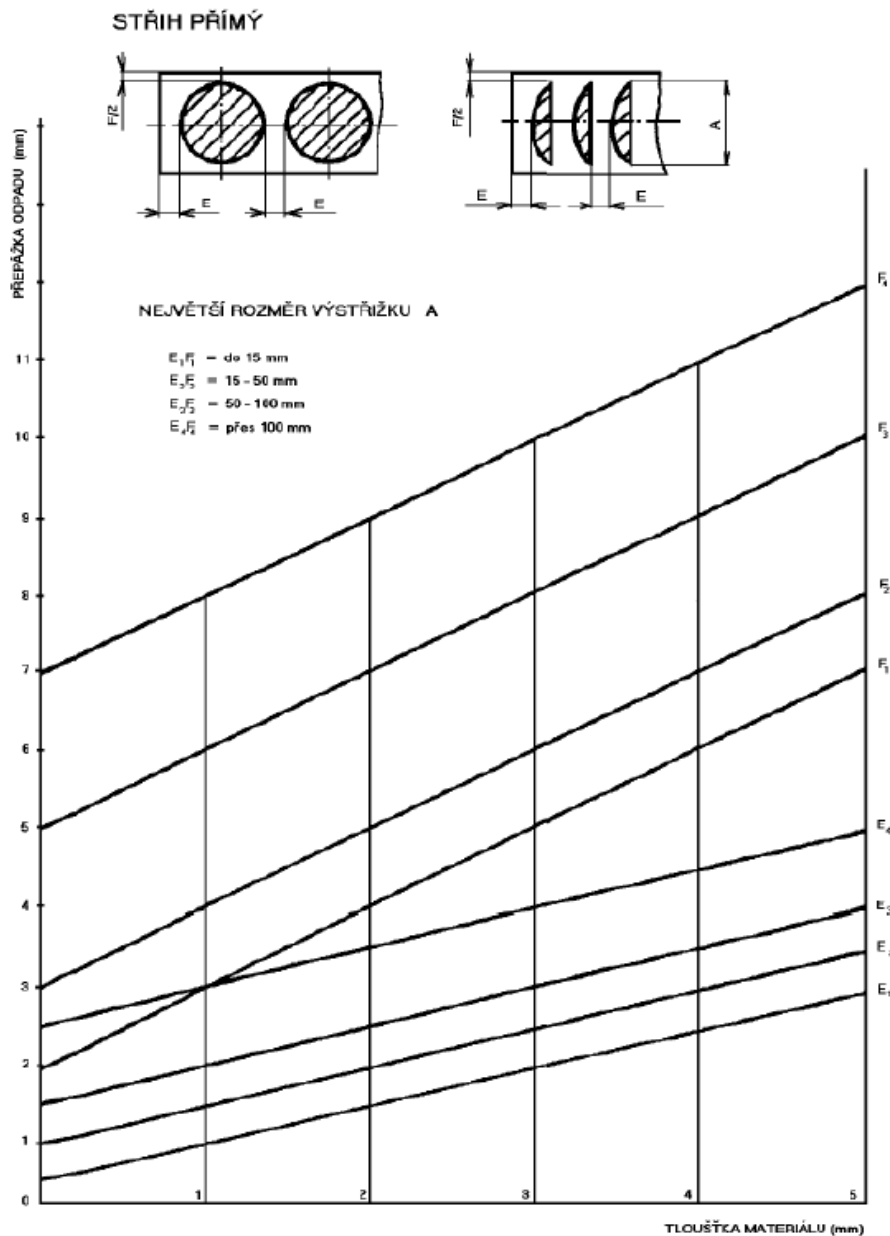
E – Délka můstku [mm]

F/2 – Velikost okraje [mm]

K – Délka kroku [mm]

Š – Šířka pásu [mm]

Přidávky E a F jsou voleny podle rozměrů výstřižku a tloušťky plechu z normy pro stříh přímý. Po volbě těchto přidávků lze vypočítat délku kroku a šířku pásu. Tabule plechu tedy rozdělím podle pásy o stejné šířce jako je vypočítaná šířka pásu. [14]



Obrázek 46 – Digram pro volbu můstku a okrajů pro přímý stříh

Výška výstřižku A je v mém případě 88 mm a tloušťka plechu je 2 mm. Podle těchto rozměrů volím křivky E_3 , F_3 a vodorovnou osu 2. V průtoku osy 2 a křivky E_3 odečítám na svislé ose délku můstku $E = 2,3$ mm. V průtoku osy 2 a F_3 odečítám na svislé ose velikost okraje $F = 7$ mm, jelikož okraje potřebuji na obou stranách výstřižku, tuto hodnotu dělím na $F/2 = 3,5$ mm pro každou stranu. Délka kroku K nebo také zjednodušeně krok je hodnota, o kterou se plechový pás posune ve střížné hlavě. V mém případě je to šířka výstřižku $B = 25$ mm a délka můstku E.

Vzorec pro výpočet pak vypadá takto:

$$K = B + E = 25 + 2,3 = 27,3 \text{ mm} \quad (7)$$

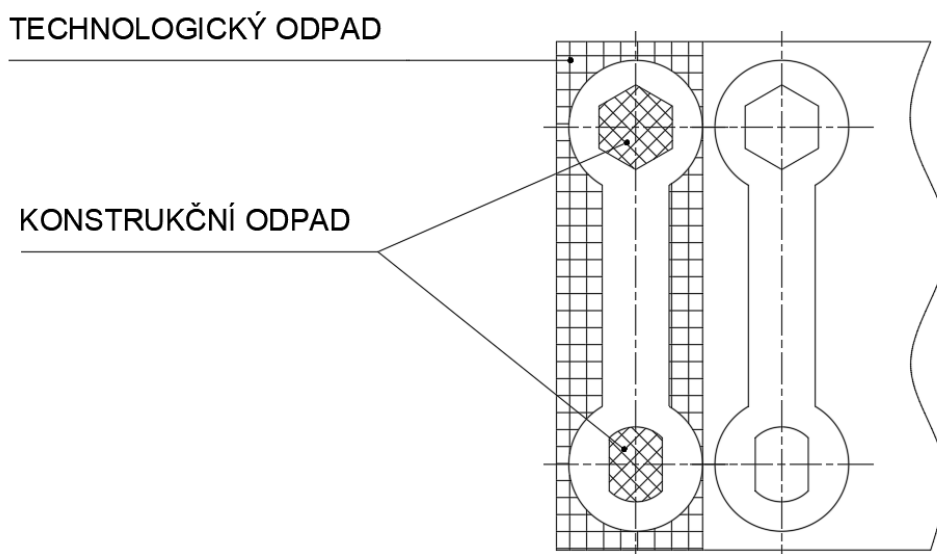
Šířka pásu dostanu sečtením délky výstřižku $A = 88 \text{ mm}$ a velikosti okraje $F = 7 \text{ mm}$.

Vzorec pro výpočet pak vypadá takto:

$$\check{S} = A + F = 88 + 7 = 95 \text{ mm} \quad (8)$$

6.4 Využití materiálu

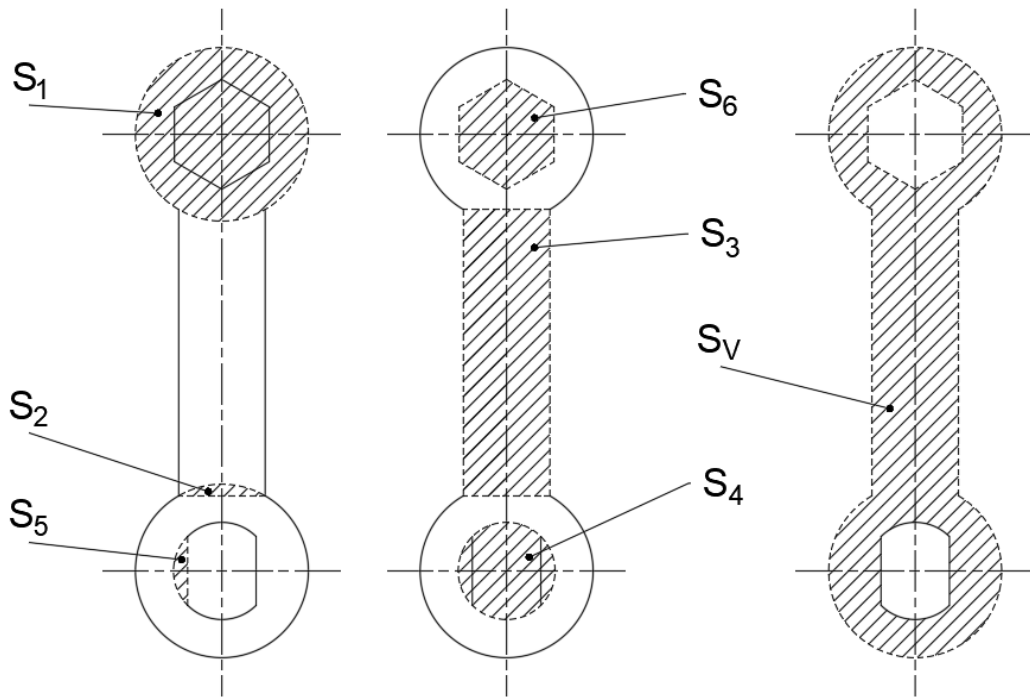
Polotovar pro mou výrobu je plech o rozměrech 1000 x 2000 mm a je rozdělen na pásy o šířce 95 mm. Jednu tabuli rozdělím na 21 pásů. Na každý z těchto se vleze 36 výstřižků. Z jedné tabule tak vystřihám 756 výstřižků. Při tomto druhu stříhání vzniká poměrně velké množství odpadu. Jeden způsob jak omezit odpad je volba efektivního nástřihového plánu což má za následek snížení technologického odpadu, vzniká však i odpad, který nejsme schopni eliminovat a to je konstrukční odpad (většinou se jedná o otvory ve výstřižku).



Obrázek 47 – Využití materiálu

6.4.1 Koeficient využití materiálu

Součinitel využití materiálu je hodnota, která jak už z názvu vyplývá, udává poměr plochy využitého materiálu oproti ploše polotovarového pásu. Součinitel využití materiálu dále označený jako k_m určuje vhodnost návrhu nástřihového plánu. Součinitel využití materiálu vypočítám pro jeden pás plechu i pro celou tabuli.



Obrázek 48 – Plocha výstřížku

$$k_{mp} = \frac{S_v}{S_p} * 100 = \frac{n_v * s_v}{S_p} * 100 [\%]$$

$$k_{mp} = \frac{n_v * [2 * (S_1 - S_2) + S_3 - S_4 + 2 * S_5 - S_6]}{S_p} * 100$$

$$k_{mp} = \frac{36 * \left[2 * \left(\frac{\pi * 25^2}{4} - \frac{12,5^2 * (60^\circ - \sin 60^\circ)}{2} \right) + (41,35 * 12,5) - \left(\frac{\pi * 14^2}{4} \right) + 2 * \left(\frac{7^2 * (90^\circ - \sin 90^\circ)}{2} \right) - \left(\frac{\sqrt{3} * 13,7^2}{2} \right) \right]}{95 * 1000} * 100$$

$$k_{mp} = 44,8\% \quad (9)$$

k_{mp} – Součinitel využití materiálu pásu [%]

S_v – Plocha všech výstřížků [mm^2]

s_v – Plocha jednoho výstřížku [mm^2]

n_p – Počet výstřížků [-]

S_p – Plocha pásu [mm^2]

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ - Dílčí plochy [mm^2]

$$k_{mt} = \frac{S_v}{S_t} * 100 = \frac{n_v * S_v}{S_t} * 100 [\%]$$

$$k_{mt} = \frac{n_v * [2 * (S_1 - S_2) + S_3 - S_4 + 2 * S_5 - S_6]}{S_t} * 100$$

$$k_{mt} = \frac{756 * \left[2 * \left(\frac{\pi * 25^2}{4} - \frac{12,5^2 * (60^\circ - \sin 60^\circ)}{2} \right) + (41,35 * 12,5) - \left(\frac{\pi * 14^2}{4} \right) + 2 * \left(\frac{7^2 * (90^\circ - \sin 90^\circ)}{2} \right) - \left(\frac{\sqrt{3} * 13,7^2}{2} \right) \right]}{2000 * 1000} * 100$$

$$k_{mt} = 44,7\% \quad (10)$$

k_{mt} – Součinitel využití materiálu tabule [%]

S_v – Plocha výstřížků [mm^2]

s_v – Plocha jednoho výstřížku [mm^2]

n_p – Počet výstřížků [-]

S_t – Plocha tabule [mm^2]

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ - Dílčí plochy [mm^2]

Množství odpadu z jedné tabule je 55,3%. Pro vyjádření množství odpadu v kilogramech potřebuji vypočítat objem tabule. Hustota oceli při pokojové teplotě (20°C) je $\rho_o = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Výpočet objemu tabule:

$$V_t = 2000 * 1000 * 2 = 4\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,004 \text{ m}^3 \quad (11)$$

Výpočet hmotnosti tabule:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m_t = \rho_o * V_t = 7850 * 0,004 = 31,4 \text{ kg} \quad (12)$$

Výpočet hmotnosti odpadu:

$$m_o = m_t * \frac{100 - k_{mt}}{100} = 31,4 * \frac{100 - 44,7}{100} = 17,4 \text{ kg} \quad (13)$$

7 VÝPOČET STŘIŽNÉ SÍLY

Střížná síla se vypočítá dle tohoto vzorce:

$$F_S = n * S * \tau_S = n * l * s * \tau_S [N] \quad (14)$$

F_S - Střížná síla [N]

n - koeficient zohledňující opotřebení/ostrost nástroje (běžně 1,2 ÷ 1,6) [-]

S - Plocha stříhu [mm²]

τ_S - Střížný odpor ($\tau_S = 0,8 * R_m$) [MPa]

l - Délka střížné hrany (suma všech dílčích střížných hran) [mm]

s - Tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Střížný proces je v mém případě rozdělen do dvou dílčích operací. První z nich je děrování šestiranného otvoru a tvarového otvoru. Druhou operací je vystřížení samotného klíče. Na každou z dílčích geometrií v tomto výstřížku (šestihran, tvarový otvor, tělo klíče) působí dílčí střížná síla ve vlastním těžišti. Součtem těchto dílčích sil dostaneme celkovou střížnou sílu. [13, 14, 15]

7.1 Výpočet délky střížné hrany

Celkovou střížnou hranu vypočítám součtem dílčích střížných hran. V mém případě vzorec pro součet střížných hran vypadá takto:

$$l = 2 * (l_1 - l_2) + 2 * l_3 + 2 * l_4 + 2 * l_5 + l_6 [mm] \quad (15)$$

Výpočet obvodu kruhu č.1:

$$l_1 = \pi * B = \pi * 25 = 78,54 \text{ mm} \quad (16)$$

Výpočet délky kruhové úseče č.1:

$$l_2 = \frac{B}{2} * \frac{\pi}{180} * \alpha = \frac{25}{2} * \frac{\pi}{180} * 60^\circ = 13,09 \text{ mm} \quad (17)$$

Výpočet délky přímky:

$$l_3 = (A - 2 * B) + \left[2 * \frac{B}{2} * \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

$$l_3 = (88 - 2 * 25) + \left[2 * \frac{25}{2} * \left(1 - \cos \frac{60^\circ}{2} \right) \right] = 41,35 \text{ mm} \quad (18)$$

Výpočet délky kruhové úseče č.2:

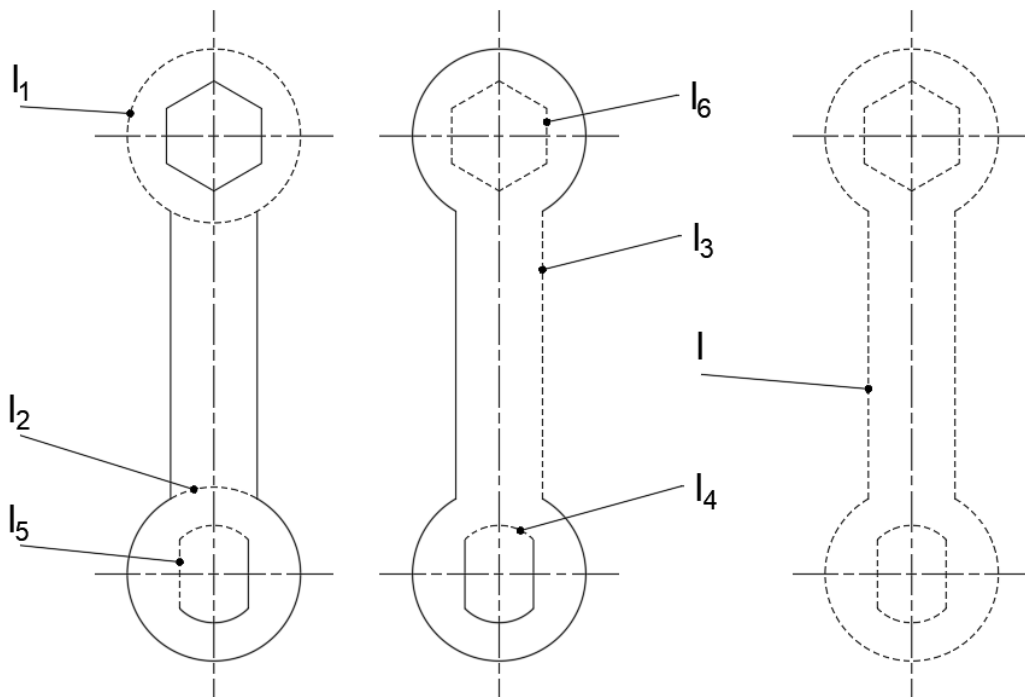
$$l_4 = \frac{d}{2} * \frac{\pi}{180} * \beta = \frac{14}{2} * \frac{\pi}{180} * 90^\circ = 11,00 \text{ mm} \quad (19)$$

Výpočet délky přímky č.2:

$$l_5 = \left[2 * \frac{d}{2} * \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right) \right] = \left[2 * \frac{14}{2} * \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{2} \right) \right] = 9,90 \text{ mm} \quad (20)$$

Výpočet obvodu šestihranu:

$$l_6 = 6 * \left(\frac{a}{2} * \frac{2}{\sqrt{3}} \right) = 6 * \left(\frac{13,7}{2} * \frac{2}{\sqrt{3}} \right) = 47,46 \text{ mm} \quad (21)$$



Obrázek 49 – Délka střížných hran

Výpočet celkové střížné hrany:

$$l = 2 * (l_1 - l_2) + 2 * l_3 + 2 * l_4 + 2 * l_5 + l_6 \text{ [mm]}$$

$$l = 2 * (78,54 - 13,09) + 2 * 41,35 + 2 * 11,00 + 2 * 9,90 + 47,46$$

$$l = 302,86 \text{ mm} \quad (22)$$

7.2 Výpočet střížné síly pro materiál 11 373.1

Střížný odpor vypočítám z meze pevnosti materiálu. Mez pevnosti materiálu zjistím z materiálového listu a vypočítám střední hodnotu. Koeficient opotřebení nástroje volím $n = 1,3$, kvůli opotřebení nástroje v průběhu stříhání. [14, 15]

Výpočet střední hodnoty meze pevnosti materiálu:

$$R_m = \frac{360 + 510}{2} = 435 \text{ MPa} \quad (23)$$

Výpočet střížného odporu:

$$\tau_S = 0,8 * R_m = 0,8 * 435 = 348 \text{ MPa} \quad (24)$$

Výpočet střížné síly:

$$F_S = n * S * \tau_S = n * l * s * \tau_S = 1,3 * 302,86 * 2 * 348 = 274 \text{ 028 N} \quad (25)$$

8 STŘIŽNÁ VŮLE

Pro střížný nástroj je důležité zvolit správnou velikost střížné vůle. Špatné zvolení střížné vůle může mít za následek zvýšení potřebné střížné síly, většímu opotřebení střížného nástroje, zhoršení kvality střížné plochy nebo protržení či nedostříhnutí materiálu. Střížná vůle se většinou určuje v závislosti na tloušťce stříhaného plechu a střední meze pevnosti materiálu.

Tloušťka materiálu [mm]	Mez pevnosti R_m [MPa]					
	do 400		400 až 600		nad 600	
	v [%]	v [mm]	v [%]	v [mm]	v [%]	v [mm]
0,1	3-5	0,003-0,005	5-7	0,005-0,007	7-9	0,007-0,009
0,2		0,006-0,010		0,010-0,014		0,014-0,018
0,3		0,009-0,015		0,015-0,021		0,021-0,027
0,4		0,012-0,020		0,020-0,028		0,028-0,036
0,5		0,015-0,025		0,025-0,035		0,035-0,045
0,6	4-6	0,024-0,036	6-8	0,036-0,048	8-10	0,048-0,060
0,8		0,032-0,048		0,048-0,064		0,064-0,080
1,0		0,040-0,060		0,060-0,080		0,080-0,10
1,2		0,048-0,072		0,072-0,096		0,096-0,12
1,5		0,060-0,090		0,090-0,120		0,12-0,15
1,8	5-7	0,090-0,126	7-9	0,126-0,162	9-11	0,162-0,198
2,0		0,10-0,140		0,140-0,180		0,180-0,220
2,5		0,125-0,175		0,175-0,225		0,225-0,275
3,0		0,150-0,210		0,210-0,270		0,270-0,330
3,5		7-10		0,245-0,350		9-12
4,0	0,280-0,40		0,360-0,480	0,440-0,560		
4,5	0,315-0,45		0,505-0,540	0,595-0,630		
5,0	0,350-0,50		0,45-0,60	0,55-0,7		
6,0	10-13		0,60-0,780	12-15	0,72-0,90	
7,0		0,70-0,910	0,84-1,05		0,98-1,19	
8,0		0,80-1,040	0,96-1,20		1,12-1,36	
9,0		0,90-0,170	1,08-1,35		1,26-1,53	
10,0		1,0-1,300	1,20-1,50		1,40-1,70	

Obrázek 50 – Střížná vůle kovových materiálů [7]

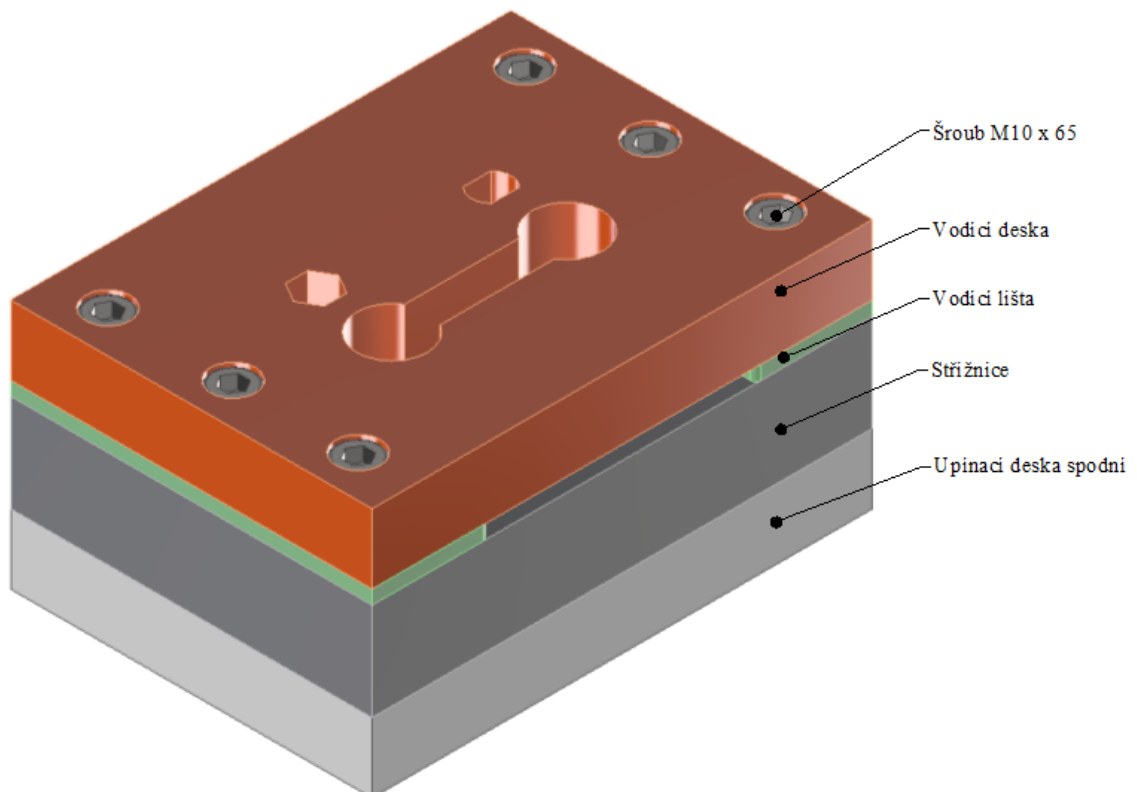
V mém případě je tloušťka plechu $s = 2$ mm. Pro materiál 11 373.1 je střední mez pevnosti materiálu $R_m = 435$ MPa. Tudíž je hodnota střížné vůle 7-9 % tloušťky materiálu, nebo také 0,14-0,18 mm. [7]

9 NÁVRH STŘIŽNÉHO NÁSTROJE

Střížný nástroj je složen ze dvou částí. Jedna část střížného nástroje (spodní část) je pevně upnuta v spodní části lisu. Druhá část (horní část) je stopkou upnuta v pohyblivé části lisu (v mém případě v přípravku, který se upíná do pohyblivé části lisu). Každá část je složená z více desek a spojovacích materiálů (šroubů). Výkres sestavy střížného nástroje je v příloze P IV.

9.1 Spodní částí nástroje

Spodní část nástroje je upnuta v statické (nepohyblivé) části lisu. Je složena z střížnice, upínací desky, vodící desky, vodících lišt a spojovacích součástí (šroubů). Na upínací desce je upevněna střížnice s vodícími lištami a vodící deskou. Vodící deska zajišťuje správné vedení střížníků a vodící lišty správné vedení polotovaru. Desky jsou spojeny zapuštěnými šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Výkres podsestavy spodní části nástroje je v příloze P V.



Obrázek 51 – Spodní část střížného nástroje

9.1.1 Střížnice

Střížnice je upevněna k upínací desce na nepohyblivé straně lisu. Výška střížnice je vztažena k tloušťce stříhaného materiálu (v mém případě $s = 2$ mm). Výšku střížnice volím $H_1 = 35$ mm. Pro správné stříhání materiálu musí být na střížnici fazeta, výšku této fazety volím 5 mm. Úkos pro jednodušší propadávání materiálu je běžně $3 - 5^\circ$, volím 5° . Minimální šířku (a_{min}) a délku (b_{min}) střížnice určím z parametrů kroku a šířky pásu s ohledem na spojovací materiály a tvar výstřížku (v mém případě přidám na každou stranu 40 mm). [14, 15]

$$a_{min} = \check{S} + 2 * 40 = 95 + 2 * 40 = 175 \text{ mm} \quad (26)$$

$$b_{min} = K + 2 * 40 = 27,3 + 2 * 40 = 107,3 \text{ mm} \quad (27)$$

Šířku střížnice volím tedy $a = 180$ mm a délku střížnice volím $b = 130$ mm. Materiál pro střížnici volím nástrojovou ocel ČSN 19 830.4 (ČSN EN 1.3343). Jedná se o wolframovou ocel se zvýšeným obsahem vanadu. Tato ocel má dobrou odolnost proti opotřebení a vysokou houževnatost, jedná se tedy o ideální ocel pro nástroje s velkou životností pro stříhání a děrování na lisech se střední pevností okolo 900 MPa. Ocel je kalena na teplotu $1260-1290^\circ\text{C}$ do oleje a popouštěna při $560-570^\circ\text{C}$. Výkres střížnice je v příloze P VII. [25]

9.1.2 Upínací deska spodní

Upínací deska slouží u upnutí nástroje do lisu. Ve spodní upínací desce je vyrobený otvor tak aby jim mohl propadat odpad (v případě prostřížených děr) a hotový výrobek. Výšku upínací desky volím $H_2 = 25$ mm. Šířka a délka je stejná jako u střížnice. Vyrábí se z konstrukčních ocelí jako je 11 500, 11 600 nebo u větších střížných nástrojů z šedé litiny, která lépe pohlcuje rázy. Výkres upínací desky spodní je v příloze P VIII.

9.1.3 Vodící deska

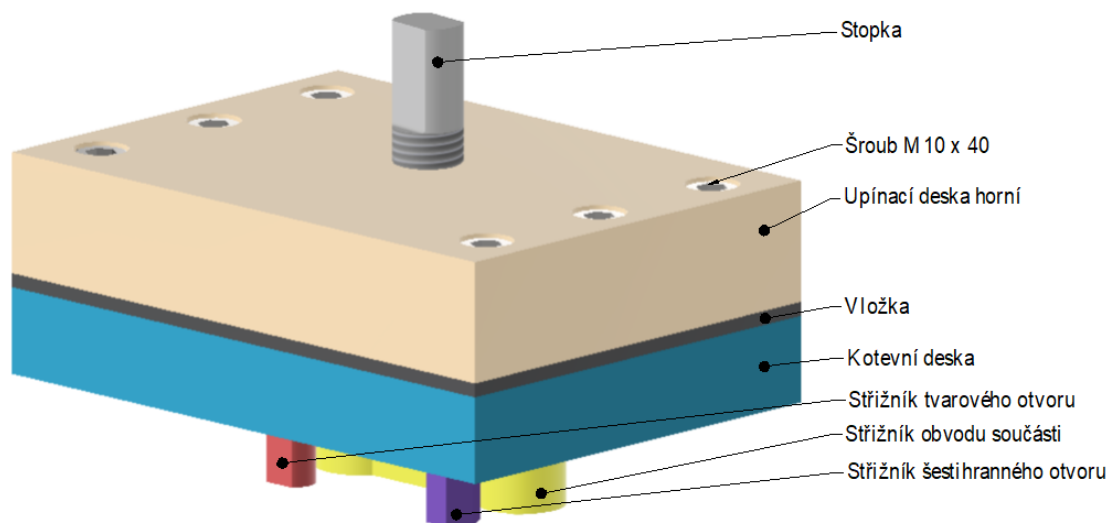
Vodící deska zajišťuje vzájemnou polohu horní části nástroje a dolní části nástroje. Vodící deska je za pomoci spojovacích materiálů pevně připevněna k střížnici. Výšku vodící desky volím $H_3 = 25$ mm. Šířka a délka je stejná jako u střížnice. Vodící deska se vyrábí z běžných konstrukčních ocelí jako je 11 600. Výkres vodící desky je v příloze P IX.

9.1.4 Vodící lišty

Vodící lišty mají za úkol omezit pohyb polotovaru (plechového pásu) ve střížném nástroji. Vodící lišty jsou konstruované s ohledem na šířku pásu polotovaru a jeho tolerance (pásky mohou být stříhány s různými tolerancemi). V závislosti na těchto rozměrech nebo opotřebení můžeme vodící lišty měnit. Výšku vodících lišt volím $H_4 = 5 \text{ mm}$. Vodící lišty se vyrábí z běžných konstrukčních ocelí jako je 11 500, 11 600 nebo z cementační oceli 12 010 pro zvýšenou otěruvzdornost. Výkres vodící lišty je v příloze P X.

9.2 Horní část nástroje

Horní část nástroje je upnuta v pohyblivé části lisu. Je složena z tvarových střížníků, upínací desky, stopky, kotevní desky, vložky a spojovacích součástí (šroubů). V kotevní desce jsou vloženy zakalené tvarové střížníky z nástrojové oceli, na nichž je vložka, na které leží upínací deska se stopkou. Desky jsou spojeny zapuštěnými šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Výkres podsestavy horní části nástroje je v příloze P VI.



Obrázek 52 – Horní část střížného nástroje

9.2.1 Kontrola střížníků

Všechny tři střížníky jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako střížnice tedy 19 830.4. Při kontrole počítám s hodnotami pro stříhaný materiál 11 373.1. Pro další výpočty bude potřeba nejprve vypočítat délky dílčích střížných hran a sílu působící na jednotlivé střížníky.

Výpočet délky střížné hrany šestihranného otvoru:

$$l_{\xi} = l_6 = 47,46 \text{ mm} \quad (28)$$

Výpočet délky střížné hrany tvarového otvoru:

$$l_T = 2 * (l_4 + l_5) = 2 * (11,00 + 9,90) = 41,80 \text{ mm} \quad (29)$$

Výpočet délky střížné hrany obvodu součásti:

$$l_O = 2 * (l_1 - l_2) + 2 * l_3 = 2 * (78,54 - 13,09) + 2 * 41,35 = 213,60 \text{ mm} \quad (30)$$

Výpočet síly střížníku pro šestihranný střížník:

$$F_{S\xi} = n * l_{\xi} * s * \tau_S = 1,3 * 47,46 * 2 * 348 = 42940 \text{ N} \quad (31)$$

Výpočet síly střížníku pro tvarový otvor:

$$F_{ST} = n * l_T * s * \tau_S = 1,3 * 41,80 * 2 * 348 = 37812 \text{ N} \quad (32)$$

Výpočet síly střížníku pro obvod součásti:

$$F_{SO} = n * l_O * s * \tau_S = 1,3 * 213,60 * 2 * 348 = 193264 \text{ N} \quad (33)$$

9.2.2 Kontrola střížníku na tlak

Nástrojová ocel 19 830.4 má dovolené napětí 900 MPa. Při kontrole vycházím ze základního vzorce pro zatížení na tlak. Pro výpočet potřebujeme průřez střížníků.

$$\sigma_{Ti} = \frac{F_{Si}}{S_i} \leq \sigma_{Tdov} [\text{MPa}] \quad (34)$$

σ_{Ti} – Napětí působící na střížník [MPa]

F_{Si} – Střížná síla působící na střížník [N]

S_i – Obsah plochy [mm²]

Výpočet obsahu plochy šestihranného otvoru:

$$S_{\xi} = \frac{\sqrt{3} * 13,7^2}{2}$$

$$S_{\xi} = 162,5 \text{ mm}^2 \quad (35)$$

Výpočet obsahu plochy tvarového otvoru:

$$S_T = \left(\frac{\pi * 14^2}{4} \right) + 2 * \left(\frac{7^2 * (90^\circ - \sin 90^\circ)}{2} \right)$$

$$S_T = 126 \text{ mm}^2 \quad (36)$$

Výpočet obsahu plochy ohraničené obvodem dílu:

$$S_O = 2 * \left(\frac{\pi * 25^2}{4} - \frac{12,5^2 * (60^\circ - \sin 60^\circ)}{2} \right) + (41,35 * 12,5)$$

$$S_O = 1470,3 \text{ mm}^2 \quad (37)$$

Napětí působící na střížník pro šestihranný otvor:

$$\sigma_{T\xi} = \frac{F_{S\xi}}{S_{\xi}} = \frac{42940}{162,5} = 264,18 \text{ MPa} \quad (38)$$

$$\sigma_{T\xi} \leq \sigma_{Tdov} \rightarrow 264,18 \text{ MPa} \leq 900 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (39)$$

Napětí působící na střížník pro tvarový otvor:

$$\sigma_{TT} = \frac{F_{ST}}{S_T} = \frac{37812}{126} = 300,17 \text{ MPa} \quad (40)$$

$$\sigma_{TT} \leq \sigma_{Tdov} \rightarrow 300,17 \text{ MPa} \leq 900 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (41)$$

Napětí působící na střížník pro obvod součásti:

$$\sigma_{TO} = \frac{F_{SO}}{S_O} = \frac{193264}{1470,3} = 131,44 \text{ MPa} \quad (42)$$

$$\sigma_{TO} \leq \sigma_{T_{dov}} \rightarrow 131,44 \text{ MPa} \leq 900 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (43)$$

9.2.3 Kontrola střížníků na vzpěr

Střížníky jsou na jedné straně pevně uloženy v kotevní desce a na druhé straně volné. Při kontrole na vzpěr počítáme s nejmenším průměrem střížníků. Pro výpočet kvadratických průřezů jednotlivých střížníků využívám funkci Inventoru Professional 2023. Modul pružnosti oceli 19 830.4 je $E = 1,8 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

$$F_{Vzi} = \frac{2 * \pi^2 * E * J_i}{l_i^2} [N] \quad (43)$$

F_{Vzi} – Síla vzpěru působící na střížník [N]

E – Modul pružnosti v tahu [MPa]

J_i – Kvadratický moment plochy střížníku [mm^4]

l_i – Volná délka střížníku [mm]

Tabulka 1 – Kvadratické momenty střížníků a volné délky střížníků

	J_i [mm^4]	l_i [mm]
$J_{\text{š}}$	4 237	30
J_{T}	2 686	30
J_{O}	1 119 657	30

Kontrola střížníku na vzpěr pro šestihranný otvor:

$$F_{Vz\text{š}} = \frac{2 * \pi^2 * E * J_{\text{š}}}{l_{\text{š}}^2} = \frac{2 * \pi^2 * 1,8 * 10^5 * 4237}{30^2} = 1,6 * 10^7 \text{ N} \quad (44)$$

$$F_{Vz\text{š}} \geq m * F_{S\text{š}} \rightarrow 1,6 * 10^7 \geq 3 * 42940 = 128820 \text{ N} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (45)$$

Kontrola střížníku na vzpěr pro tvarový otvor:

$$F_{VZT} = \frac{2 * \pi^2 * E * J_i}{l_i^2} = \frac{2 * \pi^2 * 1,8 * 10^5 * 2686}{30^2} = 1 * 10^7 N \quad (46)$$

$$F_{VZT} \geq m * F_{ST} \rightarrow 1 * 10^7 \geq 3 * 37812 = 113436 N \rightarrow VYHOVUJE \quad (47)$$

Kontrola střížníku na vzpěr pro obvod součásti:

$$F_{VZO} = \frac{2 * \pi^2 * E * J_i}{l_i^2} = \frac{2 * \pi^2 * 1,8 * 10^5 * 1119657}{30^2} = 44 * 10^8 N \quad (48)$$

$$F_{VZO} \geq m * F_{SO} \rightarrow 44 * 10^8 \geq 3 * 193264 = 579792 N \rightarrow VYHOVUJE \quad (49)$$

Všechny kontrolované střížníky vyhovují pevnostním podmínkám na tlak a jsou splněny bezpečnostní podmínky na vzpěr (střížníky mají dostatečně velký průřez). Výkres střížníku pro šestihranný otvor je v příloze P XI. Výkres střížníku pro tvarový otvor je v příloze P XII. Výkres střížníku obvodu součásti je v příloze P XIII.

9.2.4 Upínací deska horní

Upínací deska slouží k upnutí nástroje do lisu. V upínací desce je umístěna stopka, kterou horní část upneme do lisu. Výšku upínací desky volím $H_5 = 30$ mm. Šířka a délka je stejná jako u střížnice. Vyrábí se z konstrukčních ocelí jako je 11 500, 11 600 nebo u větších střížných nástrojů z šedé litiny, která lépe pohlcuje rázy. Výkres upínací desky horní je v příloze P XIV.

9.2.5 Kotevní deska

Do kotevní desky jsou zasazeny střížníky. Výšku kotevní desky volím $H_6 = 25$ mm. Šířka a délka je stejná jako u střížnice. Kotevní deska se vyrábí z konstrukční oceli 11 500, 11 600. Výkres kotevní desky je v příloze P XV.

9.2.6 Vložka

Vložka je umístěna mezi upínací deskou a deskou kotevní. Vložka je využita především z důvodu, že upínací deska je vyrobena z levnější a hlavně měkčí konstrukční oceli oproti kaleným střížníkům z nástrojové oceli. Střížníky by se tedy mohli v rámci cyklického namáhání „vtlačovat“ do upínací desky. Vložka tomuto namáhání nezabrání ale je vyrobena z nástrojové oceli a bude se tedy opotřebovávat znatelně pomaleji. Vložka je také měnitelná a je to ekonomičtější řešení než vyměňovat upínací desku. Materiál vložky volím ČSN 19 083.4 (ČSN EN 1.1730). Rozměry vložky volím stejně jako rozměry ostatních desek. Výšku vložky volím dvojnásobnou než je tloušťka stříhaného plechu ($H_7 = 4 \text{ mm}$). Šířka a délka je stejná jako u střížnice. Výkres vložky je v příloze P XVI.

9.2.7 Poloha stopky

Pro nejefektivnější stříhání je stopka umístěna v působišti střížné síly. Pro určení této polohy je třeba spočítat plochu dílčích tvarů a jejich těžiště. Stopka je našroubována do horní upínací desky závitem M20 x 2,5. Výkres stopky je v příloze P XVII.

$$x_T = \frac{\sum x_i * S_i}{\sum S_i} [\text{mm}] \quad (50)$$

$$y_T = \frac{\sum y_i * S_i}{\sum S_i} [\text{mm}] \quad (51)$$

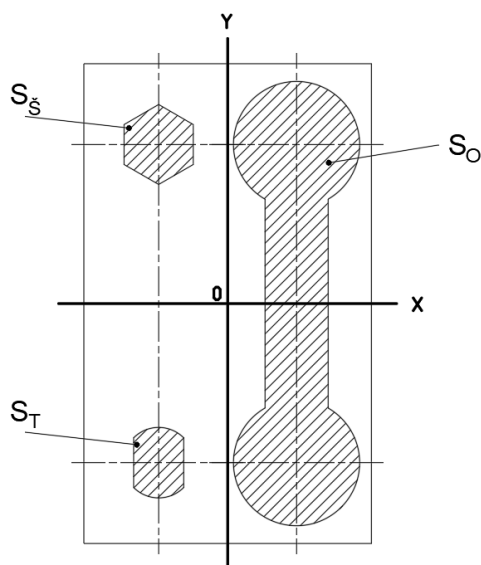
x_T – Souřadnice těžiště na ose x [mm]

x_i – Dílčí souřadnice těžiště na ose x [mm]

y_T – Souřadnice těžiště na ose y [mm]

y_i – Dílčí souřadnice těžiště na ose y [mm]

S_i – Obsah dílčí ploch [mm]



Obrázek 53 – Výpočet souřadnic stopky

Výpočet celkového obsahu plochy:

$$\sum S_i = S_{\text{š}} + S_T + S_O [\text{mm}^2]$$

$$\sum S_i = 162,5 + 126 + 1470,3$$

$$\sum S_i = 1758,8 \text{ mm}^2 \quad (52)$$

Tabulka 2 – Tabulka obsahu dílčích ploch a jejich souřadnic jejich těžišť

	$S_i [\text{mm}^2]$	$x_i [\text{mm}]$	$y_i [\text{mm}]$
$S_{\text{š}}$	162,5	- 13,65	31,5
S_T	126	-13,65	-31,5
S_O	1470,3	13,65	0

Výpočet souřadnice stopky:

$$x_T = \frac{\sum x_i * S_i}{\sum S_i} [mm]$$
$$x_T = \frac{162,5 * (-13,65) + 126 * (-13,65) * 1470,3 * 13,65}{1758,8}$$
$$x_T = 9,2 \text{ mm} \quad (53)$$

$$y_T = \frac{\sum y_i * S_i}{\sum S_i} [mm]$$
$$y_T = \frac{162,5 * 31,5 + 126 * (-31,5) * 1470,3 * 0}{1758,8}$$
$$y_T = 0,7 \text{ mm} \quad (54)$$

Souřadnice stopky vzhledem k mnou zvoleném souřadném systému jsou $x_T = 9,2 \text{ mm}$ a $y_T = 0,7 \text{ mm}$.

10 DISKUZE VÝSLEDKU ŘEŠENÍ

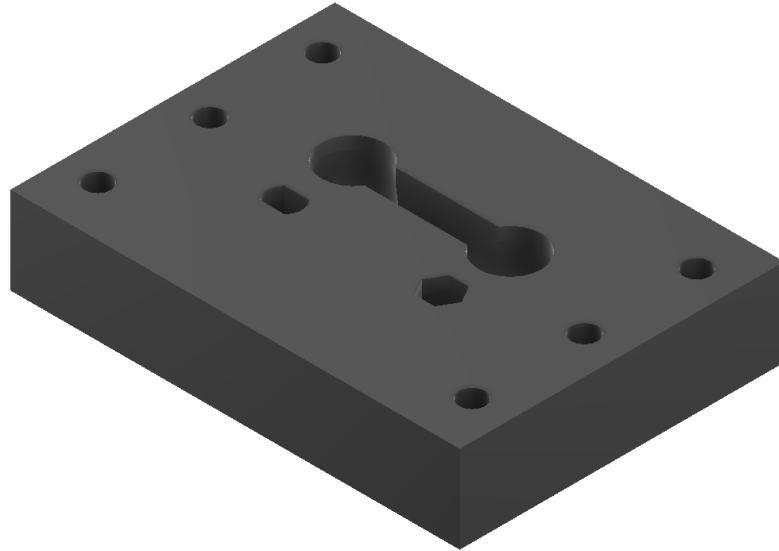
Pro tuto bakalářskou práci jsem zvolil výstřížek tvaru klíče, který je běžně využívaný pro utahování kovových kolíků na sportovní obuv. Jako materiál jsem zvolil ocel ČSN 11373.1 (dle EN 1.0036). Jedná se o nelegovanou ocel obvyklé jakosti. Návrh výstřížku je analyzován za pomoci FEM modelu za účelem zjištění oblastí nejvíce namáhaných při běžných operacích s vystřihovaným dílem. V rámci sil, které na tento díl působí při běžném zatížení je díl vyhovující. Dále je navrhnut nástřihový plán, kde jsou určeny přídavky na délku můstku $E = 2,3$ mm a velikost okraje $F = 7$ mm. Následně je vypočítána šířka pásu $\check{S} = 95$ mm a krok $K = 27,3$ mm. Tento nástřihový plán má efektivitu využití materiálu pro jeden pás plechu o rozměrech 95×1000 mm $k_{mp} = 44,8\%$. Efektivita této střížné operace je relativně nízká. Střihání by se dalo zefektivnit jiným uspořádáním nástřihového plánu nebo změnou geometrie samotného stříhaného dílu. Pro další postup v práci bylo třeba vypočítat výpočet střížné hrany. Celkovou střížnou hranu vypočítám součtem dílčích střížných hran. V neposlední řadě jsem spočítal střížnou sílu a určil velikost střížné vůle, tak abych co nejvíce optimalizoval střížné podmínky.

10.1 Konstrukční model střížného nástroje

Konstrukční model střížného nástroje je zhotoven ve 3D programu Autodesk Inventor Professional 2023. Jednotlivé části střížného nástroje jsou vypsány v kusovnících daných podsestav. Kusovník spodní části nástroje je v příloze P V a kusovník horní části nástroje je v příloze P VI. Spodní část nástroje se skládá z střížnice, upínací desky spodní, vodící desky a vodících lišt. Tyto desky jsou spojeny zapuštěnými šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M10 x 65 (ISO 4762). Horní část střížného nástroje se skládá z tří střížníků, upínací desky horní, kotevní desky, vložky a upínací stopky. Tyto desky jsou spojeny zapuštěnými šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M10 x 40 (ISO 4762).

10.1.1 Střížnice

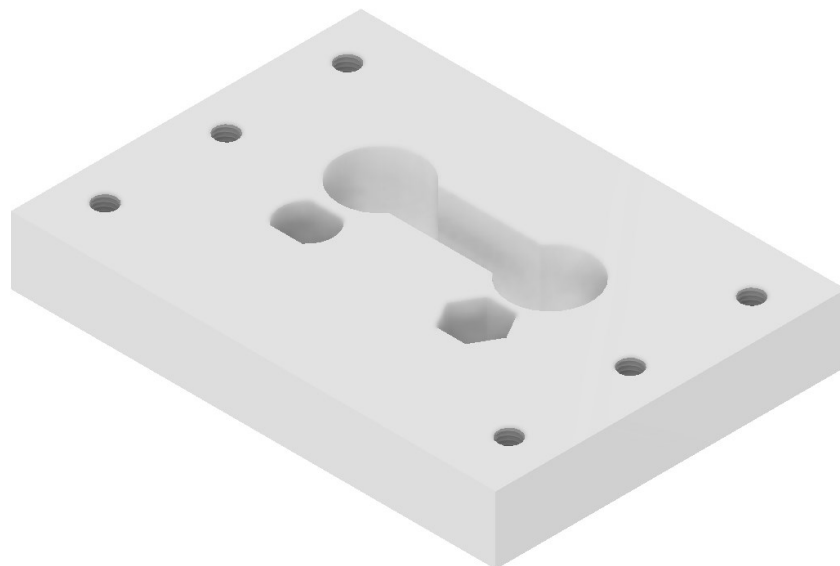
Materiál pro střížnici volím nástrojovou ocel ČSN 19 830.4 (ČSN EN 1.3343).



Obrázek 54 – Střížnice

10.1.2 Upínací deska spodní

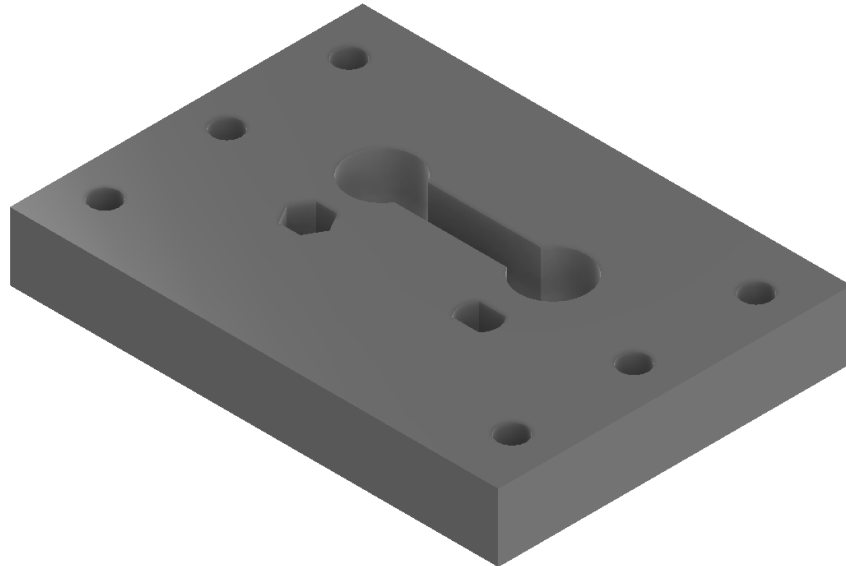
Upínací deska slouží u upnutí nástroje do lisu.



Obrázek 55 – Upínací deska spodní

10.1.3 Vodící deska

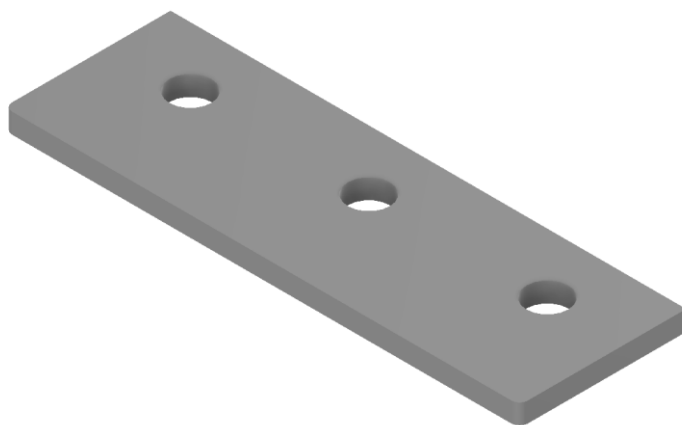
Vodící deska zajišťuje vzájemnou polohu horní části nástroje a dolní části nástroje a přesné navedení střížníků.



Obrázek 56 – Vodící deska

10.1.4 Vodící lišta

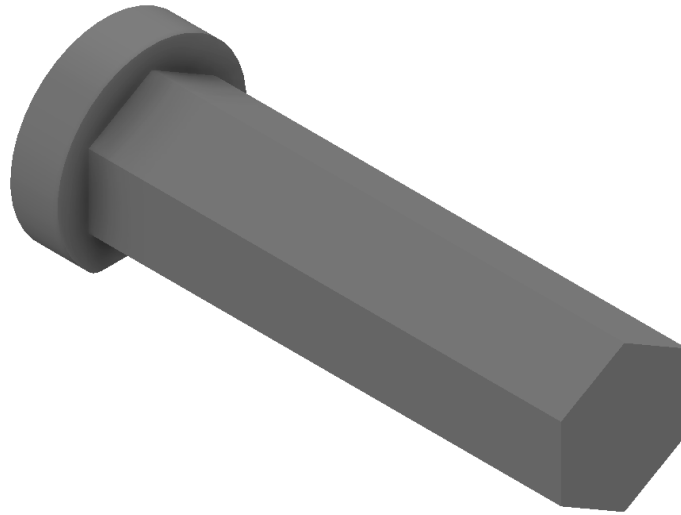
Vodící lišty omezují pohyb polotovaru (plechového pásu) ve střížném nástroji.



Obrázek 57 – Vodící lišta

10.1.5 Střížník šestihranného otvoru

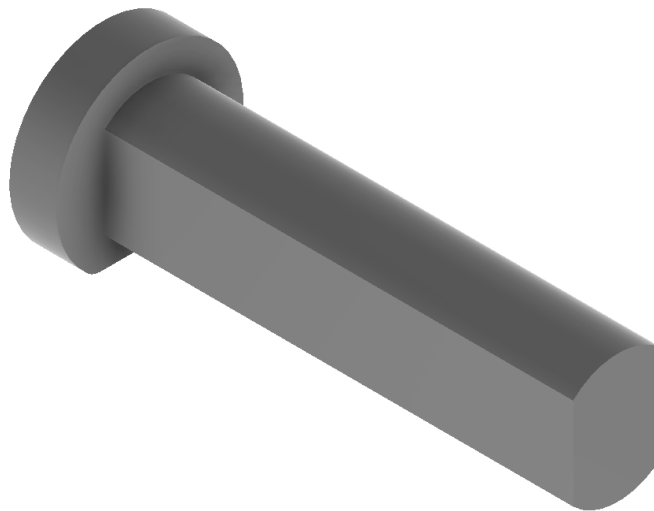
Střížník pro děrování šestihranného otvoru.



Obrázek 58 – Střížník šestihranného otvoru

10.1.6 Střížník tvarového otvoru

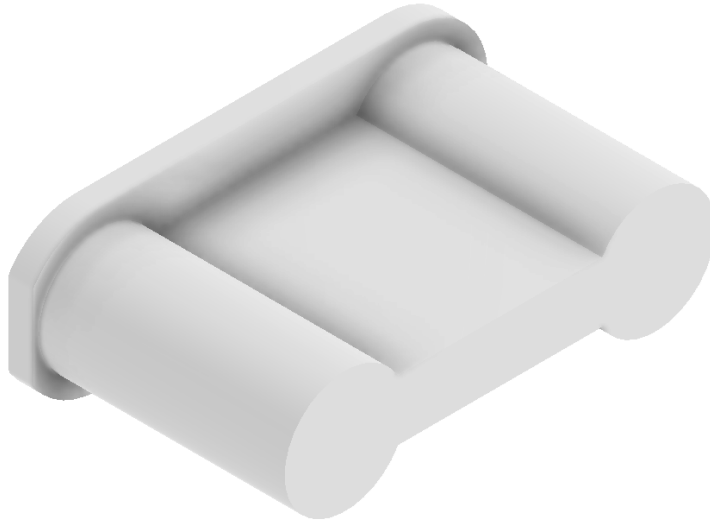
Střížník pro děrování tvarového otvoru.



Obrázek 59 – Střížník tvarového otvoru

10.1.7 Střížník obvodu součásti

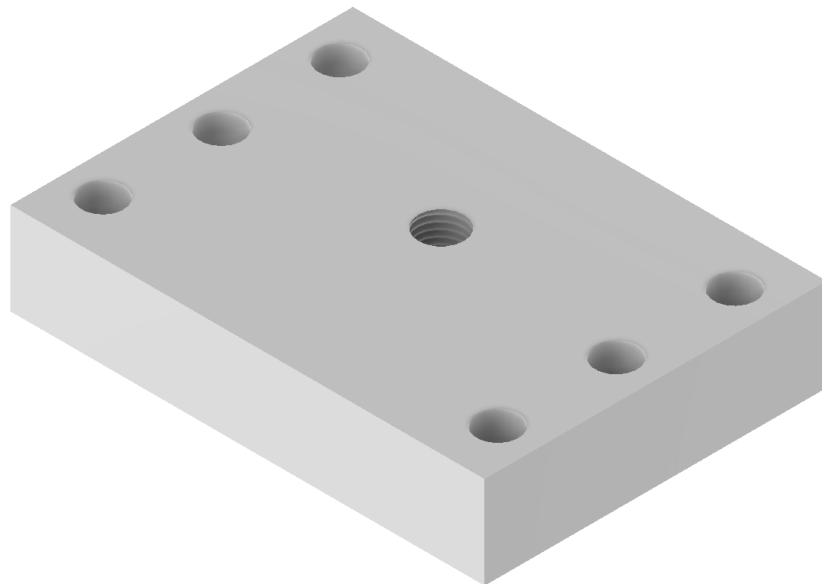
Střížník pro vystřížení dílu z polotovaru.



Obrázek 60 – Střížník obvodu součásti

10.1.8 Upínací deska horní

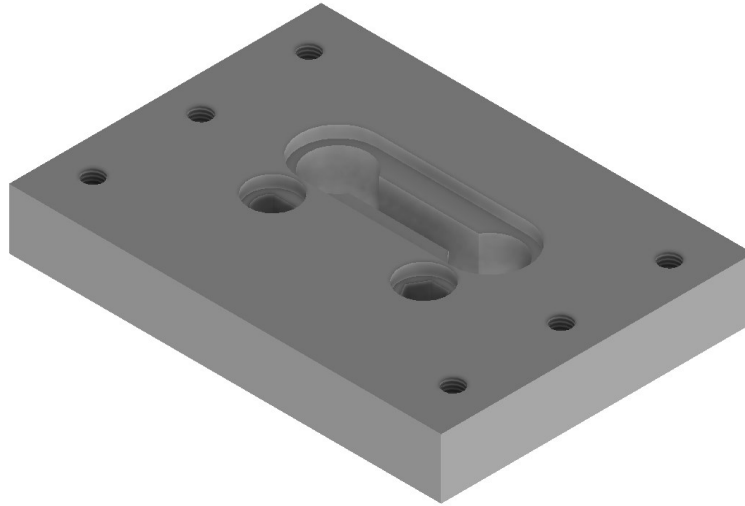
Upínací deska slouží u upnutí nástroje do lisu za pomoci stopky.



Obrázek 61 – Upínací deska horní

10.1.9 Kotevní deska

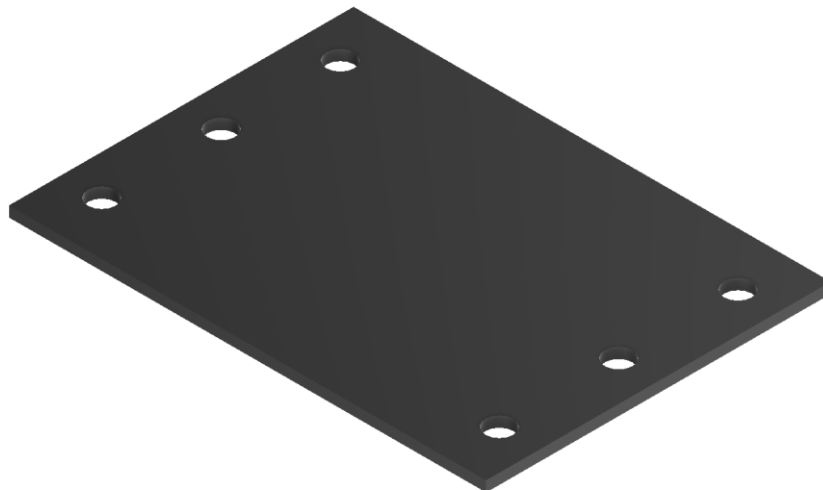
Do kotevní desky jsou zasazeny střížníky.



Obrázek 62 – Kotevní deska

10.1.10 Vložka

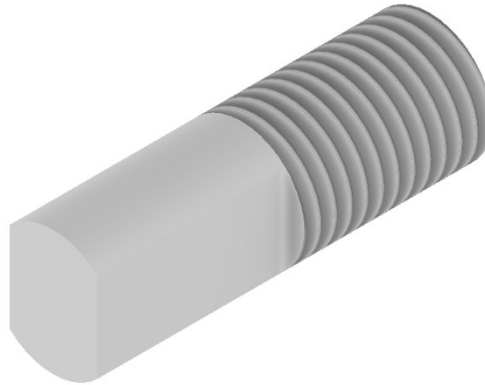
Vložka je umístěna mezi upínací deskou a deskou kotevní. Vložka je využita především aby se střížníky nevytlačili do upínací desky.



Obrázek 63 – Vložka

10.1.11 Stopka

Stopka je zašroubována do horní upínací desky a uplá do lisu.



Obrázek 64 - Stopka

10.1.12 Spojovací materiál

Šrouby použité pro montáž postupového střížného nástroje dohromady.



Obrázek 66 – Šroub M10x40



Obrázek 65 – Šroub M10x65

ZÁVĚR

Při tvorbě této bakalářské práce jsem se zaměřil na konstrukci postupového střížného nástroje pro stříhání z plechu. Využil jsem znalosti z řady předmětů, které se vyučují na technologické fakultě. Byly to znalosti především ze strojírenské technologie I, II, které jsem aplikoval zejména v teoretické části práce. U návrhu a kontroly výstřížku aplikace výpočetních metod jsem použil tvorbu a vyhodnocení FEM modelů. Znalosti zejména z předmětů mechanické chování těles a základy pružnosti a pevnosti jsem implementoval při kontrole střížníků V neposlední řadě jsem použil znalosti práce s programem Autodesk Inventor Professional při tvorbě konstrukčního modelu postupového střížného nástroje.

Teoretická část této práce se zabývá tvářením materiálu dále dělené dle teploty, geometrických charakteristik operace a vlivu působení vnější síly. Následuje dělení materiálu různými metodami, stříhání materiálu členěné podle druhu operace a typu nástroje. Poslední část teoretické studie se věnuje postupovému střížnému nástroji.

Praktická část této bakalářské práce se soustředí na konstrukci postupového střížného nástroje pro zvolený díl. Návrh dílu je podroben FEM analýze, dále je zvolen nástřihový plán a vypočítán koeficient využití materiálu pro daný nástřihový plán. Je vypočítána střížná hrana, střížná síla a určena střížná vůle pro daný materiál. Poslední část je zaměřena na konstrukci postupového střížného nástroje. Na úplném závěru je praktická část shrnuta v kapitole diskuze výsledku řešení.

Kapitola konstrukční model střížného nástroje obsahuje obrázky jednotlivých částí konstruovaného střížného nástroje. Model konstruovaného střížného nástroje je v přílohách PI – PIII. Výkresová dokumentace je v přílohách PIV až PXVII ve formátu PDF.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr, 2003. *Technologie tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
- [2] PTÁČEK, Luděk, 2001. *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 505 s. ISBN 8072041932.
- [3] PTÁČEK, Luděk, 2002. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 392 s. ISBN 8072042483.
- [4] *Technologie tváření* [online], 2006. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
- [5] DVOŘÁK, Milan, 2004. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., V Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 238 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021426837.
- [6] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ, 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 9788021447479.
- [7] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK, 2005. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 103 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021428813.
- [8] SADÍLEK, Marek, 2016. *Nekonvenční metody obrábění I: elektroerozivní, elektrochemické a chemické obrábění*. 2016. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-3943-1.
- [9] SADÍLEK, Marek, 2016. *Nekonvenční metoda obrábění II: obrábění laserem, plazmou, ultrazvukem, elektronovým, iontovým a vodním paprskem*. 2016. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-3944-8.
- [10] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS, 2014. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 173 s. ISBN 9788074544712.
- [11] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL, 2005. *Strojírenská technologie 3.: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, 1. díl, 256 s., ISBN 8071833371.
- [12] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL, 2005. *Strojírenská technologie 3.: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Vyd. 2. Praha: Scientia. ISBN 8071833363.
- [13] BOLJANOVIC, Vukota, 2010. *Metal Shaping Processes: Casting and molding, particulate processing, deformation processes and metal removal*. 2010. Knovel: Industrial Press. ISBN 978-0-8311-3380-1. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPCMPP1/metal-shaping-processes/metal-shaping-processes>

- [14] BOLJANOVIC, Vukota a J.R. PAQUIN, 2006. *Die Design Fundamentals* [online]. Vyd. 3. :Industrial Press [cit. 2022-10-09]. ISBN 978-0-8311-3119-7. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDDFE0001/die-design-fundamentals/die-design-fundamentals>
- [15] BOLJANOVIC, Vukota, 2014. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design* [online]. Vyd. 2. :Industrial Press [cit. 2022-10-09]. ISBN 978-0-8311-3492-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSMFPDDEE/sheet-metal-forming-processes/sheet-metal-forming-processes>
- [16] GRZESIK, Wit, 2008. *Advanced Machining Processes of Metallic Materials - Theory, Modelling and Applications* [online]. :Elsevier [cit. 2022-10-09]. ISBN 978-0-08-044534-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAMPMMTM1/advanced-machining-processes/advanced-machining-processes>
- [17] ATKINS, Tony, 2009. *Science and Engineering of Cutting—The Mechanics and Processes of Separating, Scratching and Puncturing Biomaterials, Metals and Non-Metals* [online]. :Elsevier [cit. 2022-10-09]. ISBN 978-8-7506-8531-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSECTMPS5/science-engineering-cutting/science-engineering-cutting>
- [18] TAYLAN TEKKAYA, Altan a Erman A., 2012. *Sheet Metal Forming - Fundamentals* [online]. : ASM International [cit. 2022-10-09]. ISBN 978-1-61503-842-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSMFF0001/sheet-metal-forming-fundamentals/sheet-metal-forming-fundamentals>
- [19] TAYLAN TEKKAYA, Altan a Erman A., 2012. *Sheet Metal Forming - Processes and Applications* [online]. : ASM International [cit. 2022-10-09]. ISBN 978-1-61503-844-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSMFPA001/sheet-metal-forming-processes-2/sheet-metal-forming-processes-2>
- [20] OBERG, Erik, Franklin JONES a Horton HOLBROOK, 2020. *Machinery's Handbook*. Vyd. 31. Knovel: Industrial Press. ISBN 978-0-8311-3731-1. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMHE00033/machinerys-handbook-31st/machinerys-handbook-31st>
- [21] VALENDIN, Miroslav, 2009. *Vybrané statě z mechaniky: statika*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 179 s. ISBN 9788073188498.
- [22] ŘASA, Jaroslav, Václav HANĚK a Jindřich KAFKA, 2003. *Strojírenská technologie: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel: zásady montáže*. Praha: Scientia, 4., 505 s. ISBN 8071832847.
- [23] NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER, 1980. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 213 s. Dostupné také z: <https://digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:c1689b9c-e5c7-1bbd-5c35-bcac39531d03>

- [24] Materiálový list: Ocel 11 373. *Techportal.cz* [online]. [cit. 2023-03-09].
Dostupné z:
https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT_peBZxsdE175N8MGgz73w
- [25] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA, 2011. *Strojnické tabulky*. 5. vyd. Praha: Albra. ISBN 978-80-7361-081-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam	Jednotka
A	Délka výstřížku	mm
B	Šířka výstřížku	mm
K	Délka kroku	mm
E	Délka můstku	mm
F/2	Velikost okraje	mm
Š	Šířka pásu	mm
S ₁ , S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₅ , S ₆	Dílní plochy výstřížku	mm
s _v	Plocha jednoho výstřížku	mm ²
n _p	Počet výstřížků	-
S _v	Plocha všech výstřížků	mm ²
S _p	Plocha pásu	mm ²
k _{mp}	Součinitel využití materiálu pásu	%
k _{mt}	Součinitel využití materiálu tabule	%
ρ _o	Hustota oceli	kg/m ³
V _t	Objem tabule	m ³
m _t	Hmotnost tabule	kg
m _o	Hmotnost odpadu	kg
F _S	Střížná síla	N
n	Koeficient zohledňující opotřebení nástroje	-
S	Plocha stříhu	mm ²
τ _s	Střížný odpor	MPa
R _m	Mez pevnosti materiálu	MPa
l	Délka střížné hrany	mm
s	Tloušťka stříhaného materiálu	mm

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$	Dílcí střižné hrany	mm
a_{\min}	Minimální šířka střižnice	mm
b_{\min}	Minimální délka střižnice	mm
$l_{\text{š}}$	Délka střižné hrany šestihranného otvoru	mm
l_{T}	Délka střižné hrany tvarového otvoru	mm
l_{O}	Délka střižné hrany obvodu součásti	mm
$F_{\text{Sš}}$	Síla střižníku pro šestihranný otvor	N
F_{ST}	Síla střižníku pro tvarový otvor	N
F_{SO}	Síla střižníku pro obvod součásti	N
σ_{Ti}	Napětí působící na střižník	MPa
F_{si}	Střižná síla působící na střižník	N
S_{i}	Obsah plochy	mm ²
$S_{\text{š}}$	Obsah plochy šestihranného otvoru	mm ²
S_{T}	Obsah plochy tvarového otvoru	mm ²
S_{O}	Obsah plochy ohraničené obvodem dílu	mm ²
$\sigma_{\text{Tš}}$	Napětí působící na střižník pro šestihranný otvor	MPa
σ_{TT}	Napětí působící na střižník pro tvarový otvor	MPa
σ_{TO}	Napětí působící na střižník pro obvod součásti	MPa
σ_{Tdov}	Dovolené napětí působící na střižník	MPa
F_{Vzi}	Síla vzpěru působící na střižník	N
E	Modul pružnosti v tahu	MPa
J_{i}	Kvadratický moment plochy střižníku	mm ⁴
l_{i}	Volná délka střižníku	mm
$F_{\text{VZš}}$	Síla vzpěru působící na střižník šestihranného otvoru	N
F_{VZT}	Síla vzpěru působící na střižník tvarového otvoru	N
F_{VZO}	Síla vzpěru působící na střižník obvodu součásti	N

$J_{\text{š}}$	Kvadratický moment plochy střížníku šestihhranného otvoru	mm^4
J_{T}	Kvadratický moment plochy střížníku tvarového otvoru	mm^4
J_{O}	Kvadratický moment plochy střížníku obvodu součásti	mm^4
$l_{\text{š}}$	Volná délka střížníku šestihhranného otvoru	mm
l_{T}	Volná délka střížníku tvarového otvoru	mm
l_{O}	Volná délka střížníku obvodu součásti	mm
m	Bezpečnostní koeficient na vzpěr pro kalenou ocel	-
H_1	Výška střížnice	mm
H_2	Výška upínací desky spodní	mm
H_3	Výška vodící desky	mm
H_4	Výška vodící lišty	mm
H_5	Výška upínací desky horní	mm
H_6	Výška kotevní desky	mm
H_7	Výška vložky	mm
x_{T}	Souřadnice těžiště na ose x	mm
x_i	Dílčí souřadnice těžiště na ose x	mm
y_{T}	Souřadnice těžiště na ose y	mm
y_i	Dílčí souřadnice těžiště na ose y	mm

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Oblast tvářecích teplot [1]	12
Obrázek 2 – Deformace zrn po tváření za studena [1]	13
Obrázek 3 – Dělení materiálu řezáním [12].....	17
Obrázek 4 – Dělení materiálu upichovacím nožem na soustruhu [12].....	17
Obrázek 5 – Schéma zařízení pro dělení materiálu vodním paprskem [10].....	18
Obrázek 6 – Řezání materiálu acetylen-kyslíkovým plamenem [11].....	19
Obrázek 7 – Plasmové hořáky pro řezání plasmou [11].....	20
Obrázek 8 – Laserové pracoviště pro dělení materiálu [10].....	21
Obrázek 9 – Zařízení pro dělení materiálu elektronovým paprskem [11].....	22
Obrázek 10 – Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou [10]	23
Obrázek 11 – Elektrochemické dělení materiálu (drátovou elektrodou) [11]	23
Obrázek 12 – Přehled vybraných materiálů pro stříhání [6].....	24
Obrázek 13 – Prosté stříhání [7]	25
Obrázek 14 – Děrování [7]	25
Obrázek 15 – Vystříhování [7]	25
Obrázek 16 – Ostříhování [7]	26
Obrázek 17 – Přistříhování [7].....	26
Obrázek 18 – Nastříhování [7].....	26
Obrázek 19 – Prostříhování [7].....	27
Obrázek 20 – První fáze stříhání: oblast pružné deformace [7]	27
Obrázek 21 – Druhá fáze stříhání: oblast plastické deformace [7].....	28
Obrázek 22 – Třetí fáze stříhání: oblast oddělení materiálu [7]	28
Obrázek 23 – Stříhání rovnoběžnými noži [7].....	29
Obrázek 24 – Stříhání skloněnými (šikmými) noži [7]	29
Obrázek 25 – Stříhání pásů rotačními (kotoučovými) noži [7]	30
Obrázek 26 – Stříhání tvarovými noži [1]	30
Obrázek 27 – Stříhání s tlačnou hranou [6]	31
Obrázek 28 – Stříhání se zaoblenou hranou [6].....	32
Obrázek 29 – Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem [6].....	32
Obrázek 30 – Postupové stříhadlo [1].....	33
Obrázek 32 – Sloučené stříhadlo v horní úvrati [1].....	33
Obrázek 31 – Sloučené stříhadlo v dolní úvrati [1].....	33
Obrázek 33 – Příklad nástřihového plánu [7]	34
Obrázek 34 – Určení těžiště za pomoci početní metody [23].....	36

Obrázek 35 – Určení těžiště za pomoci grafické metody [23]	37
Obrázek 36 – Rozměry výstřížku	40
Obrázek 37 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v šestihranném otvoru	41
Obrázek 38 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v šestihranném otvoru.....	41
Obrázek 39 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v šestihranném otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť	42
Obrázek 40 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v šestihranném otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť	42
Obrázek 41 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru.....	43
Obrázek 42 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru.....	43
Obrázek 43 – Napětí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť	44
Obrázek 44 – Posunutí pro FEM simulaci pro upnutí v tvarovém otvoru po uplatnění adaptability na FEM síť	44
Obrázek 45 – Nástříhový plán	45
Obrázek 46 – Digram pro volbu můstku a okrajů pro přímý stříh	46
Obrázek 47 – Využití materiálu.....	47
Obrázek 48 – Plocha výstřížku	48
Obrázek 49 – Délka střížných hran.....	51
Obrázek 50 – Střížná vůle kovových materiálů [7]	53
Obrázek 51 – Spodní část střížného nástroje	54
Obrázek 52 – Horní část střížného nástroje	56
Obrázek 53 – Výpočet souřadnic stopky	62
Obrázek 54 – Střížnice.....	65
Obrázek 55 – Upínací deska spodní	65
Obrázek 56 – Vodící deska	66
Obrázek 57 – Vodící lišta	66
Obrázek 58 – Střížník šestihranného otvoru.....	67
Obrázek 59 – Střížník tvarového otvoru.....	67
Obrázek 60 – Střížník obvodu součásti	68
Obrázek 61 – Upínací deska horní.....	68
Obrázek 62 – Kotevní deska	69
Obrázek 63 – Vložka	69
Obrázek 64 - Stopka	70
Obrázek 65 – Šroub M10x40.....	70
Obrázek 66 – Šroub M10x65.....	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Kvadratické momenty střížníků a volné délky střížníků	59
Tabulka 2 – Tabulka obsahu dílčích ploch a jejich souřadnic jejich těžišť	62

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I: Model sestavy střížného nástroje (ve formátu IAM)
- Příloha P II: Model podsestavy spodní části střížného nástroje (ve formátu IAM)
- Příloha P III: Model podsestavy horní části střížného nástroje (ve formátu IAM)
- Příloha P IV: Výkres sestavy střížného nástroje (ve formátu PDF)
- Příloha P V: Výkres podsestavy spodní části střížného nástroje (ve formátu PDF)
- Příloha P VI: Výkres podsestavy horní části střížného nástroje (ve formátu PDF)
- Příloha P VII: Výkres střížnice (ve formátu PDF)
- Příloha P VIII: Výkres upínací desky spodní (ve formátu PDF)
- Příloha P IX: Výkres vodící desky (ve formátu PDF)
- Příloha P X: Výkres vodící lišty (ve formátu PDF)
- Příloha P XI: Výkres střížníku pro šestihranný otvor (ve formátu PDF)
- Příloha P XII: Výkres střížníku pro tvarový otvor (ve formátu PDF)
- Příloha P XIII: Výkres střížníku obvodu součásti (ve formátu PDF)
- Příloha P XIV: Výkres upínací desky horní (ve formátu PDF)
- Příloha P XV: Výkres kotevní desky (ve formátu PDF)
- Příloha P XVI: Výkres vložky (ve formátu PDF)
- Příloha P XVII: Výkres stopky (ve formátu PDF)
- Příloha P XVIII: Výkres výstřížku (ve formátu PDF)
- Příloha P XIX: Materiálový list oceli ČSN 11 373

PŘÍLOHA P XIX:

ČSN 41 1373 STN 41 1373		Nelegovaná ocel obvyklých vlastností vhodná ke svařování pro ocelové konstrukce		11 373 Značka			
Chemické složení [hm. %]							
C	P	S	N				
max 0,17	0,045	max 0,045	max 0,007				
Dovolené úchytky chemického složení hotového výrobku							
±0,04	±0,010	±0,010	±0,002				
Polotovary							
[1] tyče válcované za tepla		[8] tyče tažené za studena					
[2] tvarové tyče válcované za tepla		[9] tenké plechy válcované za studena					
[3] dráty válcované za tepla		[10] pásy a pruhy válcované za studena					
[4] tlusté plechy válcované za tepla		[11] pásy podélně dělené válcované za studena					
[5] široká ocel válcovaná za tepla		[12] duté profily tažené za studena					
[6] tenké plechy válcované za tepla		[13] široké ohybané profily tažené za studena					
[7] pásy válcované za tepla		[14] lenkostěné profily ocelové tažené za studena					
Mechanické vlastnosti							
Polotovary	[1] [2] [3]		[4]		[5]		
Rozměr t, d [mm]	≤ 16	16-40	40-100	3-16	16-40	≤ 16	16-40
Stav	.0		.0 nebo .1		.0		
Mez kluzu R _{0,2} [MPa] min	235	225	205	235	225	235	225
Mez pevnosti R _m [MPa]	340-470		340-470		340-470		
tažnost A ₅ [%] podél min	26		25	24		26	
Nárazová práce KV [J] min	27		27		27		
Modul pružnosti E [GPa]	206						
Polotovary	[6]				[9]		
Rozměr t, d [mm]	1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	0,5-2,0		
Stav	.1				.2		
Mez kluzu R _{0,2} [MPa] min	235				220		
Mez pevnosti R _m [MPa]	360-510				360-470		
tažnost A ₅₀ [%] napříč min	16	17	18	19	20		
Polotovary	[7]						
Rozměr t, d [mm]	≤ 2	2-2,5	2,5-3	> 3	[11]	[13]	
Stav	.0				.21	.2	
Mez kluzu R _{0,2} [MPa] min	235				220		
Mez pevnosti R _m [MPa]	360-510		340-470		360-470	340-470	
tažnost A ₅₀ [%] min podél	19	20	21	-	20	20	
tažnost A ₅ [%] min podél	-	-	-	26	-	-	
Nárazová práce KV5 [J] min	-	-	-	13,5	-	-	
Polotovary	[8]						
Rozměr t, d [mm]	≤ 5	5-10	10-16	16-25	25-40	> 40	
Stav	.0						
Mez kluzu R _{0,2} nebo R _{0,01} [MPa] min	410	375	335		315	295	
Mez pevnosti R _m [MPa] min	460	430	390		380	370	
tažnost A ₅ [%] min podél	7	8					
Tvrdost HB max	-	223	211	206	202	199	
Polotovary	[8]						
Rozměr t, d [mm]	≤ 5	5-16	16-40	> 40			
Stav	.2						
Mez kluzu R _{0,2} [MPa] min	225	195					
Mez pevnosti R _m [MPa]	340-470						
tažnost A ₅ [%] min podél	27	24			23		
Kontrakce Z [%] min	-	50	48	45			
Polotovary	[10]						
Rozměr t, d [mm]	-						
Stav	.20	.21	.22	.23	.24	.25	
Mez kluzu R _{0,2} [MPa] min	155	195	-				
Mez pevnosti R _m [MPa]	max 440	max 450	325-490	390-540	490-640	min 590	
tažnost A ₅₀ [%] min podél	24	20	16	-			
Polotovary	[12]			[14]			
Rozměr t, d [mm]	14-152 ¹⁾			-			
Stav	.0	.1		.0			
Mez kluzu R _{0,2} [MPa] min	250	220		-			
Mez pevnosti R _m [MPa]	min 370	min 350		325-685			
tažnost A ₅₀ [%] min podél	7	20		8-15 ¹⁾			