

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2023

**JAN
HOSPODKA**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hospodka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **474817**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh nástroje pro výrobu krytu zámku ocelových dveřních zárubní

Název diplomové práce anglicky:

Design of a forming tool for the production of a steel door frame lock cover

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznámení s problematikou konstrukce lisovacích nástrojů
- 2) Charakteristika vytípaného dílu
- 3) Rozbor postupu lisování, nástřihový plán
- 4) Návrh konstrukčního řešení nástroje
- 5) Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

ASM Handbook Volume 14B: Metalworking: Sheet Forming
Sheet Metal Forming Processes and Die Design, Vukota Bojanovic
Tvářecí nástroje, Kotouč a kol.
Další literatura na doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Michal Valeš ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

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

Datum zadání diplomové práce: **28.10.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **16.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.01.2023**

Ing. Michal Valeš
podpis vedoucí(ho) práce

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně, s výjimkou poskytnutých konzultací s vedoucími práce Ing. Michalem Valešem a Ing. Františkem Tatíčkem, Ph.D.. K vypracování jsem použil materiály, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Jan Hospodka

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Františku Tatíčkoví Ph.D. a panu Ing. Michalu Valešovi za ochotu, vstřícnost a přínosné rady během vypracování této diplomové práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za celoživotní podporu nejen ve studiu.

Anotace

Práce se zabývá problematikou navrhování lisovacího nástroje. V úvodní části práce je popsána problematika plošného tváření se zaměřením na technologie stříhání, ohýbání a hlubokého tažení. Dále jsou popsány základní principy návrhu výlisku z hlediska využití materiálu, návrhu lisovacího postupu. V práci jsou popsány základní části, ze kterých se lisovací nástroje skládají.

V praktické části práce je popsán analyzovaný díl, kterým je výlisek krytu zámkové části dveřních zárubní. Pro tento díl jsou navrženy kroky lisovacího postupu, dále je navržen polotovar, ověřeny velikosti tvářecích sil a další nezbytné informace pro návrh nástroje. Na základě těchto informací je navrženo konstrukční řešení lisovacího nástroje.

Klíčová slova

Stříhání, tažení, konstrukce lisovacího nástroje, technologický postup

Anotation

The thesis deals with the design of a pressing tool. In the introductory part of the work, the issue of flat forming is described, with a focus on shearing, bending and deep drawing technologies. Furthermore, the basic principles of designing a die pressing are described in terms of material use, design of the pressing procedure. The work describes the basic parts that make up the pressing tools.

In the practical part of the thesis, the analyzed part is described, which is the pressing of the cover of the locking part of the door frames. For this part, the steps of the pressing process are designed, the semi-finished product is also designed, the sizes of the forming forces and other necessary information for the design of the tool are verified. Based on this information, a design solution for the pressing tool is proposed.

Key words

Shearing, drawing, design of a pressing tool, technological process

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Teorie tváření.....	10
2.1. Úvod do tváření.....	10
2.2. Základní principy tváření.....	10
2.2.1. Plastická deformace.....	10
2.3. Rozdělení tváření.....	11
2.4. Tvářitelnost.....	12
3. Vybrané technologie tváření.....	13
3.1. Technologie ohýbání.....	13
3.1.1. Průběh ohýbání.....	13
3.1.2. Minimální poloměr ohybu.....	15
3.1.3. Maximální poloměr ohybu.....	16
3.1.4. Odpružení.....	17
3.1.5. Ohybová síla a práce.....	18
3.2. Technologie tažení.....	19
3.2.1. Součinitel tažení.....	20
3.3. Technologie stříhání.....	21
3.3.1. Střížná síla a práce.....	22
3.3.2. Těžiště sil.....	23
3.3.3. Střížná vůle.....	25
3.3.4. Kvalita a přesnost výstřížků.....	27
3.4. Konstrukce tvářecích nástrojů.....	28
3.5. Materiály nástrojů.....	30
3.6. Technologičnost konstrukce.....	31
3.7. Technologický postup.....	32
3.7.1. Stanovení velikosti polotovaru.....	32

3.7.2. Nástřihový plán.....	33
4. Návrh výroby výlisku	35
4.1. O firmě	35
4.2. Popis dílu.....	35
4.3. Technologický postup	36
4.4. Nástřihový plán	37
4.5. Určení střížných a tažných sil	39
4.6. Určení střížné vůle	41
4.7. Dimenzování střížníků	42
4.8. Ověření proveditelnosti	44
4.9. Návrh nástroje	48
4.10. Volba stroje	51
4.11. Komponenty nástroje.....	53
5. Závěr	56

1. Úvod

Pro výrobu výlisku je nutné navrhnout lisovací nástroj. Jeho návrh je závislý na řadě faktorů, mezi které patří sériovost, materiálová jakost a její tloušťka, ze které je uvažována výroba výlisku. Dále má vliv na návrh nástroje velikost dílu, jeho tvarová složitost, což bude zásadním způsobem ovlivňovat počet lisovacích kroků a také vlastní velikost nástroje.

Řešeným dílem je kryt zámkové části dveřních zárubní. Jedná se o díl, který není mechanicky namáhán a jeho funkcí je zabránění vniknutí zadržovací hmotě, jenž je použita při montáži, do prostoru, který je vyhrazen pro vyjetí střelky a zámkové závory. Uvažovaná montáž do dveřní zárubně je tedy fixace formou například bodového svařování. Protože díl plní svoji funkci pouze v okamžiku instalace a nejsou na díl kladeny žádné jiné nároky, je pro díl uvažována nejlevnější jakost materiálu, jako příkladem může být materiálová jakost DC01. Jmenovitá tloušťka materiálu může být minimální, to znamená v rozpětí 0,5 až 0,7 mm. S ohledem na nejčastěji používané materiály ve firmě byla však tloušťka zvolena v hodnotě 1,3 mm.

Pro vlastní řešení této práce je nutné seznámení se s principem základních výrobních technologií, mezi které patří technologie stříhání, ohýbání a hluboké tažení. Dále je nutné seznámit se s principem návrhu výlisku, výpočty tvářecích sil, určení těžiště tvářecích sil atd. Tyto znalosti následně budou aplikovány na konkrétní řešený díl.

Cílem práce je vytvoření konstrukčního řešení návrhu nástroje a vytvoření výrobní dokumentace. Od tohoto návrhu a výrobní dokumentace se bude poté odvíjet výroba reálného lisovacího nástroje. Ověření navrženého postupu bude provedeno pomocí simulačního SW Autoform.

2. Teorie tváření

2.1. Úvod do tváření

Obecně je tváření technologický proces, při němž je jednoduchý polotovár přetvořen na takový výrobek, který je specifikován geometrií, rozměry, přesností, vzhledem a vlastnostmi, a to bez odběru materiálu. Za tímto procesem stojí plastická deformace vyvolána vnějšími účinky, tedy silou. Vnější síly způsobují uvnitř materiálu napětí, které zapříčiňuje jeho přechod do nerovnovážného stavu a dochází k jeho přetvoření, jenž je doprovázeno tzv. přetvárným odporem hrajícím důležitou roli z hlediska působících sil, ale také z hlediska hodnocení tvářitelnosti materiálu. [1], [2]

2.2. Základní principy tváření

Základním principem, díky kterému dochází k přetvoření materiálu na požadovaný tvar, je působení sil za vzniku napětí. Po překročení meze kluzu materiálu dojde k plastické deformaci, při které by nemělo dojít k porušení soudržnosti materiálu. Během procesu tváření nedochází pouze k trvalým rozměrovým změnám, ale také k fyzikálním změnám materiálu, jenž souvisí se strukturálními změnami, a tedy změnou mechanických vlastností. [1], [2], [4]

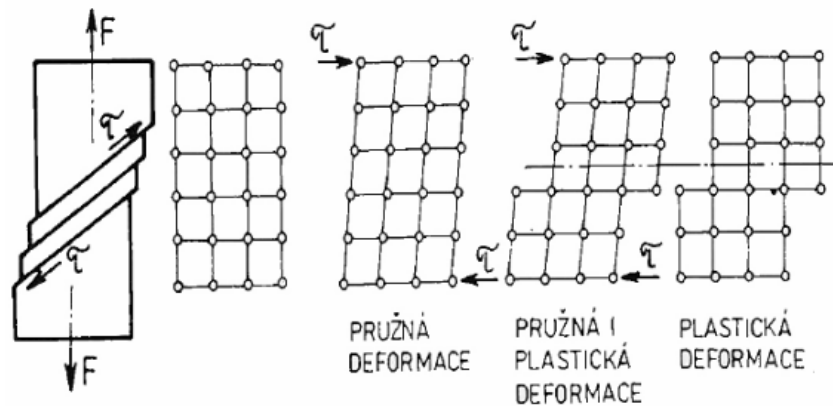
2.2.1. Plastická deformace

Deformace materiálu je základem tváření materiálu. Deformaci rozdělujeme na elastickou a plastickou, zvanou též jako trvalá. Trvalá deformace nastává tehdy, pokud je překročena podmínka plasticity, například u zkoušky tahem definujeme počátek plastické deformace jako překročení meze kluzu. [1], [3], [4]

V kovových materiálech je plastická deformace realizována díky pohybu dislokací, což jsou tzv. čarové poruchy krystalické mřížky. Ty vznikají již při přípravě samotných polotovarů při metalurgické fázi a následných dalších tvářecích procesech. Máme dva deformační mikromechanismy, které stojí za poruchami krystalické mřížky:

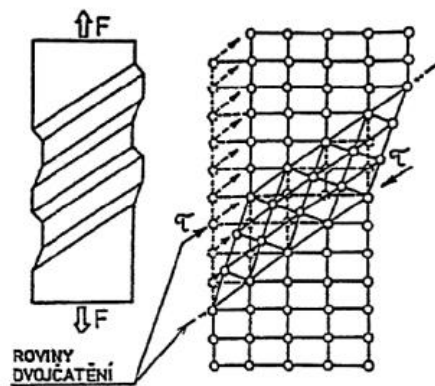
- Skluz – jedná se o základní mechanismus plastické deformace. Je realizován ve skluzovém systému tvořeném skluzovými rovinami a směry. V principu jde o posun jedné krystalové vrstvy vůči druhé ve směru, kde maximální smykové napětí dosáhne kritické hodnoty. Rovina skluzu bývá nejhustěji

obsazena atomy a směr udává také hustota obsazení atomů. Schéma vzniku je znázorněno na obrázku č.1.



Obrázek 1 - Schéma vzniku skluzu [3]

- Dvojčatění – při něm dochází k natočení jedné části mřížky vůči druhé kolem roviny symetrie. Atomy se v tomto případě posouvají pouze o zlomky meziatomových vzdáleností. Takto natočená část je již dále deformována skluzem. Tento mikromechanismus se uplatňuje při vysoké deformační rychlosti za nízké teploty. Výsledná deformace nebývá velká, jelikož dochází k velkému zpevnění materiálu.



Obrázek 2- Dvojčatění [3]

2.3. Rozdělení tváření

Samotné tváření se dále dá dělit podle několika kritérií. Zejména pak podle vztahu deformační zóny k objemu materiálu (plošné a objemové), které se dále dělí podle specifického způsobu přetvoření. Dalším faktorem ovlivňujícím tváření je tvářecí teplota, která má vliv na tvářitelnost, ale také na velikost přetvárného odporu. Obecně s rostoucí teplotou tváření roste tvářitelnost a klesá hodnota přetvárného odporu. V tomto ohledu se tedy dělí na tváření za studena, za tepla a za polohřevu. Existují však i další kritéria, podle kterých se dá tváření rozčlenit. [1], [3], [4], [5]

A) Podle vztahu deformační zóny k objemu materiálu:

- objemové – při tomto druhu tváření dochází k velkým deformacím ve všech směrech materiálu. To znamená, že se zásadně mění jeho tvar i průřez ve velké části nebo rovnou v celém objemu materiálu. Pružná deformace je v tomto případě zanedbatelná.
- plošné – deformace zásadně mění tvar materiálu, ale jeho průřez zůstává stále stejný, případně zanedbatelný. Plastická a pružná deformace je přibližně podobná, tudíž může docházet k odpružení materiálu.

B) Podle tvářecí teploty:

- za studena – toto tváření probíhá při teplotách, které jsou nižší, než je teplota rekrytalizace. Přibližná teplota rekrytalizace je 0,4 teploty tání materiálu v Kelvinech. Platí tedy: $T < 0.4 T_T$ [K]. Výsledkem tváření za studena je pevnější struktura materiálu a kvalitní povrch, avšak to je vykoupeno potřebou mnohem větších energií a sil.
- za tepla – probíhá za teplot vyšších, než je teplota rekrytalizace. Platí zde: $T > 0.7 T_T$ [K]. Výhodou vyšších teplot při tváření je možnost snížení tvářecích sil a lze docílit větší deformace. Nevýhodou je poté špatná kvalita povrchu a délka operace.
- za poloohřevu – je kompromisem mezi výše zmíněnými. Probíhá při teplotách pohybujících se těsně nad teplotou rekrytalizace.

2.4. Tvářitelnost

Tvářitelnost je jedna ze základních vlastností materiálu. Udává nám schopnost materiálu snášet plastické deformace bez jeho porušení. Krom samotného druhu materiálu je vždy závislá také na několika dalších vlivech. Těmito vlivy jsou teplota, napětově-deformační stav, deformační historie atd. Tyto vlivy můžeme rozdělovat na metalurgické a technologické.

Mezi metalurgické faktory patří materiál, u kterého je zásadní jeho krystalografická struktura, strukturní fáze, ale také chemické složení. Tvářitelnost je podmíněna počtem kluzových rovin a směrů. Nejlepší předpoklady pro tváření kovů má krychlová plošně středěná mřížka, její nevýhodou je však vyšší hodnota přetvárného odporu. Naopak nejhůře se tváří materiály s šesticennou těsně uspořádanou mřížkou. Dalším faktorem ovlivňujícím

tvářitelnost je pak počet strukturních fází ve slitině a velikost zrna. Jednofázové slitiny vykazují vyšší tvářitelnost oproti vícefázovým, stejně tak je tomu u jemnozrnných materiálů.

Technologickými faktory ovlivňujícími tvářitelnost jsou rychlost a velikost deformace, ale i tření mezi tvářeným materiálem a nástrojem. Dalším technologickým faktorem je stav napjatosti. Při tváření, které má vyšší podíl tahových složek napětí, se zvyšuje náchylnost materiálu ke křehkému lomu. Mezi technologické faktory řadíme i vliv teploty tváření. S rostoucí tvářecí teplotou se obecně tvářitelnost zvyšuje, avšak při vyšších teplotách se také zvyšuje riziko hrubnutí zrna, oxidace a oduhličení povrchu. V neposlední řadě nám tvářitelnost ovlivňují faktory, jakými jsou například tuhost stroje, rychlost beranu, způsob ohřevu, druh atmosféry atd.

Zjištění tvářitelnosti materiálu se provádí pomocí zkoušek tvářitelnosti, které nám jsou schopny specifikovat, jak se materiál bude chovat, pokud na něj budeme působit vnějšími účinky. Tvářitelnost jsme schopni vyhodnocovat z mechanických vlastností materiálu, které získáme například zkouškou tahem, tlakem, ohybem, krutem, rázem v ohybu, ale také technologickými zkouškami, jež nám jsou schopny určit chování materiálu při podmínkách podobajících se konkrétním tvářecím operacím. [4], [5], [6], [7]

3. Vybrané technologie tváření

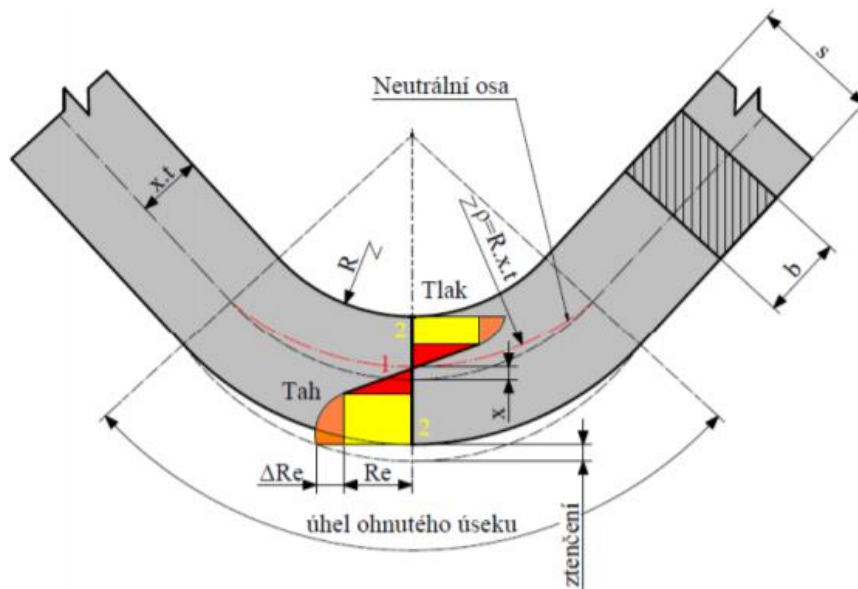
3.1. Technologie ohýbání

Jedná se o proces plošného tváření, který je vyvolán působením vnějších sil, které v deformovaném materiálu vyvolají ohybové momenty. Tento proces je obvykle realizován za studena, ale tlustostěnné plechy mohou být ohýbané i za tepla. Plastická deformace materiálu je při tomto procesu zastoupena pouze v malé části objemu polotovaru, a proto se poměr plochy materiálu k objemu materiálu během ohýbání téměř nemění, případně zanedbatelně. Plastická deformace je doprovázena elastickou deformací, která hraje velkou roli při odpružení materiálu a nemůže být zanedbána. Ohnuté díly se dají rozvinout do rovinného útvaru, který tvoří základ pro velikost polotovaru. [1], [8]

3.1.1. Průběh ohýbání

Aby byl materiál trvale deformován, je třeba při procesu ohýbání překročit mez kluzu R_e , ale zároveň nepřesáhnout mez pevnosti materiálu R_m . Při překročení meze pevnosti může docházet k porušení materiálu na vnější straně ohybu a výrobek je znehodnocen.

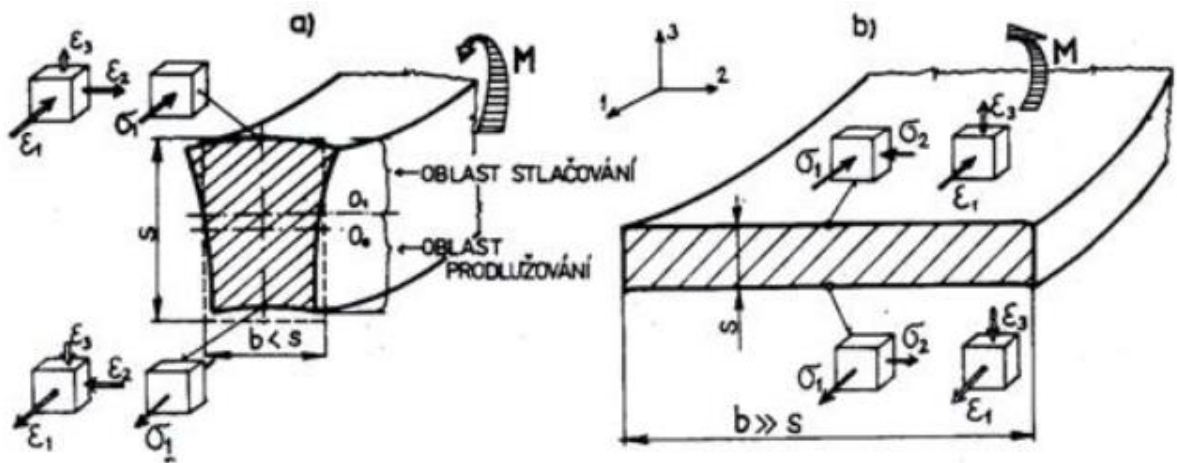
Vlivem působení síly na horní povrch plechu vzniká v materiálu tlakové napětí, které způsobuje pěchování materiálu v podélném směru ohybu a zároveň roztahování ve směru příčném. Na vnější straně plechu dochází vlivem tahového napětí k natahování materiálu v podélném a ke stlačování ve směru příčném. Mezi těmito vrstvami se však nachází tzv. neutrální vlákno, které se neprodlužuje ani nezkracuje. Na začátku procesu se tato vrstva nachází uprostřed průřezu. Po zahájení ohybu se pomalu začíná posouvat směrem k vnitřní straně ohybu.



Obrázek 3- Průběh ohýbání [2]

Neutrální osa má pro nás velmi cenné informace. Konkrétně její poloha hraje klíčovou roli při výpočtu rozměrů pro vstupní polotovary a také pro určení minimálního přípustného poloměru ohybu.

Při určování polohy neutrální osy je třeba brát v potaz vstupní podmínky, a proto rozlišujeme několik variant. V první variantě ohýbáme polotovary s velkým rádiusem, tedy při $r/s \geq 12$. Při tomto ohybu vznikají velmi malé deformace a neutrální osa se odchyluje pouze minimálně. Pro následné výpočty je tato hodnota zanedbatelná, proto se v této situaci předpokládá, že neutrální osa leží uprostřed průřezu. V druhém případě provádíme ohyb s menším poloměrem zaoblení, situace se tedy mění. Platí zde $r/s \leq 6$. V tomto případě se již neutrální osa posune směrem k vnitřnímu poloměru ohybu o něco více, což se již poměrně hodně promítne do následných výpočtů. V třetím případě, kdy $r/s \leq 3$, dochází k velkým deformacím příčného průřezu materiálu. U polotovarů jejichž šířka je několikanásobně větší než tloušťka, se tato deformace neprojevuje vzhledem k odporu, který tvoří tato šířka. U úzkých polotovarů, kde je tento odpor velmi malý, materiál snadno této deformaci podlehne, jak můžeme vidět na obrázku níže. [1], [2], [4], [9], [10], [11], [12], [13]



Obrázek 4- Napětí a deformace při ohybu [2]

3.1.2. Minimální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu je takový vnitřní poloměr, který je pro daný materiál přípustný. Tedy nedochází při něm k porušení a vzniku trhlin. Limitní hodnotou je tahové napětí na vnější straně materiálu, to nesmí překročit mez pevnosti v tahu materiálu R_m .

Minimální poloměr ohybu závisí na několika faktorech. Na tloušťce, mezi pevnosti materiálu, tvárnosti, způsobu ohybu a na orientaci ohybu ve vztahu k orientaci vláken plechu. Pokud ohyb provádíme ve směru vláken je přípustný minimální poloměr ohybu asi dvakrát menší, než pokud ho provádíme kolmo na směr vláken. [1], [2], [9], [14]

Pro určení minimálního poloměru ohybu je nutné stanovit si maximální poměrné zatížení ε_{1max} , pro které platí: [1]

$$\varepsilon_{1max} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \frac{(R_1 + s) \cdot \alpha - \left(R_1 + \frac{s}{2}\right) \cdot \alpha}{\left(R_1 + \frac{s}{2}\right) \cdot \alpha} = \frac{s}{2 \cdot R_1 + s} [-]$$

kde: l_1 - délka krajního stlačeného vlákna [mm]

l_2 - délka krajního prodlouženého vlákna [mm]

R_1 - poloměr ohybu krajního stlačeného vlákna [mm]

R_2 - poloměr ohybu krajního prodlouženého vlákna [mm]

ρ_n - poloměr neutrální vrstvy [mm]

Z této rovnice lze pak vyjádřit vztah pro minimální poloměr ohybu: [1]

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{1max}} - 1 \right) = c \cdot s [mm]$$

kde: c – materiálový koeficient [-]

Materiálový koeficient závisí na materiálu a je určený pro méně příznivou variantu, tedy pro ohyb vedený rovnoběžně s vlákny plechu. Platí: c – 0.5 až 0.6 pro měkkou ocel,

c – 0.25 pro měkkou měď,

c – 0.35 pro měkký hliník,

c – 3 až 6 pro zpevněný dural

3.1.3. Maximální poloměr ohybu

Aby nastala plastická deformace a výlisek dostal trvalou podobu, je třeba překonat v krajních vláknech mez kluzu R_e . Jestliže bychom nepřekonali mez kluzu, vrátil by se materiál do původního tvaru, což je nežádoucí. [1], [2], [9], [14]

Pro učení maximálního možného poloměru ohybu je třeba nejprve určit minimální poměrné přetvoření ε_{1min} , které zajistí plastickou deformaci. Platí: [1]

$$\varepsilon_{1min} = \frac{s}{2 \cdot R_{1max} + s} = \frac{R_e}{E} [-]$$

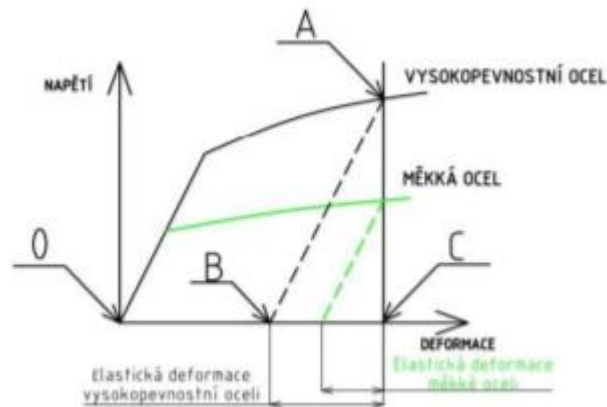
kde: R_e – mez kluzu [MPa]

E – modul pružnosti [MPa]

Pokud rovnici upravíme, získáme vztah pro největší možný poloměr ohybu ve tvaru:

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) [mm]$$

3.1.4. Odpružení



Obrázek 5- Velikost elastické deformace [16]

Materiál má vždy snahu dostat se do rovnovážného stavu, a proto i po uvolnění síly při ohýbání má tendenci se vracet proti smyslu prováděné deformace. Tento jev se nazývá odpružení. Je způsobený elastickou deformací, která doprovází plastickou deformaci. To vede k negativním dopadům na tvar výlisku, především pak na požadovaný úhel ohybu či poloměr ohybu. Proto je třeba materiál ohnout na úhel větší, než je úhel požadovaný. Velikost odpružení závisí na mechanických vlastnostech materiálu (především na modulu pružnosti v tahu a pevnosti materiálu), tloušťce materiálu, poloměru úhlu ohybu. Obecně se velikost odpružení pohybuje mezi 3° až 15°. K určení jeho velikosti je třeba dokonale znát jeho mechanické vlastnosti, aby byla predikce, co nejvíce přesná.

Velikost odpružení pro ohyb ve tvaru V platí: [1]

$$tg\beta = 0,375 \cdot \frac{w}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} [-]$$

kde: β - úhel odpružení [°]

w – vzdálenost rozevření matrice [mm]

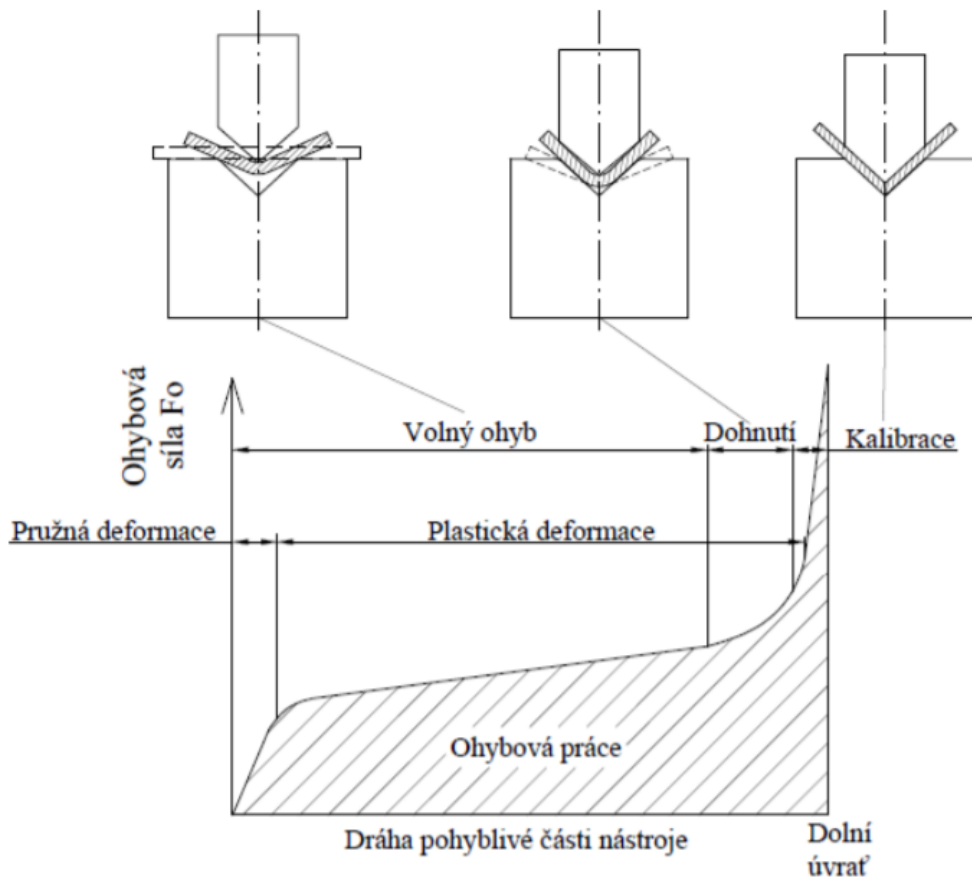
k – součinitel určující polohu neutrální osy [-]

Odpružení lze také eliminovat, a to hned několika způsoby. Jedna z možností je zvýšení lisovací síly na konci lisovacího cyklu, kdy dochází k plastické deformaci v místě ohybu a velikost odpružení je tedy nižší. Také lze využít prolisů na výlisku, zpevnění materiálu v rozích rázem, kalibrací nebo postupným ohýbáním. [14], [15], [16], [17], [18]

3.1.5. Ohybová síla a práce

Pro samotné ohnutí součásti je třeba vyvinout sílu. Velikost této síly je závislá především na tloušťce materiálu a na jeho mechanických vlastnostech, ale také na tvaru ohybu. Tuto maximální sílu je třeba znát pro správný výběr stroje, na kterém bude ohyb prováděn.

Na obrázku níže lze sledovat průběh ohybové síly během celého procesu. V první fázi dochází k malému ohybu, který je doprovázen pouze elastickou deformací a pokud by se razník během této fáze zastavil a odlehčil, tak by se polotovár vrátil do svého původního tvaru. Ve druhé fázi již dochází k překročení meze kluzu a elastická deformace se téměř celá mění na plastickou. V poslední fázi probíhá zvýšení ohybové síly za účelem dohnutí a kalibrování ohybu pro zajištění správného tvaru výlisku. Práce, kterou síla vykoná, je v obrázku zahrnuta jako obsah plochy pod křivkou. [1], [2], [10], [19]



Obrázek 6 - Průběh ohybové síly [2]

Velikost aktuální ohybové síly a práce se dá spočítat pomocí vzorce: [2]

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot \rho} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} [N]$$

$$A_{ov} = m_v \cdot F_{ov} \cdot h_r [J]$$

kde: m_v – koeficient zaplnění pracovního diagramu pro ohyb V ($m_v = 1/3$) [-]

h_r – dráha razníku [mm]

α – úhel ohybu [°]

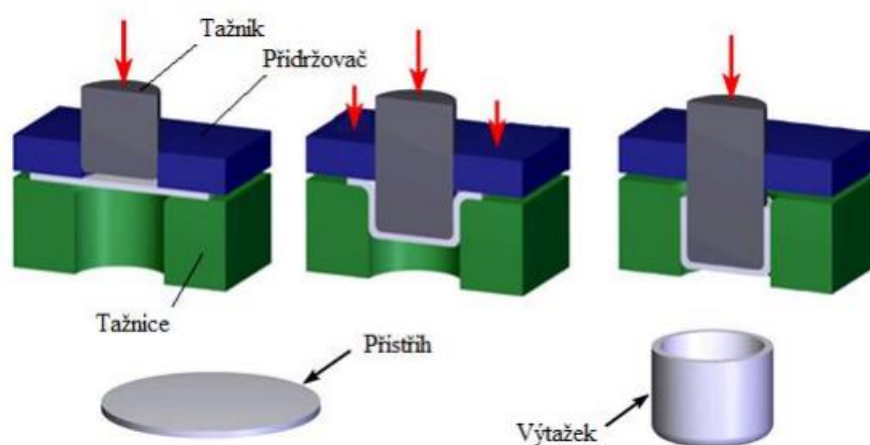
Pro rychlý výpočet ohybové síly v praxi se využívá vzorec níže, jenž platí pouze pro ohyb ve tvaru V a síla je zde přepočítána na 1 metr: [2]

$$F_{oh} = \frac{s^2 \cdot 2 \cdot R_m}{1,4 \cdot w} [kN \cdot m^{-1}]$$

kde: w – šířka matrice [mm]

3.2. Technologie tažení

Tažení je tvářecí technologie, při které se jedním nebo několika tahy vytváří prostorový výlisek nerozvinutelného tvaru. Polotovarem pro tažení je plech, u kterého může, ale nemusí dojít ke ztenčení stěny. Nástroj se skládá z dvou hlavních částí, a to tažníku a tažnice, případně může být opatřen přídržovačem.

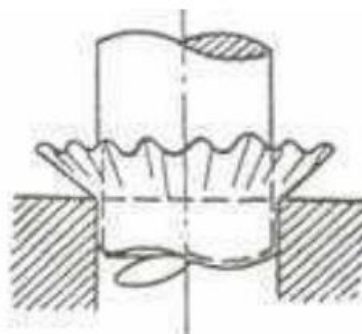


Obrázek 7 - Hlubokého tažení

Základním principem procesu tažení je působení síly nad mezí kluzu na plech, který se podle tažné hrany tažnice posunuje a tvaruje dle tvaru tažníku případně tažnice. Tažná hrana je nejvíce opotřebovanou částí nástroje. Během tohoto procesu dochází ke zpevnění

materiálu a tření, které zvyšují potřebnou sílu na provedení procesu. Zároveň nesmí dojít k porušení materiálu či zvlnění.

Při tažení se přesouvá značná část materiálu. Objem materiálu se během tažení vytlačuje, zvětšuje se výška výrobku a může se měnit tloušťka stěny, to záleží na typu tažení (se ztenčením, bez ztenčení stěny). To může mít za následek vlnění. Abychom tomuto negativnímu jevu zabránili, můžeme při tažení použít přidržovač, který plech přidrží a zafixuje jeho tvar v takovém stavu, v jakém požadujeme. [1], [9], [19], [20], [11], [13]



Obrázek 8 – Zvlnění [2]

3.2.1. Součinitel tažení

Součinitel tažení hovoří o tom, jak velkého přetvoření bylo na výlisku dosaženo. Například pro válcový kalíšek je tato hodnota stanovena jako podíl v průměru přístřihu k průměru výtažku. Tento parametr však nehovoří o tom, zda je výlisek vyrobitelný, proto je stanovován parametr mezního součinitele tažení, kterým je definováno maximální přetvoření materiálu v rámci jedné lisovací operace. Mezní součinitel tažení rozlišujeme pro první tah a pro tahy následující. Tento parametr nám také říká počet tahů nutných k výrobě výlisku. K určení počtu tahů nám pomáhá součinitel tažení. Při překročení mezního součinitele tažení se zvyšuje riziko porušení materiálu vlivem vyčerpání zásoby plasticity tvářeného materiálu.

Na součinitele tažení má vliv tvar, druh, kvalita materiálu, tloušťka a poměrná tloušťka plechu, tažná rychlost, tlak přidržovače, jakost povrchu plechu, způsob mazání během tažení a zejména geometrie funkčních částí tažného nástroje, druhu technologie. Pro praxi se počet potřebných tažných operací vypočte dle stanovených součinitelů tažení, které charakterizují dovolenou velikost stupně deformace. Součinitele tažení můžeme vyjádřit poměry: [4]

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} [-]$$

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} [-]$$

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-]$$

kde: D_0 – průměr přístříhu plechu [mm]

d_n – průměr výtažku po n-té operaci [mm]

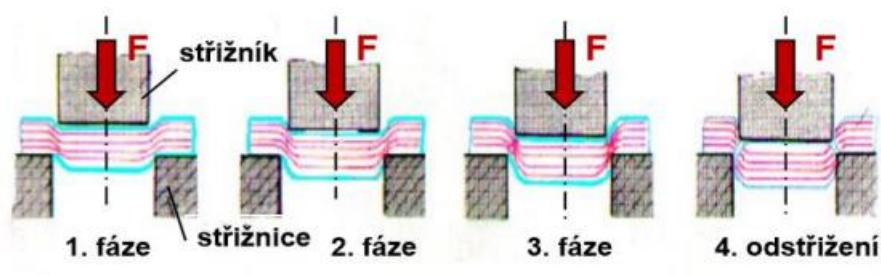
Tabulka 1 - Součinitel tažení [4]

$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100$		2,0÷1,5	1,5÷1,0	1,0÷0,6	0,6÷0,3	0,3÷0,15	0,15÷0,08
Součinitel tažení	m_1	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
	m_2	0,74	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81
	m_3	0,77	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84
	m_4	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
	m_5	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

Přibližné hodnoty součinitele tažení pro válcové výtažky bez příruby z hlubokotažného ocelového plechu za použití přidržovače jsou zobrazeny v tabulce č.1. [1], [21], [22]

3.3. Technologie stříhání

Stříhání je technologická operace, která se používá při přípravě polotovarů pro následující technologické operace, nebo pro výrobu výlisků z plechových polotovarů. Podstatou je oddělení samotného výrobku od vstupujícího polotovaru, případně oddělení dvou výrobků od sebe. Toho je dosaženo pomocí dvou břitů, pohybujících se proti sobě. Takovým nástrojem jsou buď nůžky, které se využívají na rovné stříhy, nebo stříhadla, jež mohou mít libovolný tvar a využíváme je pro výrobu výlisků.



Obrázek 9 - Průběh stříhání

Průběh stříhání je možné rozdělit do tří fází. První fáze začíná při dosednutí střížníku na materiál, kdy se vytvoří napětí, které způsobuje elastickou deformaci. Velikost fáze závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá přibližně okolo 5-8% tloušťky stříhaného materiálu. Při dalším působení síly dochází ke vzniku ohybu materiálu a v momentě překročení meze kluzu hovoříme o druhé fázi, v které je deformace plastická. Velikost druhé fáze (opět závisí na mechanických vlastnostech materiálu) se pohybuje okolo 10-25% tloušťky materiálu. Při dalším působení se plastická deformace zvětšuje až do okamžiku, kdy dojde k překročení meze pevnosti. V tomto okamžiku vznikají u hran střížníku a střížnice nejprve mikrotrhliny, které se dále zvětšují na makro a dále se prodlužují až do úplného oddělení materiálu. Rychlost tohoto šíření trhlin a oddělení je samozřejmě závislá na stříhaném materiálu. Houževnaté materiály se oddělují pomalu, zato křehké se oddělí velmi rychle. Správný průběh oddělování v požadované kvalitě je možné zajistit volbou vhodné střížné vŕle. [1], [2], [4], [11], [12], [13], [10], [19]

3.3.1. Střížná síla a práce

Aby došlo k porušení a oddělení materiálu, je třeba vyvinout dostatečnou sílu. Tato síla je označována jako střížná a je vykonávána pomocí stroje. Stroj má pouze omezený rozsah síly, kterou je schopen vygenerovat. Při jejím překročení, by mohlo dojít poškození stroje. Velikost střížné síly je tedy důležitá pro dimenzování tvářecího stroje a vypočítá se ze vztahu: [1]

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s [N]$$

kde: F_s – střížná síla [N]

N – (1 až 1,3) koeficient vnějších podmínek stříhání – kvalita střížných hran, nerovnost tloušťky materiálu

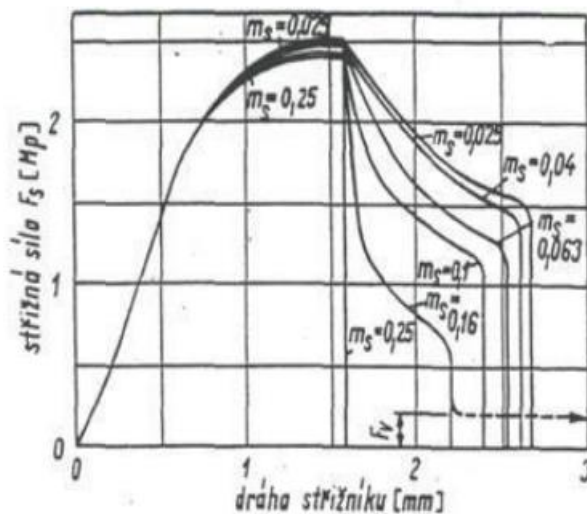
L – délka střížné hrany [mm]

t – tloušťka plechu [mm]

τ_s – napětí ve smyku, stříhová pevnost – $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa]

Ze vztahu je patrné, že na velikost střížné síly má vliv délka střížné hrany, tloušťka plechu a také samotný materiál. Nesmíme však zapomínat na kvalitu střížných hran, která se s postupem času zhoršuje a navyšuje tak potřebnou střížnou sílu pro realizaci stříhu.

Kvalita střížných hran ovlivňuje také samotnou kvalitu a přesnost výstřížku, z toho plyne, že se jedná o velmi důležitý faktor při procesu, který je třeba intenzivně sledovat.



Obrázek 10 - Závislost střížné síly na zdvihu nástroje [2]

Na obrázku č.10 je vidět průběh střížné síly v závislosti na zdvihu. Přímě úměrná střížné síle a hloubce vtažení střížníku do materiálu je střížná práce. Čím menší je vůle mezi střížníkem a střížnicí, tím je nutné vniknout střížníkem hlouběji do materiálu. Střížná práce se vypočítá dle vztahu: [2]

$$A = F_{smax} \cdot k \cdot z \text{ [J]}$$

kde: F_{smax} – maximální střížná síla [N]

k – koeficient zaplnění plochy pod křivkou (0,4 – 0,7)

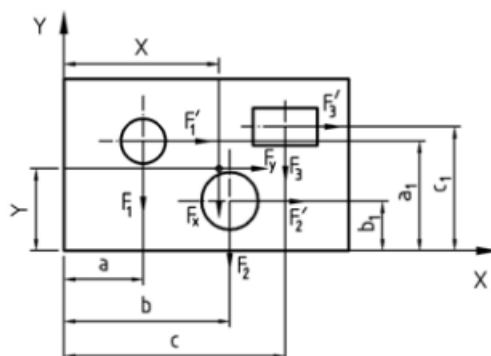
z – zdvih [mm]

Oba výše uvedené vztahy se týkají přímého lineárního stříhu. V praxi vzniká často požadavek na snižování tvářecích sil, které se provádí konstrukční úpravou střížníku nebo střížnice, velmi často se používá takzvaných skloněných nožů. Tato úprava vede ke snížení střížné síly, avšak zvyšuje požadavek velikosti zdvihu. [1], [2], [4], [10], [19], [23]

3.3.2. Těžiště sil

Používáme-li postupový střížný nástroj s více činnými částmi nebo pokud výroba probíhá ve více výrobních krocích je nutné stanovit těžiště tvářecích sil. Nástroj je nutné upínat tak, aby výslednice všech sil působila v ose lisu. Jestliže by výslednice sil ležela mimo

osu, působil by na beran lisu klopný moment, který by mohl negativně ovlivňovat přesnost výrobku, životnost nástrojů i samotného stroje. [1], [2], [4]



Obrázek 11 - Těžiště střížných sil [1]

Pro výpočet těžiště je nutné znát všechny působící síly. Následně vycházíme z momentové rovnováhy, kdy je součet všech momentů vůči zvolené přímce (ose) roven nule. Momentová rovnováha pro jednotlivé osy:

$$F_x \cdot X = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c$$

$$F_y \cdot Y = F'_1 \cdot d + F'_2 \cdot e + F'_3 \cdot f$$

kde: F_x – výslednice všech sil ve směru osy x [N]

F_y – výslednice všech sil ve směru osy y [N]

X, Y – vzdálenosti výslednice sil od daných os [mm]

F_n – střížné síly ve směru osy y [N]

a, b, c – vzdálenosti sil od osy y [mm]

F'_n – střížné síly ve směru osy x [N]

d, e, f – vzdálenosti sil od osy x [mm]

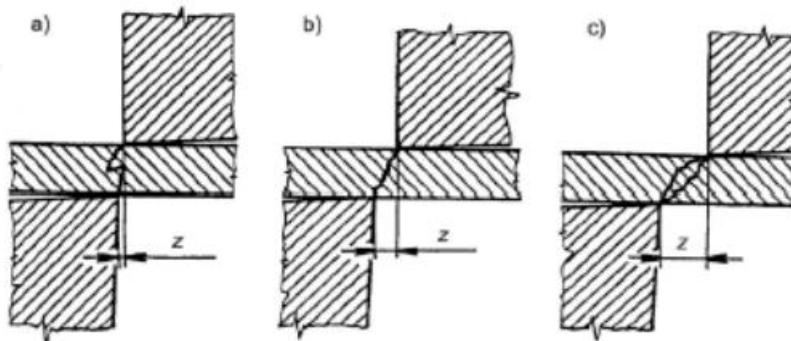
Z těchto vztahů můžeme určit polohu těžiště ve směrech x a y:

$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c}{F_1 + F_2 + F_3}$$

$$Y = \frac{F'_1 \cdot d + F'_2 \cdot e + F'_3 \cdot f}{F'_1 + F'_2 + F'_3}$$

3.3.3. Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl rozměrů mezi funkčními částmi střížníku a střížnice. Tento rozdíl vytváří střížnou mezeru, která hraje velmi důležitou roli u výsledné kvality stříhu, životnosti nástroje a také velikosti střížné síly. Tato mezeru by měla být konstantní po celé délce stříhu, aby byl zajištěn kvalitní stříh bez povrchových vad a ostrých hran. [1], [2], [10]



Obrázek 12 - Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy (a – malá střížná mezeru, b – optimální střížná mezeru, c – velká střížná mezeru) [10]

Na obrázku č.12 je patrný vliv střížné vůle na průběh stříhu. V ideálním případě se trhliny z obou stran potkají a je zaručeno hladké přerušení materiálu. Příliš velká střížná vůle způsobuje ohyb na kraji stříhané součásti a na střížné hraně se tvoří sekundární prasklina. Příliš malá vůle způsobuje vznik přestřížených nebo ohlazených prstenců a výsledný povrch stříhu je často nekvalitní. V obou případech dochází k velkému nárůstu střížné síly. Velikost střížných mezer popisuje norma ČSN 22 6015.

Velikost střížné vůle je závislá na mechanických vlastnostech a tloušťce stříhaného materiálu. Optimální střížná mezeru znamená dosažení nejlepší možné kvality povrchu za použití co nejmenší střížné síly. Tato velikost se většinou pohybuje mezi 3-20 % tloušťky plechu. Při jednostranném stříhání v nástrojích bez přidržovače stříhaného materiálu je doporučená velikost střížné mezery přibližně 1-3 %. Cílem je volit co nejmenší střížnou vůli, která splňuje požadavky na kvalitní stříh.

Stanovení střížné vůle je možné výpočtem, který popisuje norma ČSN 22 6015. Tato norma stanovuje dva různé výpočty dle tloušťky plechu. [21], [22], [23], [24]

- Při tloušťce plechu do 3 mm:

$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]}$$

- Při tloušťce plechu nad 3 mm:

$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]}$$

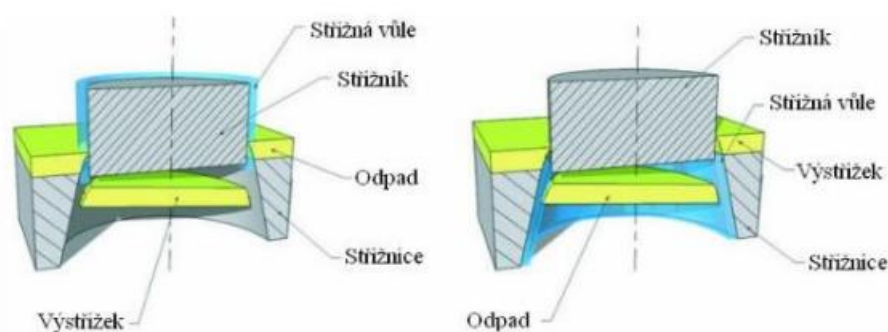
kde: v – střížná vůle [mm]

t – tloušťka plechu [mm]

k_s – střížný odpor [MPa]

c – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,035)

Hodnota součinitele c je volena dle cíle stříhu. Pokud chceme nejvyšší kvalitu, volíme hodnotu součinitele 0,005, pokud nám však na kvalitě tolik nezáleží a chceme nejmenší střížnou sílu, volíme hodnotu 0,035.

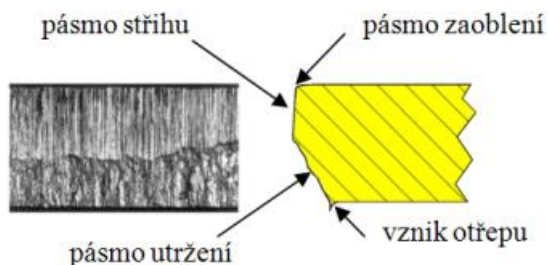


Obrázek 13 - Způsoby volby vůle

V závislosti na vůli volíme také rozměr nástrojů, kde se uplatňují dva přístupy. V případě, že je vystřížený kus plechu produktem a vnější obvod je odpad, volíme střížnou mezeru na úkor zvětšení střížnice. Pokud je vystřížený kus plechu odpadem a vnější obvod tvoří výrobek, tak se střížná mezera volí na úkor zmenšení střížníku – viz. obrázek č.13.

3.3.4. Kvalita a přesnost výstřížků

Kvalita a přesnost při technologii stříhání je omezena. Vzhledem k lomové mechanice při stříhání, je střížná plocha lehce zkosená, má drsný povrch a na konci stříhu bývá otřep. V místě stříhu, tedy kde se setkává střížník se střížnicí, je materiál zpevněn.



Obrázek 14 - Střížná plocha [4]

Velký vliv na kvalitu povrchu má střížná vůle. Čím větší vůle je mezi nástroji, tím se zvyšuje drsnost a nerovnost na střížné ploše. Zaoblení na horní hraně plechu je také závislé na velikosti střížné vůle, ale i na mechanických vlastnostech materiálu, kdy tvárnější materiály tvoří větší zaoblení. Ve spodní části plechu vznikne vždy otřep, jeho velikost pak závisí na několika faktorech. Cílem je samozřejmě to, aby byl otřep co nejmenší. To zajistí bezproblémovou montáž a sníží riziko zranění při manipulaci. Výrazněji se na snížení velikosti otřepu podílí použití vhodného maziva, stav střížníku a střížnice a také rychlost stříhání. Kde na velikosti otřepu záleží a je třeba dodržet přesnou hodnotu, používají se dnes již spíše kamerové mikroskopy. [1], [22], [23],

Tabulka 2 - Přesnost stříhání [23]

Základní výrobní tolerance IT stříhaného dílu	8–9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížných nástrojů	5–6	6–7	7–8	8–9	10	11	12

Přesnost vyrobené součásti závisí opět na stavu střížných nástrojů. Nemůžeme však opomenout vlastnosti stříhaného materiálu či způsob zajištění materiálu při stříhání. Použití přídržovačů nám dokáže výrazně zvýšit vystříhovaného otvoru. Jak je vidět v tabulce č., běžným stříháním lze vyrobit díly až v IT 9. Drsnost povrchu se u plechů do 1 mm pohybuje běžně $R_a = (3,2 \text{ až } 6,4) \mu\text{m}$. Plechy nad 1 mm mívají $R_a = (6,4 \text{ až } 12,5) \mu\text{m}$. Houževnaté a měkké materiály mají pak zpravidla povrch o menší drsnosti než pevné a tvrdé materiály.

3.4. Konstrukce tvářecích nástrojů

Tvářecí nástroje jsou obvykle tvořeny jednotlivými deskami desek. Celý nástroj je umístěn v lisu a s každým zdvihem produkuje jednu sadu výlisků. Polotovár bývá obvykle pás materiálu (např. odvíjený ze svitku), kdy je výlisek vyráběn postupně v jednotlivých operacích. Materiál polotovaru je postupně posunován nástrojem a na konci tvářecího procesu je výlisek odstřižen od polotovaru. Jednotlivé operace jsou za sebou zvoleny tak, aby výsledný postup vedl k vytvoření výlisku v požadované kvalitě. Základními částmi lisovacího nástroje jsou:

- **Základová deska** slouží jako základní část nástroje, na které je celý nástroj postaven. Za tuto desku je nástroj upínán ke stolu lisu. Obvykle je vyroben z běžné konstrukční oceli, neboť na tento díl nejsou kladeny vysoké nároky, ani není nijak mechanicky opotřebovávána. Zajišťuje vyrovnávání nerovností stolu, absorbuje rázy a zabraňuje prasknutí funkčních částí nástroje, které jsou na ni upevněny. Nachází se v ní otvor pro vypadávání odpadu a výrobků, a protože na ní působí tlak celého stroje, mívá větší tloušťku než zbytek desek. Otvor pro vypadávání musí být z konstrukčního hlediska co nejmenší, aby bylo zajištěno dostatečnému podepření dílů na ni položených.
- **Střížnice, ohybnice, tažnice, obecně raznice** jsou funkční část nástroje. Jedná se o nejdražší součásti nástroje, jejich rozměry a přesnost závisí na rozměrech a přesnosti výlisků. Výška raznice nemá být menší než 15 mm, je určována obvykle podle největšího rozměru otvoru ve směru podélném na směr posunu pásu plechu. Otvory např. ve střížnici mohou disponovat úkosem pro lepší odchod odpadu a výrobků. Raznice (zvláště pak střížnice) je vystavována mechanickému opotřebení během tvářecí operací a musí být tepelně zpracována. Střížnice se kalí na tvrdost 58 až 62 HRC s tím, že její tvrdost je o 2 stupně větší, než je tvrdost razníků.
- **Vodící lišty** – jedná se o díly, které bývají obvykle na raznici, mezi kterými je podélně veden polotovár při lisovacích operacích.
- **Střížník, ohybník, tažník, obecně razník** jsou také funkční část nástroje. Jejich tvar se odvíjí od požadovaného tvaru operace. Rozměr nástroje zásadně ovlivňuje kvalitu a přesnost výlisku. Rozměry razníku proti raznici jsou změněné o vůli, která je závislá na příslušné technologické operaci. Razníky jsou vyráběny z nástrojové oceli. Při návrhu razníků je důležité brát v potaz namáhání, především na vzpěr.

- **Vedení razníků** – Pro zajištění správné polohy funkčních dílů je nutné vedení razníků vůči raznici, což může být realizováno vodící deskou nebo pomocí vodících sloupků. Vodící deska má podobný tvar, jako raznice, bývá z levnějšího materiálu, ale je zapotřebí, aby byla dodržena její přesná poloha.
- **Kotevní deska** nebo také držák razníků je část nástroje, ve které jsou razníky upevněny. Její rozměr je závislý na počtu a tvaru razníků, které jsou v ní upevněny.
- **Upínací deska** slouží jako zajištění kotevní desky a je v ní také z opačné strany připojena stopka. Stopky jsou normalizované a jejich upevnění je zajištěno pomocí závitu nebo nákrůžku.
- **Doraz** plní funkci zastavení polotovaru při manipulaci nástrojem.

Konstrukce lisovacího nástroje je obvykle složitá záležitost a při řešení konstrukce nástroje dochází častokrát k přepracování dílů či iteracím rozměrů. Při návrhu nelze obvykle postupovat z jedné části nástroje k druhé, ale je nutné se dívat na celý problém z širšího hlediska a utvářet představu nástroje od nejdůležitějších částí – tedy razníků a raznice. [21], [22], [25], [26]

Vzhledem k vytížení střížníků, je třeba aby byly dostatečně odolné vůči otěru. Proto jsou střížníky kaleny nebo dnes také povlakovány. Během stříhu je každý střížník namáhán na vzpěr a hrozí riziko, že dojde k vybočení a poškození nejen střížníku. Toto riziko hrozí zejména vysokým střížníkům, které mají malý průměr. Proto je nutné spočítat jejich kritickou délku, která nám řekne, jak může být střížník o daném průměru maximálně dlouhý. Výpočet kritické délky střížníku: [21]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot o \cdot t \cdot \tau_s}} = [mm]$$

kde: E – modul pružnosti [MPa]

I – kvadratický moment v průřezu [mm²]

n – koeficient bezpečnosti

o – obvod střížníku [mm]

t – tloušťka plechu [mm]

τ_s – napětí ve smyku [MPa]

Je tedy nutné znát kvadratický moment pro kulatý střížník I:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} [mm^2]$$

Kde: d – průměr střížníku [mm]

Kvadratický moment pro obdélníkový střížník:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} [mm^2]$$

Kde: b – delší strana obdélníku [mm]

h – kratší strana obdélníku [mm]

Kvadratický moment pro čtvercový střížník:

$$I = \frac{a^4}{12} [mm^2]$$

Kde: a – strana čtverce [mm]

3.5. Materiály nástrojů

S ohledem na funkčnost a životnost nástrojů, je třeba zvolit správný materiál nástrojů. Vzhledem k tomu, že každý díl nástroje plní jinou funkci a jsou na něj vyvíjeny různé síly a nároky, musíme volit materiál pro každou součást individuálně. Nejvíce namáhané součásti jsou střížník a střížnice (ohybníky a ohybnice), neboť jsou přímo ve styku s materiálem a aktivně se tak podílejí na konečném tvaru výrobku. Další díly nástroje nesou zodpovědnost za správnou funkci stříhadla. [21], [24],

V dnešní době je na trhu velké množství výrobců a materiálů, které mají různé přednosti a výhody. Při jejich výběru je třeba brát v potaz jejich funkčnost a životnost s ohledem na cenu, tak aby bylo dosaženo vysoké produktivity při nejnižších nákladech. V tabulce č.3 vidíme použití materiálu dle jednotlivých součástí nástroje.

Tabulka 3 - Materiály střížných nástrojů [26]

Část nástroje	Ocel	Ocel s vyššími nároky
základové desky	11 500, 11 370, 11 340	
upínací desky	11 500, 11 370	
vodící desky	11 500, 11 600	
vodící sloupky, pouzdra	14 220, 14 160, 19 221	
upínací stopky	11 600	
hledáčky	19 421, 19 313, 14 220	
dorazy	11 500, 12 061, 19 312	
vodící lišty	11 600	
opěrné desky	11 500, 11 600, 11 700	12 050, 19 083
střížníky	19 191, 19 221	19 312, 19 431, 19 436
střížnice	19 191, 19 356	19 312, 19 830, 19 436
ohybníky, ohybnice	19 191, 19 221	19 312, 19 437, 19 436

3.6. Technologičnost konstrukce

Na technologičnost konstrukce můžeme pohlížet z různých hledisek, například na ni můžeme pohlížet jako na soubor provedení, které umožňují výrobu s vynaložením co nejmenších výrobních nákladů a s vynaložením co nejmenší pracnosti. Můžeme k ní přistupovat také jako ke způsobu výroby a vlastnostem materiálu s cílem zajistit maximální efektivitu a kvalitu výroby. [9], [14], [23], [27]

Obecně jsou pro technologičnost důležité tyto zásady:

- Vytvoření jednoduchého tvaru, který respektuje technologii výroby
- Respektuje přiměřené nároky z hlediska přesnosti výroby
- Jsou jasně definované nároky na jakost
- Předchází vadám při realizaci výrobku
- Využívá normalizovaných a standardizovaných dílů a polotovarů
- Využívá výrobních možností firmy
- Minimalizuje náklady na přípravu výroby, ale také režijní a výrobní náklady
- Umožňuje využití mechanizace a automatizace
- Technologičnost konstrukce lze hodnotit např. z hlediska těchto kritérií:
 - Spotřeba materiálu
 - Pracnost výroby
 - Technicko-ekonomická opatření

Pro technologičnost výlisků je nutné respektovat volbu optimálního nástřihového plánu s cílem maximalizace využití materiálu. Dále je nutné respektovat vhodnou volbu materiálové jakosti, kterou lze považovat za stříhatelnou.

Pro technologičnost výstřižků je klíčové především dodržení minimálních vzdáleností stříhu od okraje materiálu.

U technologičnosti ohýbaných dílů je klíčová problematika odpružení, dále pak vliv anizotropie materiálu na vlastnosti výrobku.

Pro díly vyráběné technologií hlubokého tažení má na technologičnost vliv anizotropie materiálu, proto je zde třeba hledat optimální tvar polotovaru (přístřihu) a vlastní vyrobiteľnost. Její ověření je možné provádět pomocí numerické simulace.

3.7. Technologický postup

Technologický postup je závazný dokument, který přesně definuje, jakým způsobem bude výrobek vyráběn. Určuje nejen operace a jejich pořadí, ale také podmínky, nástroje, stroje, přípravky, měřidla atd. Technologický postup bývá stanoven technologem, který při jeho sestavování musí brát ohled hned na několik faktorů a spolupracuje přitom s dalšími pracovníky např. konstruktéry a ekonomy. Mezi tyto faktory patří požadované vlastnosti, rozměry a kvalita, sériovost, dále pak vybavení dílny, výrobní čas, počet kooperací a v neposlední řadě také nákladovost výroby daného výrobku. [10], [28]

3.7.1. Stanovení velikosti polotovaru

Aby bylo možné produkt vyrobit, je třeba si definovat materiál a jeho tvar, ze kterého bude výrobek vycházet. Vstupující materiál v požadovaném tvaru se nazývá polotovar. V praxi se využívají základní druhy polotovarů, jakými jsou například tyče, trubky, dráty, plechy, profily apod.

Polotovarem pro technologie stříhání a ohýbání je typickým polotovarem plech. Ten však může být dodáván v několika podobách:

- Tabule – jedná se o plech, který je dodáván většinou v obdélníkovém tvaru s typickými rozměry (1 x 2, 1,25 x 2,5, 1,5 x 3) m. Tabule se využívají zejména při řezání laserem, plazmou, vodním paprskem, kdy je potřeba plech rozdělit na různé nepravidelné tvary. Tento polotovar se nehodí pro výrobu

velkých sérií malých dílů, jelikož technologie jeho dělení jsou poměrně časově náročné. Naopak se hodí při výrobě tvarově náročných dílů, které jsou dodávány pouze v malých sériích.

- Pásy – jsou svým tvarem podobné tabulím. Hlavním rozdílem je poměr stran obdélníku, kdy u pásu bývá jedna strana mnohonásobně kratší, než je tomu u tabule. Výhodou pásů je, že při výrobě konkrétního dílu můžeme tento pás uzpůsobit naším potřebám tak, aby bylo dosaženo velkého procenta využití materiálu.
- Svitky – jsou pásy plechu, které mohou být dlouhé i desítky metrů a jsou svinuté dokola. Používají se především pro tenké plechy, které se relativně snadno dají svinout. Při jejich použití je nutné, aby byly před vstupem do tvářecího stroje narovnány a výrobek nebyl původní deformací nijak ovlivněn. Jejich nespornou výhodou je možnost výroby velkých sérií při maximální úspoře času a materiálu, pořizovací náklady bývají z uvedených polotovarů nejnižší, avšak bývá definováno minimální množství materiálu, které musí zákazník objednat.

Cílem volby polotovaru je stanovení takového tvaru vstupního materiálu, který jsme při našem technologickém vybavení schopni vyrobit při nejnižší pracnosti a s co možná nejvyšším využitím materiálu. Často jde o kompromis mezi těmito faktory, který vede k nejnižším nákladům na jednotlivý výrobek. [9], [14], [23], [27]

3.7.2. Nástřihový plán

Nástřihový plán úzce souvisí s volbou polotovaru a prakticky se jedná o uspořádání výrobků právě do vstupujícího materiálu tak, aby bylo z hlediska technologie a využitelnosti materiálu, co nejefektivnější. Materiál tvoří nezanedbatelnou část výrobních nákladů, proto je nástřihový plán důležitý především s rostoucím počtem vyráběných kusů.

Hospodárnost nástřihového plánu se hodnotí součinitelem využití materiálu, který lze určit ze vztahu: [27]

$$k_m = \frac{S \cdot n}{L \cdot B} \quad [\%]$$

- kde: S – plocha výstřížků bez otvorů [mm²]
n – počet výstřížků vyrobených z pásu či svitku [-]
L – délka pásu/svitku [mm]
B – šířka pásu/svitku [mm]

Abychom zajistili dobrou kvalitu stříhu s bezproblémovým podáváním plechu, nechává se mezi výstřížky a mezi okrajem plechu a výstřížkem mezera. Tyto mezery jsou nazývány můstky, respektive okraje. Jejich velikost se volí s ohledem na úsporu materiálu, ale také s ohledem na technologičnost konstrukce, aby bylo ohybové napětí při stříhání kompenzováno dostatečnou šířkou materiálu a bylo zajištěno bezpečné posouvání polotovaru v rámci lisovacích operací. U postupových nástrojů, je třeba také zvolit krok, který udává posun materiálu mezi jednotlivými operacemi, tedy velikost posuvu polotovaru po každém zdvihu stroje. Pro dosažení konstantního kroku se používají dorazy či krokové nože, které vytvoří zarážku na okraji plechu, a tak se vytvoří opěrná ploška na samotném plechu. [14], [21], [23], [27], [29]

4. Návrh výroby výlisku

4.1. O firmě

Firma Kerval je dnes již akciovou společností, která se vyvinula ze stejnojmenné společnosti s ručením omezeným, Ocelářského výzkumného ústavu a OVÚ Karlštejn. Aktuálně sídlí v Karlštejně u Berouna a jedná se o malý podnik s přibližně 40 zaměstnanci. Historie podniku sahá do 30. let minulého století. Původně pokrývala pouze tuzemský trh, ale po vstupu České republiky do Evropské unie se pole působnosti více rozšířilo i do zahraničí.

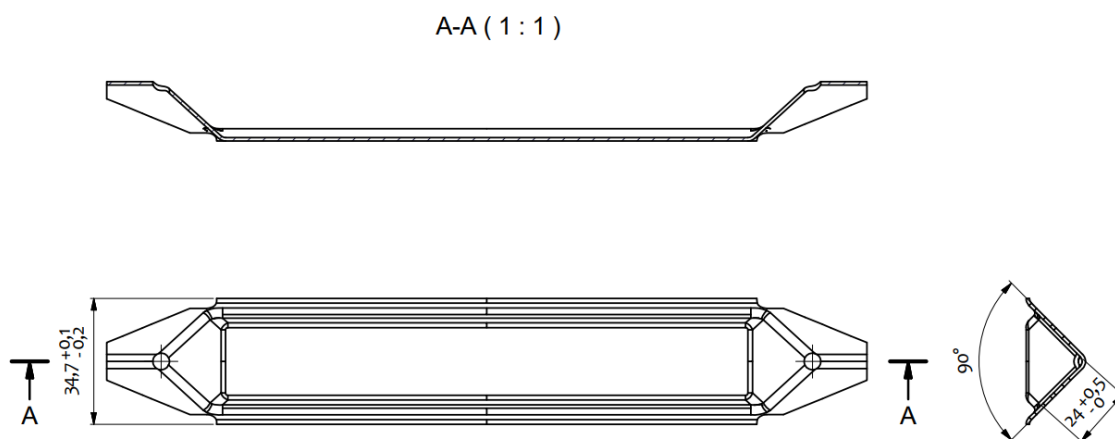
Hlavní oblastí, kterou se společnost zabývá, je výroba ocelových zárubní různých typů a použití. Dále firma vyrábí ocelové konstrukční profily pro sádkartonové konstrukce, revizní dvířka a klapky. Vedle toho se také zabývá výzkumem a vývojem žáruvzdorné a otěruvzdorné keramiky, která je pak využívána v provozech s vysokou teplotou prostředí, tedy především v hutním a sklářském průmyslu. Konkrétním zástupcem těchto materiálů je keramika pod obchodním jménem Karkor, kterou podnik zároveň produkuje. [30]

4.2. Popis dílu

Zvolený díl pro účely práce je výlisek krytu zámku, který je vkládán do dveřních zárubní do oblasti zámku za účelem zachování dutiny, která by jinak mohla být zaplněna zazdívací hmotou při instalaci dveřních zárubní. Tato dutina je důležitá z hlediska vytvoření místa pro vjíždění jazýčku a závory zamykacího mechanismu. Vzhledem k tomu, že kryt bude k zárubním připevněn pomocí technologie svařování, je třeba, aby zvolená materiálová jakost a tloušťka byly podobné jako u základního materiálu používaného pro výrobu dveřních zárubní.

Řešený díl je uveden na obrázku č.15 Co se geometrie krytu týče, jsou zde 3 zásadní rozměry. Jedním z nich je celková šířka, která by neměla přesáhnout 35 mm, aby bylo možné vložit kryt do profilu zárubní. Dalším důležitým rozměrem je hloubka výrobku. Ta je důležitá zejména kvůli tomu, aby byl vymezen dostatečný prostor pro vyjetí závory. Z hlediska normy se jedná o rozměr 24 mm. Třetím důležitým rozměrem je úhel ve špičce. Tato část krytu by měla přesně dosedat na profil zárubní tak, aby nedocházelo k vniknutí ukotvujícího materiálu zárubní do vytvořené dutiny, Tento úhel je 90°. Mimo uvedené rozměry nejsou na díl kladeny žádné další požadavky na přesnost rozměrů, předpokládané tolerance ostatních rozměrů mohou být $\pm 0,5$ mm.

Vzhledem k umístění zárubně do zdi a následnému zabetonování, je třeba myslet i na životnost konstrukce s ohledem na degradaci v podobě koroze. Toho je dosaženo ponorem do barvy, která vytváří bariérou ochranu před vnějšími vlivy. Tento faktor je třeba brát v potaz, neboť v dutině vzniklé po svaření zárubně a krytu by se držela barva. Proto je třeba otvor ve spodním rohu krytu, aby byl zajištěn odtok přebytečné barvy. Aby byla zajištěno, že dojde ke správnému svaření, tak aby barva zaručeně odtekla, bylo rozhodnuto, že otvor bude na obou stranách. Konstrukci nástroje to již téměř neovlivní a eliminují se tak případné chyby při zakládání.



Obrázek 15 - Důležité rozměry krytu zámku

4.3. Technologický postup

Pro zvolení vhodného technologického postupu musíme vzít v potaz několik faktorů. Po analýze výše zmíněného krytu zámku bylo určeno, že jedním z hlavních faktorů, podle kterého se bude následná technologie výroby odvíjet, je počet vyráběných kusů. V tomto případě je očekávaná výroba vyšších tisíců kusů ročně. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o konstrukci postupového lisovacího nástroje, čímž bude zaručena požadovaná přesnost dílu, nízká pracnost, vysoká produktivita práce. V průběhu lisovacího procesu bude možné využívat principu postupového lisování, kdy je výlisek součástí pásu polotovaru po dobu výroby výlisku a od pásu je oddělen po dosažení požadovaného tvaru. V případě, že by se jednalo o výrobu pouze několika desítek či stovek kusů, bylo by možné zhotovit pouze přípravky, u kterých by rapidně klesla cena výroby, ale výrazně by se prodloužil čas výroby. Konkrétním příkladem by pak bylo například vypálení přístřihu na laseru a následné vložení do přípravku upnutého na lisu.

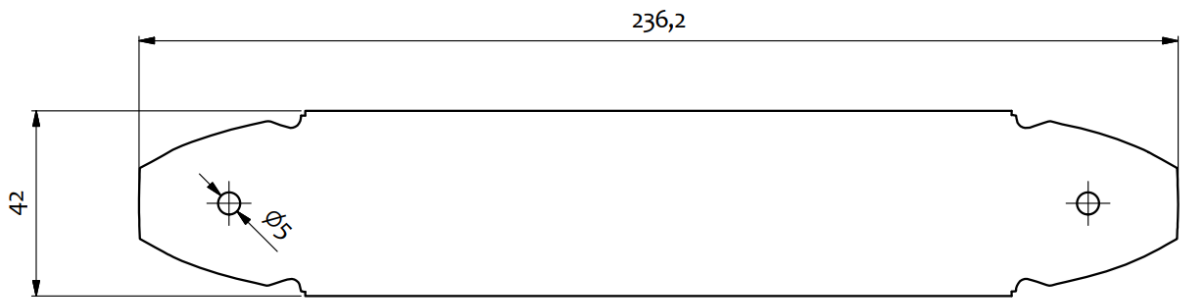


Obrázek 16 - Svitek pásu

Po zhodnocení dalších faktorů spolu s počtem vyráběných kusů byl stanoven předběžný technologický postup, který si dále popíšeme. Vstupním polotovarem byl zvolen pás svitku, který je vhodný pro výrobu velkých sérií menších dílů. Pomocí podávacího mechanismu bude polotovar zakládán do nástroje, ve kterém jsou kombinovány operace stříhání a tažení. V nástroji poté dojde prvně k vystřížení přebytečného materiálu tak, aby tvar odpovídal určenému přístřihu pro operaci tažení. Následuje operace tažení, kdy bude plech přetvořen na požadovaný tvar krytu za pomoci přidržení, aby byly vhodné podmínky pro samotný proces tažení. Poslední operací, která bude provedena v nástroji, je oddělení jednotlivých dílů od sebe, čehož se dosáhne opět operací stříhání. Oddělený kryt zámku poté za pomoci gravitace a případného skluzu spadne do připravené bedny. Tím skončí samotná výroba krytu zámku, po které je třeba díl zkontrolovat, zda jsou dodrženy všechny důležité rozměry a požadovaná geometrie.

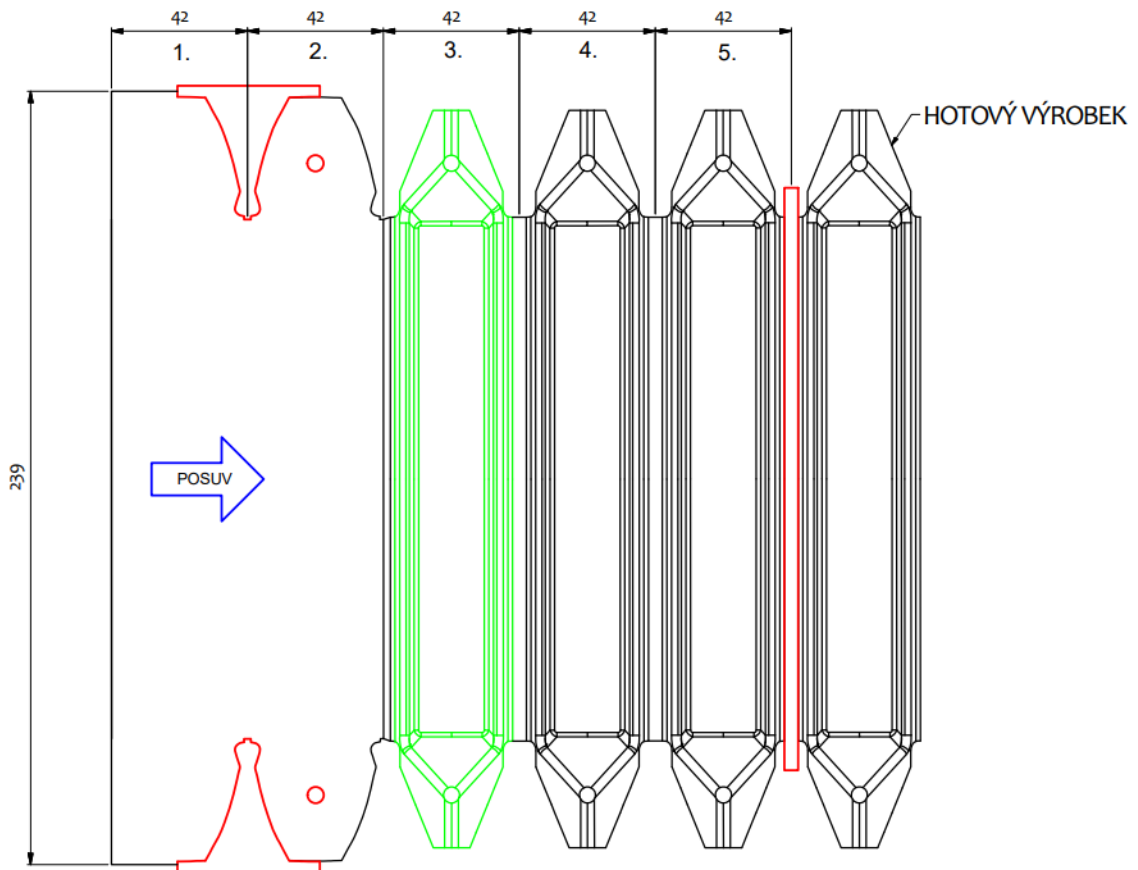
4.4. Nástřihový plán

Jak již bylo zmíněno, vstupním polotovarem bude pás ve formě svitku. Délka svitku závisí na dodavateli, vybavení společnosti a také na velikosti jednotlivých sérií, které budou určeny výrobcem. Pomocí simulačního softwaru Autoform byl na základě geometrie výlisku navržen jeho rozvin. Tento rozvin je patrný z obrázku č.17.



Obrázek 17 - Rozvin pro operaci tažení

Základní šířka rozvinu dílu je 236,2 mm, proto byl zvolen pás o šířce 239 mm. Rozdíl těchto hodnot bude využit k odstrižení přebytečné šířky svitku, aby byl zajištěn krok v nástroji. Ten určuje vzdálenost, o kterou se polotovár v nástroji posune během jednoho zdvíhu. V rozvinu polotovaru je již započítáno následné oddělení výlisku od pásu, a proto byl zvolen krok 42 mm.



Obrázek 18 - Nástřihový plán

Na obrázku č.18 je zobrazen navržený nástřihový plán, jehož jednotlivé kroky si dále popíšeme:

- Krok 1 – Plech vstoupí do nástroje, kde je vstupující hrana pomocí tvarových střižníků ostřížena na požadovaný tvar, zároveň je zmenšena šířka pásu pro zajištění

kroku. Oba střížníky jsou totožného tvaru, pouze jsou zrcadlově otočené vůči sobě vzhledem k podélné ose polotovaru.

- Krok 2 – V rámci tohoto kroku dochází k vystřížení totožného tvaru i z druhé strany plechu, a to stejnými střížníky, které tedy plní svoji funkci současně během dvou prvních kroků. Navíc je vystřížen kruhový otvor pro odvod barvy o průměru 5 mm.
- Krok 3 – Během tohoto kroku dochází k vytvoření geometrie výlisku za pomoci tažných nástrojů.
- Krok 4 – Přestože je po předchozím kroku geometrie dílu finální a zbývalo by pouze oddělení výrobku od pásu plechu, zde k tomu ještě nedochází, a to z důvodu předchozího tažení. Tento krok nám slouží pouze jako přidržovací, aby nedošlo k vtažení materiálu do tažného nástroje.
- Krok 5 – Opět zde dochází k přidržení materiálu, ale také k oddělení hotového výlisku od pásu materiálu. K tomu by mohlo docházet již o krok dříve, ale vzhledem k předpokládané konstrukci nástroje je odstřížení zařazeno sem.

Pro navržený nástřihový plán vypočítáme součinitel využití materiálu, což ověříme na modelovém příkladu. Předpokládejme tedy svitek o délce 50 m (cca 130 kg). V takovém případě se součinitel hospodárnosti rovná:

$$k_m = \frac{S \cdot n}{L \cdot B} [\%]$$

$$k_m = \frac{8990 \cdot 1\,190}{50000 \cdot 239} [\%]$$

$$k_m = 0,895 = 89,5 \%$$

V reálu lze předpokládat i výrazně delší svitek, což bude mít příznivý vliv na využití materiálu. Pokud odhlédneme od odpadu, který je nutný vzhledem k tvaru přístřihu pro výrobu dílu, vidíme, že využití materiálu je velmi vysoké. Pokud bychom zvolili podélnou orientaci výlisku na polotovaru, dosáhli bychom srovnatelného využití materiálu, ale zapříčilo by to delší krok, což by výrazně zvětšilo délku střížného nástroje a také by vznikl problém z hlediska navázání výlisků za sebou a způsobu oddělení od sebe.

4.5. Určení střížných a tažných sil

Abychom mohli správně zvolit stroj, či ověřit, zda je dostatečně výkonný na provedení plánovaných operací, je nutné znát síly, které jsou třeba k výrobě daného dílu. Střížné operace probíhají v prvním, druhém a pátém kroku, přičemž je můžeme pro tuto

chvíli rozdělit na 3 složky – tvarový stříh (2x), kruhový stříh (2x) a odstřížení výlisku od pásu. Pro výpočet použijeme vzorec uvedený v teoretické části. Pro stříhy volíme hodnotu koeficientu n 1,2 pro dostatečnou spolehlivost výpočtu, délky střížných hran určíme z CAD modelu. Také je nutné zmínit, že tento výpočet je koncipován pro maximální pevnost materiálu čili nejméně příznivý stav z hlediska velikosti střížných sil.

Tabulka 4 - Chemické složení a mechanické vlastnosti DC01

CHEMICKÉ SLOŽENÍ					MECHANICKÉ VLASTNOSTI				EN 10 149-2	
Označení	Obsah prvků - ve hmotnosti [% max.]					Min. mez kluzu R_{s0} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Tažnost A_{80} [% min.]	Obchodní značení	
	C max.	Mn max.	P	S	Ti					
DC01	0,12	0,60	0,045	0,045	-	280	270 - 410	28	EKO FER	RACOLD

Tvarové stříhy:

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s [N]$$

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m [N]$$

$$F_s = 1,2 \cdot 2 \cdot 110 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 [N]$$

$$F_s = 112\,569\,N = 113\,kN$$

Kruhové stříhy:

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s [N]$$

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m [N]$$

$$F_s = 1,2 \cdot 2 \cdot 15,7 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 [N]$$

$$F_s = 16\,067\,N = 16\,kN$$

Koncový stříh:

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s [N]$$

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m [N]$$

$$F_s = 1,2 \cdot 368,4 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 [N]$$

$$F_s = 188\,503\,N = 189\,kN$$

Tažná síla byla určena pomocí programu Autoform, který je specializován na simulaci tváření plechů. Tato síla je uvedena včetně přidržovačů, které jsou nutné pro zafixování pozice polotovaru v nástroji.

$$F_t = 578\,kN$$

4.6. Určení střížné vůle

Abychom zajistili správný průběh stříhání, potřebujeme nástroje vyrobít s určitou střížnou vůlí. Velikost střížné vůle odvozujeme z její ideální velikosti. Protože vystřižené kusy plechu jsou v našem případě odpad, volíme střížnou mezeru na úkor zmenšení střížníku. Koeficient c (0,005 až 0,035), který určuje kvalitu stříhu, volíme 0,1. Důvodem je následná operace tažení, která realizuje konstrukční tvar výlisku, a tak nemá smysl snažit se o příliš vysokou kvalitu stříhaných hran. Nominální tloušťka našeho plechu je 1,3 mm, proto použijeme vztah, který je dle normy určen do tloušťky 3 mm.

$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]}$$

$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot 0,01 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{328} \text{ [mm]}$$

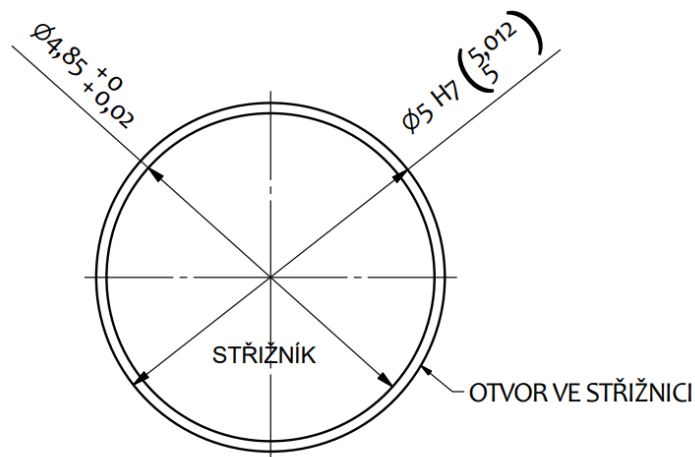
$$m = \frac{v}{2} = 0,075 \text{ [mm]}$$

$$v = 2 \cdot 0,075 \text{ [mm]}$$

$$v = 0,15 \text{ [mm]}$$

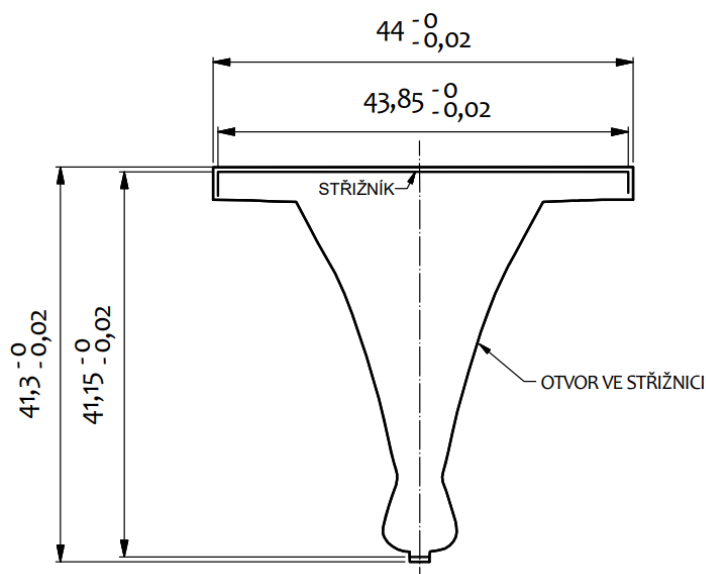
Na základě spočítané střížné mezery, respektive vůle jsme stanovili tolerance pro jednotlivé střížníky a střížnice.

Pro kulatý střížník:



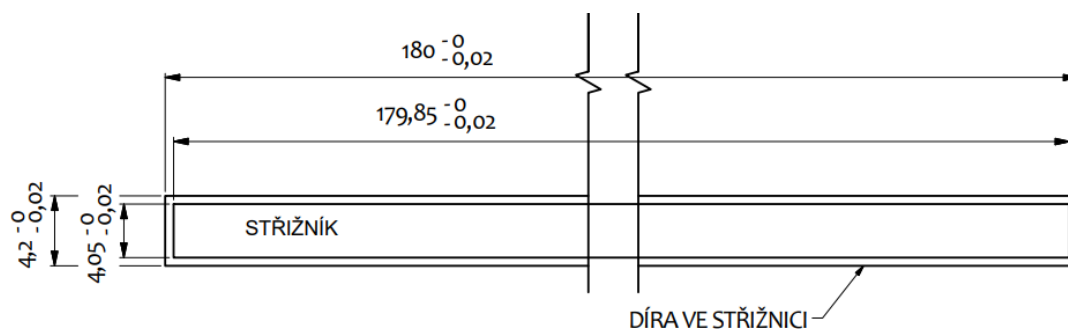
Obrázek 19 - Tolerance kulatého střížníku a střížnice

Pro tvarový střížník:



Obrázek 20 - Tolerance tvarového střížniku a střížnice

Pro koncový střížník:



Obrázek 21 - Tolerance koncového střížniku a střížnice

4.7. Dimenzování střížníků

Střížníky jsou spolu se střížnicí nejvíce namáhané součásti střížného nástroje. Střížnice je koncipována jako deska o definované tloušťce, která se při dosednutí opírá o základní desku a je namáhána především na otláčení. Vzhledem k tomu, že ve střížnici nejsou otvory pro realizaci prostřihů umístěny blízko sebe, lze problematiku namáhání na otláčení zanedbat. Oproti tomu střížníky jsou z hlediska mechaniky nosníky určité délky a tvarového průřezu, který odpovídá požadovanému tvaru otvoru. Z tohoto hlediska jsou střížníky namáhány na tlak a vzpěr. Proto je důležité provést ověření namáhání na tlak a vypočítat kritickou délku, která udává maximální délku daného průměru či jiného profilu střížníku, kdy by mohlo dojít k jeho porušení. Pokud by byla kritická délka střížníku příliš

malá bylo by možné zvětšit průřez střížníku, a funkční část střížníku by byla pouze v jeho omezené délce. Tato funkční délka střížníku však musí být taková, aby bylo možné realizovat střížnou operaci, tzn. střížník pronikl do určité hloubky ve střížnici a protlačil skrze ni odpad. K tomu je třeba připočítat délku pro přeostření nástroje a dále pro výšku ve vodící liště.

Pro kruhový střížník:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot o \cdot t \cdot \tau_s}} [mm]$$

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{n \cdot o \cdot t \cdot \tau_s}} [mm]$$

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 5^4}{64}}{3 \cdot 15,7 \cdot 1,3 \cdot 328}} [mm]$$

$$l_{krit} = 63,5 \text{ mm}$$

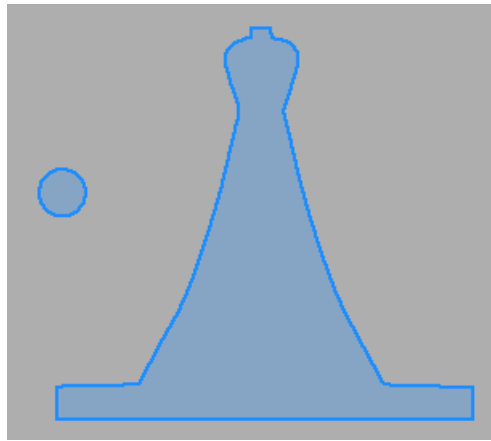
Pro koncový střížník:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}}{n \cdot o \cdot t \cdot \tau_s}} [mm]$$

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}}{3 \cdot 368,4 \cdot 1,3 \cdot 328}} [mm]$$

$$l_{krit} = 78,9 \text{ mm}$$

Tvarový střížník je ve srovnání se střížníkem kruhovým mnohem masivnější, jak je vidět na obrázku č.22, a proto můžeme předpokládat, že kritická délka je v tomto případě minimálně tak velká, jako u kruhového střížníku.



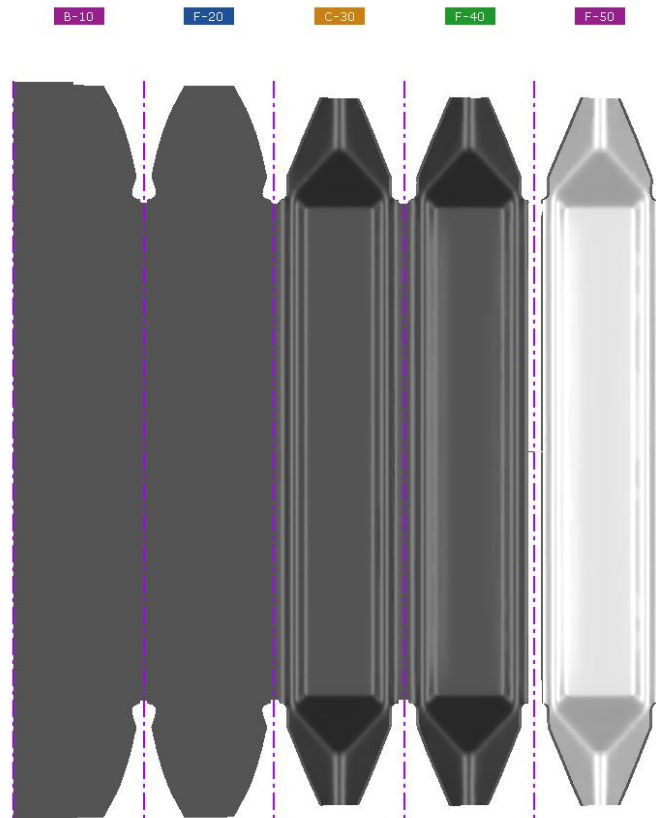
Obrázek 22 - Porovnání řezu střižníků

V rámci výpočtů byl použit koeficient bezpečnosti o hodnotě 3, aby byla kritická délka počítána s jistou rezervou. Při konstrukci střižníků musíme tyto hodnoty kritické délky vzít v potaz a vyhnout se jejich překročení, aby byl zajištěn správný a bezproblémový chod nástroje.

4.8. Ověření proveditelnosti

Ještě před samotným doladěním detailů a výrobou nástroje bylo třeba ověřit, zda je vůbec tento koncept vhodný z hlediska vyrobitelnosti dílu. K tomu byl využit software AutoForm Forming. Kvalita výpočtu „FV“ je stanovena AutoForm standardem verze R10.0.3.

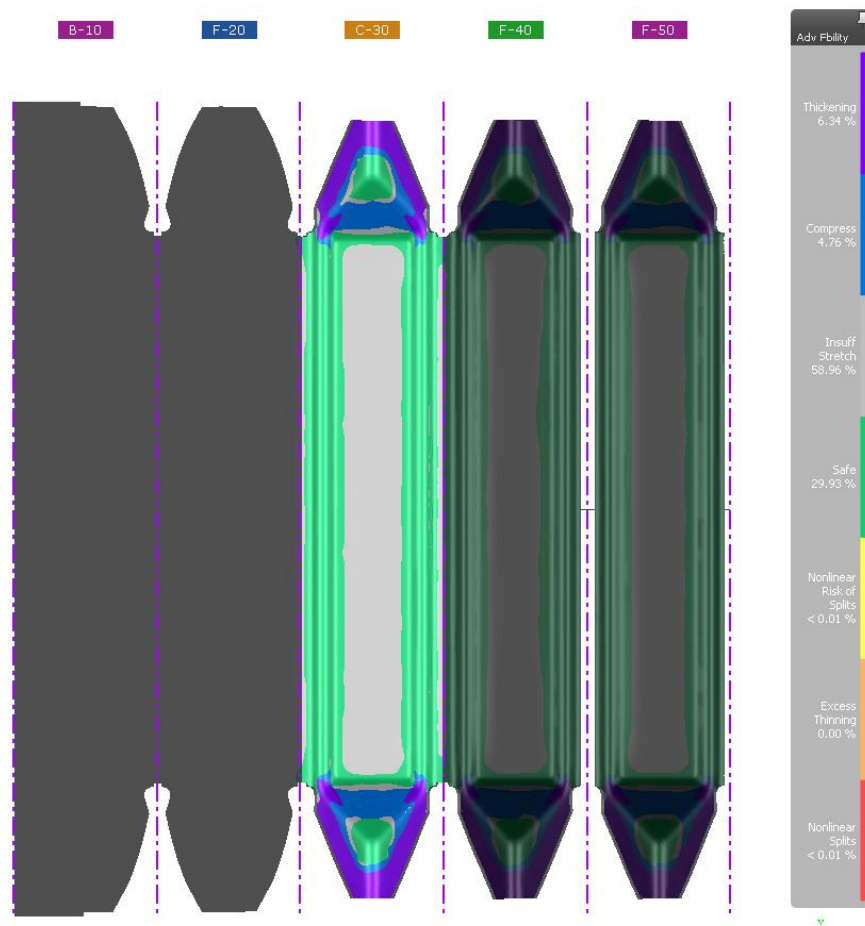
V rámci výše zmíněného programu byla provedena numerická simulace dle navrženého postupového nástroje. Cílem této simulace bylo ověření, že je možné díl vyrobít v požadovaném tvaru a kvalitě. V této simulaci nebyly zahrnuty otvory pro odtok barvy, můžeme však předpokládat, že tím nebyl výsledek simulace zásadně ovlivněn. Případná deformace kruhových otvorů je v pořádku, jelikož nám nezáleží na výsledném tvaru, ale na funkčnosti otvoru, kterým je pouze odvod barvy.



Obrázek 23 - Nástřihový plán v SW Autoform

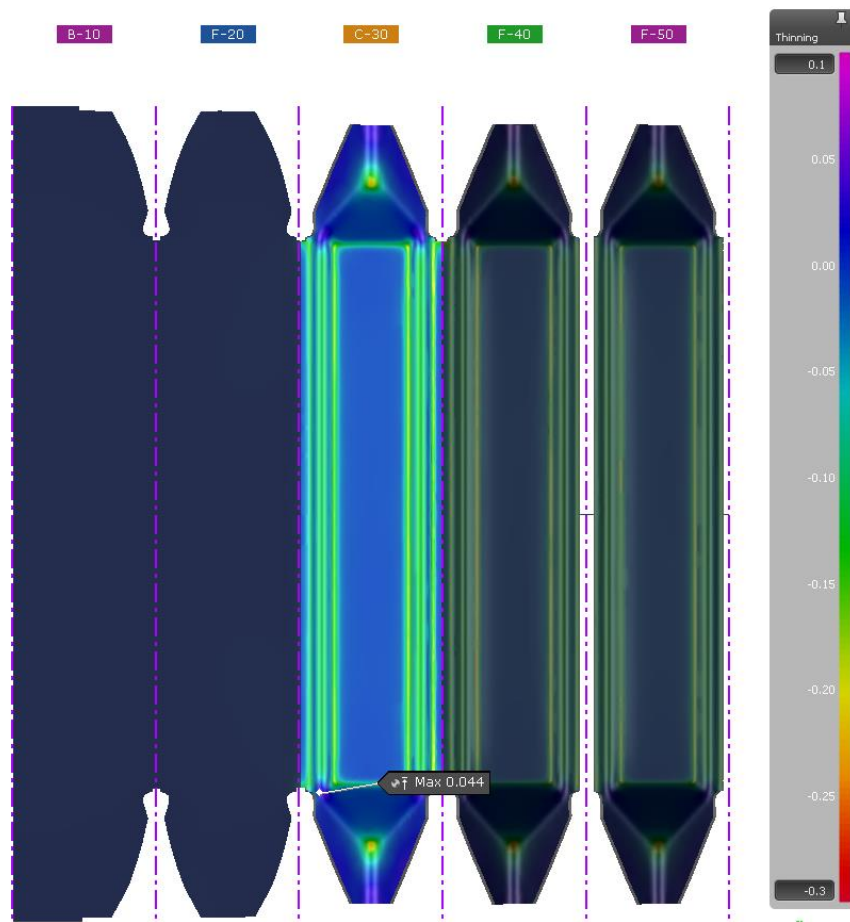
Na obrázku č.23 je zobrazen návrh nástřihového plánu vložený do simulačního programu.

Obrázek č.24 nám zobrazuje analýzu porušení. Z uvedeného obrázku je možné vidět, že v žádné části dílu nedošlo k porušení materiálu (Nonlinear Splits, Excess Thinning ani Nonlinear Risk of Splits v legendě snímku) a není potřeba modifikovat tvar dílu nebo metodický plán. Simulace odhaluje poměrně velkou oblast s nedostatečným vytažením plechu (méně než 3 %). Oblasti s nízkou mírou deformace jsou ale problémové především pro pohledové díly automobilové karoserie s požadavky na vzhled i úzkou toleranci rozměru dílu. Výsledek simulace je tudíž z tohoto pohledu přijatelný.



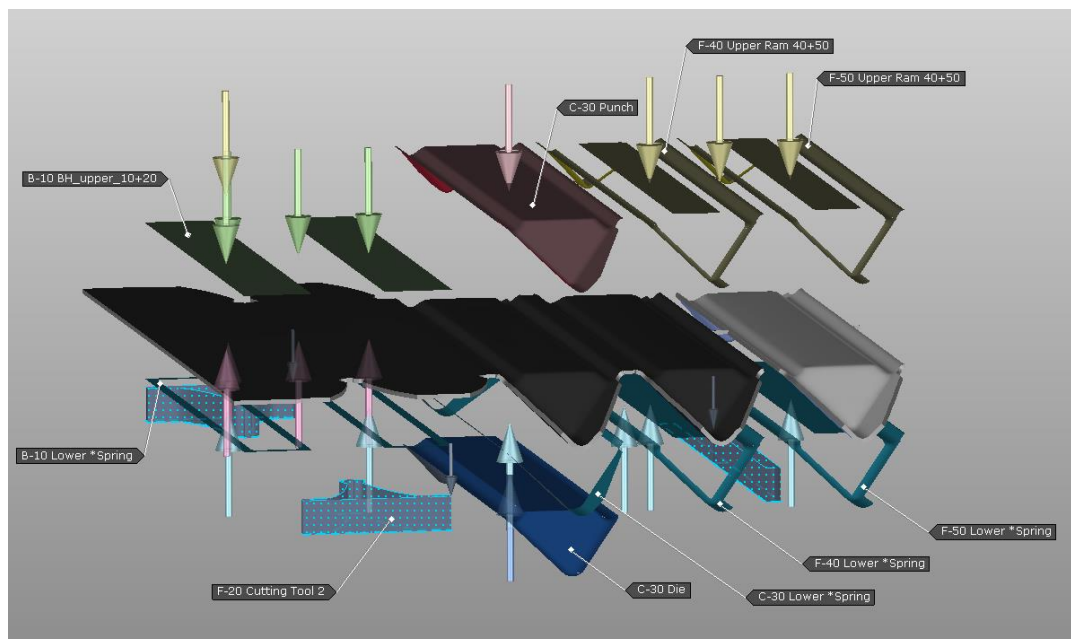
Obrázek 24 - Analýza porušení

Dalším důležitým faktorem, který bylo třeba zanalyzovat, je ztenčení materiálu. Na obrázku č.25 je graficky znázorněno a můžeme vidět, že k největšímu ztenčení dochází v přechodu mezi stříškou a miskou krytu. V tomto místě dochází ke ztenčení o 4,4 % z původní tloušťky materiálu. Pro materiál DC01 je tato hodnota v toleranci, tudíž můžeme prohlásit i tuto analýzu za vyhovující.



Obrázek 25 - Analýza ztenčení

Celý proces výroby včetně sil a funkčních ploch je možné vidět na obrázku č.26. Jedná se konceptní simulaci, kde je cílem ověření vyrobitelnosti dílu. Reálná konstrukce lisovacího nástroje pak vychází z tohoto konceptu.



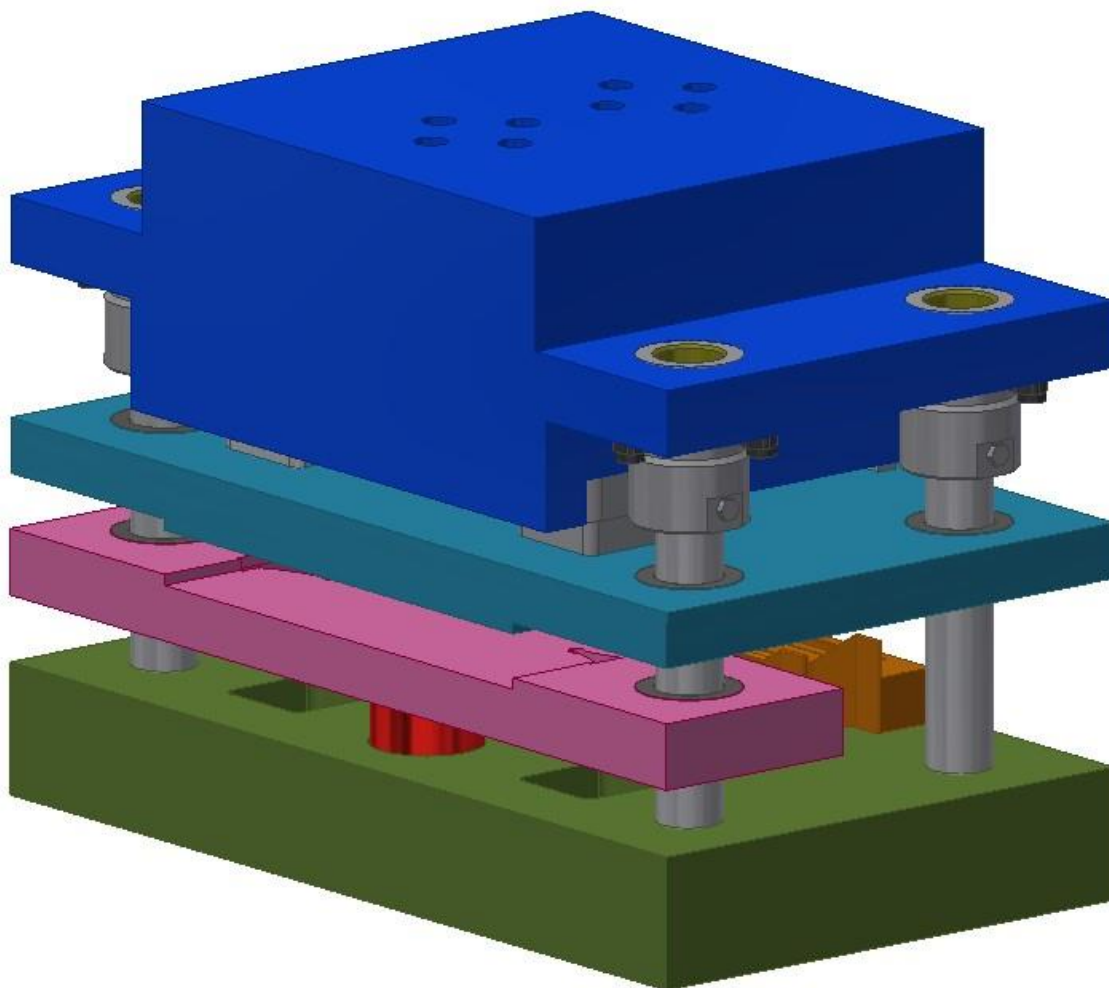
Obrázek 26 - Koncept simulace

V našem případě se konstrukce nástroje (níže) liší od simulovaného konceptu, ale základní kinematika zůstala nezměněna. Konkrétně se přidal krok navíc, který byl doplněn z důvodu objemnosti plynové pružiny, aby bylo možné upevnit koncový střížník k vrchní desce. Tohoto kroku bylo využito na další přidržení výlisku nástrojem, aby nedošlo k deformaci již vytvarované geometrie. Další změnou je prohození tažníků včetně přidržovače. V původní simulaci byl tažník zodpovídající za vylišování stříšky na koncích umístěn ve vrchní části nástroje a tažník lisující středovou miskou spolu s přidržovačem ve spodní části. Změna pozic byla původně provedena na účelem odvodu materiálu po koncovém stříhu, který by nebylo možné provést. Po přidání kroku navíc byl tento problém vyřešen, avšak otočení nástrojů nám dalo možnost odstranění desky navíc. Tato deska byla také umístěna na pružině a měla původně funkci nadzvedávání pásu plechu, aby nedocházelo ke kolizi vylišovaných stříšek s přidržovačem.

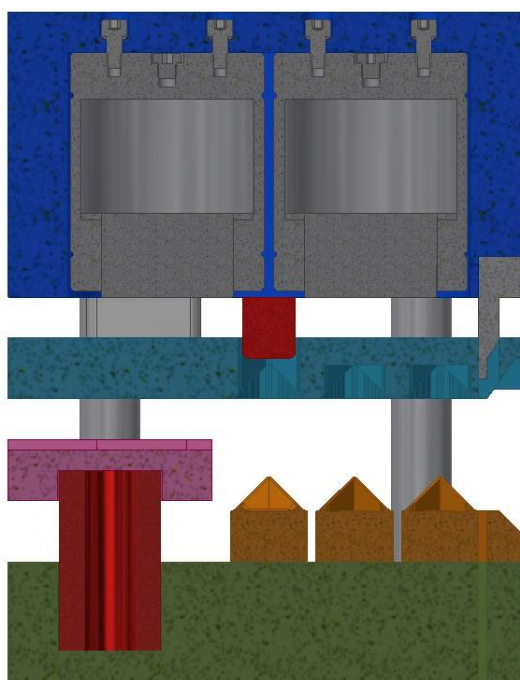
4.9. Návrh nástroje

Jak již bylo uvedeno výše, nástroj je tvořen funkčními částmi, mezi které patří střížníky, střížnice, tažníky a tažnice. Ostatní části nástroje slouží pro ukotvení těchto funkčních částí, dále pak k zajištění vzájemné polohy funkčních částí vůči sobě a jejich přesné vedení v průběhu lisovací operace. Součástí nástroje jsou i pružiny, které jednak zajišťují pohyb polotovaru v neutrální rovině, ale také přidržovací sílu při lisovací operaci.

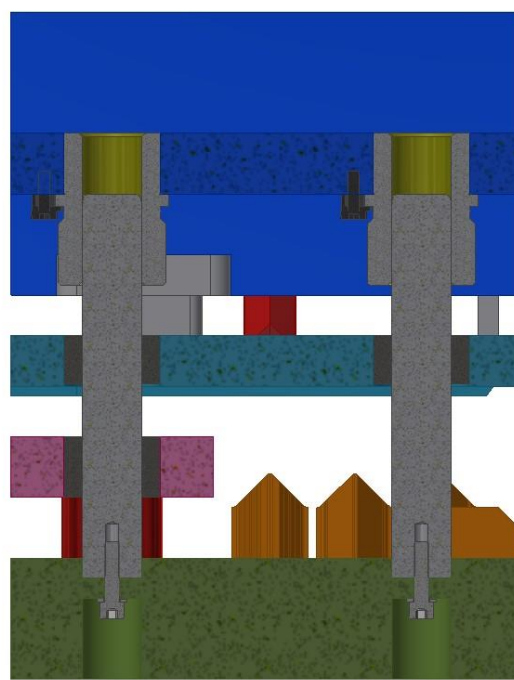
Celkový pohled na lisovací nástroj je uveden na obrázku č.27, na dalších obrázcích č.28 a č.29 jsou uvedeny řezy nástrojem ve zvolených polohách.



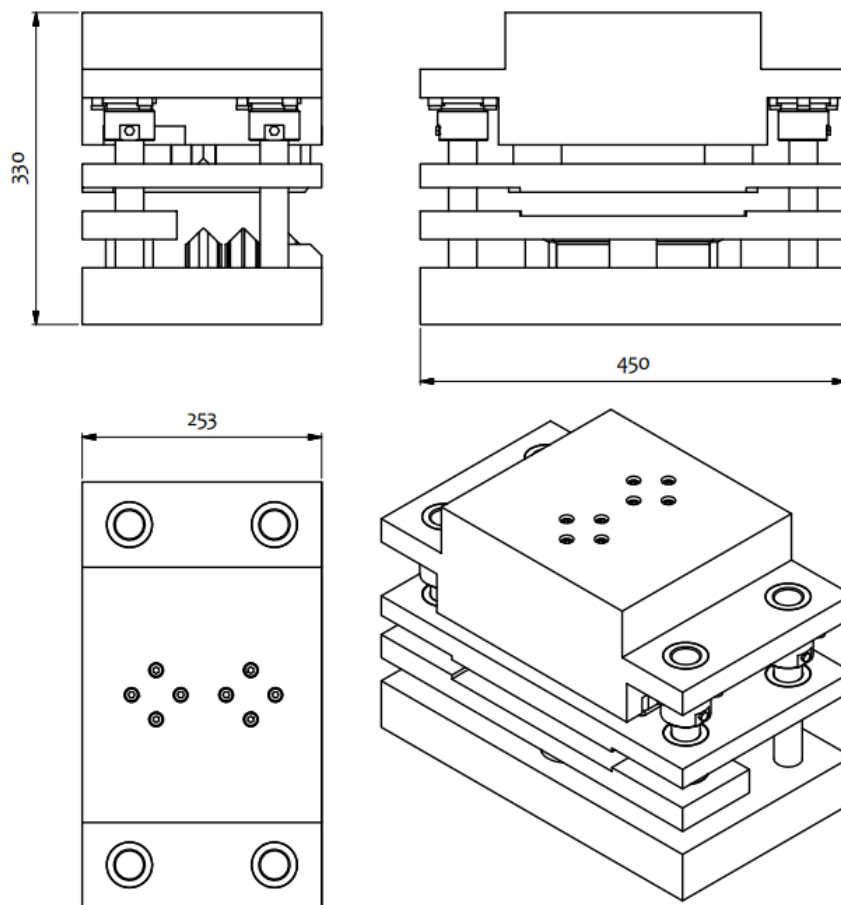
Obrázek 27 - Návrh nástroje



Obrázek 29 - Řez osou nástroje

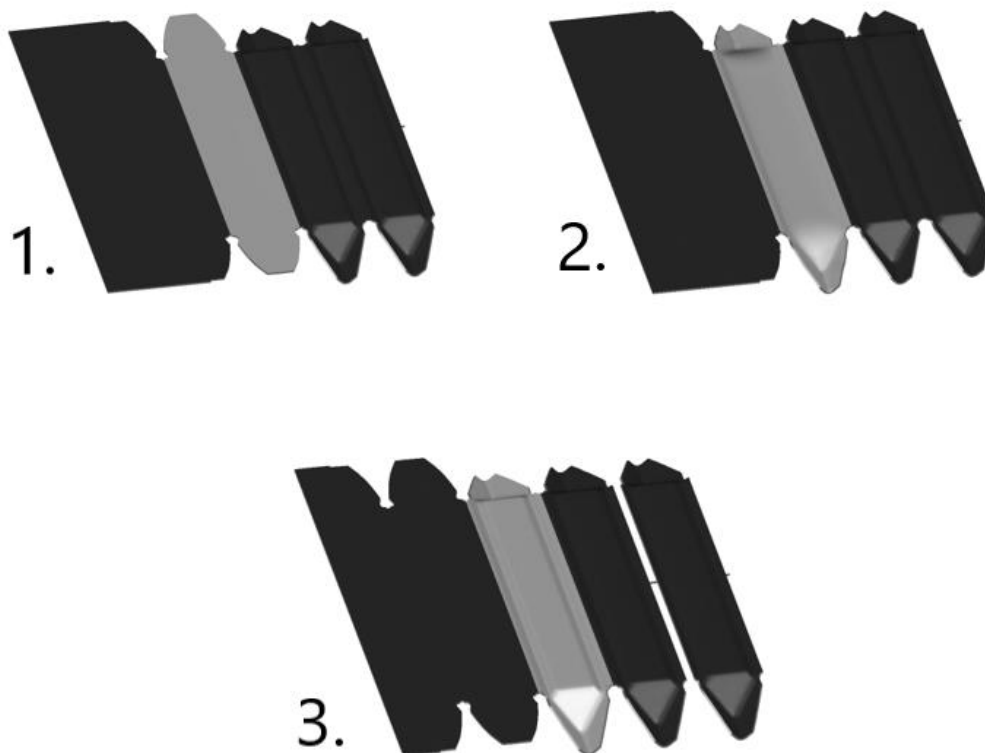


Obrázek 28 - Řez vedením nástroje



Obrázek 30 - Venkovní rozměry nástroje

Vlastní koncept nástroje byl z velké části ovlivněn operací tažení, která vzhledem ke geometrii krytu vyžadovala větší pozornost než operace stříhání. Aby bylo možné tažení provést a zároveň docházelo k bezproblémovému posuvu plechu v nástroji, bylo třeba jej vést o něco výše než spodní tažné nástroje. Z tohoto důvodu byla střížnice, po které je plech veden, umístěna na pružinu, jenž se při zavření nástroje stlačí a umožní tak střížnici dosednout na základovou desku. V tento moment dojde k tažení konce přístříhu do tvaru stříšky, které obstará spodní tažnice. Přidržovač v tento moment slouží jednak k přidržení materiálu při tažení, ale také k vedení střížníků a plní i funkci tažnice. Vylisovaná geometrie o krok dále, kdy je za pomoci tvarových nástrojů a přidržovače plech zafixován, zaručuje pevnou pozici plechu pro tažení.



Obrázek 31 - Průběh operace tažení (1. před operací, 2. první fáze tažení, 3. druhá fáze tažení)

Pro dokončení nejen stříhu, ale také druhé fáze tažení, je třeba úplné zavření nástroje. Vrchní deska je umístěna na silných plynových pružinách, které zajišťují oddělení dvou fází tažení. V druhé fázi tažení dojde ke stlačení těchto pružin a za pomoci vrchního tažníku dojde k vytažení středové plochy. I v tomto případě plní přídržovač funkci tažnice a vodící desky.

Protože plynové pružiny umístěné v horní části nástroje jsou s ohledem na požadovanou sílu poměrně rozměrné, bylo nutné vložit jeden krok navíc, tzv. volná pozice. Během tohoto kroku nedochází k lisování, ale opět pouze k přidržení materiálu. Až v konečné části tohoto kroku dojde po kompletním uzavření nástroje k oddělení dvou po sobě jdoucích dílů. Výlisek, který je oddělen od zbytku pásu plechu, spadne díky gravitaci a případnému skluzu rovnou do připravené bedny na hotové výrobky.

4.10. Volba stroje

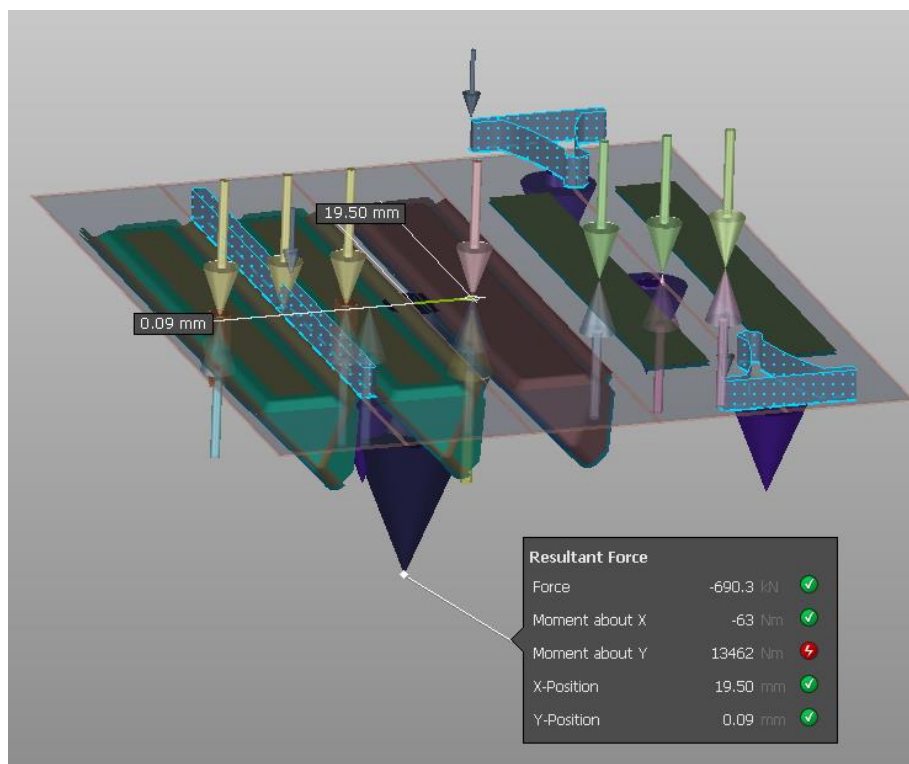
Při volbě stroje je třeba brát v potaz několik faktorů, kterými jsou například počet zdvihů za minutu, pracovní síla, velikost pracovního prostoru, ale také jeho univerzálnost či dostupnost. Protože navrhovaný nástroj bude po jeho vyrobení umístěn do firmy Kerval, je vhodné zvolit stroj, kterým firma aktuálně disponuje. Na tomto základě byl navržen

excentrický lis Šmeral LEN 63, který by měl splňovat hlavní požadavky vycházející z nástroje. Těmi jsou velikost pracovního prostoru ([630x800x355] mm) a jmenovitá síla (630 kN). Dalším pro nás důležitým parametrem je počet zdvihů za minutu, jenž se může pohybovat od 65 do 120. To prakticky znamená více než jeden vyrobený kus za vteřinu. Detailnější informace o stroji jsou dohledatelné v příloze.



Obrázek 32 - Šmeral LEN 63

V rámci simulace v programu Autoform jsme byli schopni zjistit výslednici všech sil, které je třeba vyvinout pro správný chod nástroje. Dle obrázku č.33 je výsledná síla 690 kN, což přesahuje jmenovitou sílu navrženého lisu. Simulace je koncipována na konání stříhu i tažení zároveň, v realitě bude stříh proveden cca 5 mm před spodní úvratí, a tak na konci zdvihu bude kapacita na provedení tažení věnována tažným nástrojům. Díky tomuto kroku je pak možné použít právě lis Šmeral LEN 63. Pokud při zapracování lisu bude zjištěna nutnost větší tvářecí síly, než je k dispozici na uvedeném lisu vyvinout, je zde možnost snížit střížnou sílu díky odstupňování výšky střížníků.

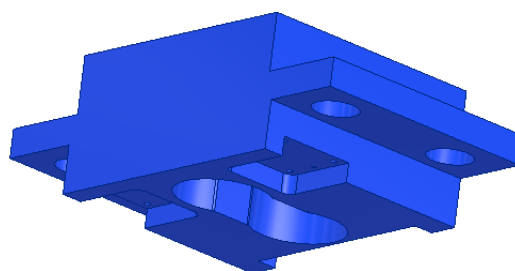


Obrázek 33 - Rozložení a velikosti tvářecích sil

4.11. Komponenty nástroje

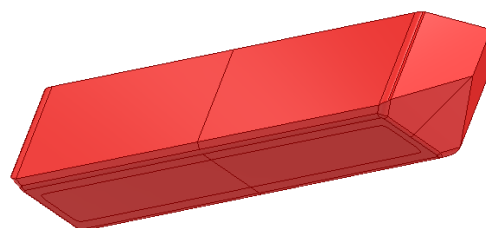
V rámci této kapitoly jsou detailněji popásány jednotlivé komponenty, ze kterých se postupový nástroj skládá.

- Vrchní deska – Slouží k upnutí plynových pružin, střižníků a vertikálního vedení po stranách nástroje, což je realizováno vodícími pouzdry, která jsou fixována k této desce. Také je platformou pro uchycení vrchní části tažníku. Pro tento díl byl zvolen materiál S235.



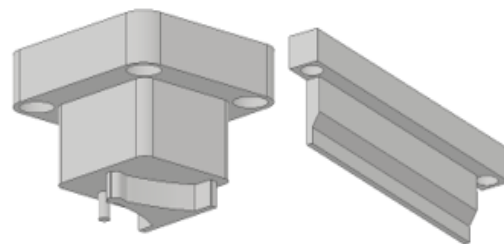
Obrázek 34 - Vrchní deska

- Vrchní tažník – Funkce vrchního tažníku je realizace prolisování středové dutiny, aby vznikl prostor pro vytvoření dutiny výlisku. Je ukotven ve vrchní desce. Aby bylo možné zvýšit žívnostnost nástroje, je nutné povrch zakalit, proto byla zvolena ocel C45.



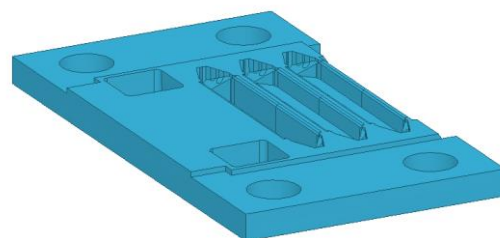
Obrázek 35 - Vrchní tažník

- Střížníky – Střížník na obrázku vlevo je určený pro ostříhnutí materiálu na tvar přístřihu pro tažení. Jde o kombinaci tvarového a kruhového střížníku do jednoho nástroje z důvodu malé vzdálenosti obou prvků. Druhý střížník slouží k oddělení výrobku od pásu plechu. Pro oba střížníky byla zvolena nástrojová ocel X210Cr12.



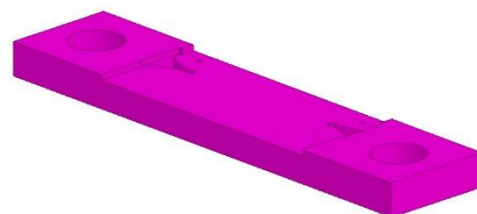
Obrázek 36 - Střížníky

- Přidržovač – Tento díl zastává nejen funkci přidržovače, ale také jako vodící desky. Přidržení probíhá ve dvou dutinách totožné geometrie. Díry slouží k vedení střížníků a tažníků. Materiálem bude opět ocel C45, aby bylo možné zakalit funkční plochy.



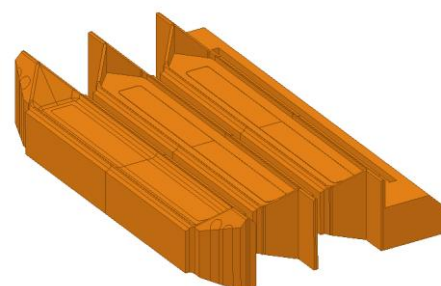
Obrázek 37 - Přidržovač

- Střížnice – Tato deska je umístěna na pružině, která ji při otevření stroje nadzvedává. Díl je uprostřed vyfrézován z důvodu vedení plechu. S ohledem na namáhání dílu se pro tuto součást předpokládá použití nástrojové oceli X210Cr12.



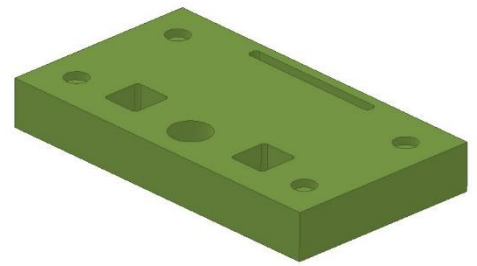
Obrázek 38 - Střížnice

- Spodní tažné nástroje a přidržovače – Jednotlivé segmenty mají tvarovou plochu odpovídající geometrii výlisku. První z nich má za úkol tažení krajních stříšek, druhý slouží jako přidržovač a třetí také plní funkci přidržovače, ale i střížnice pro odstřížení hotového dílu. Z důvodu většího namáhání byla pro tyto komponenty zvolena nástrojová ocel X210Cr12.



Obrázek 39 - Tažné nástroje a přidržovače

- Základová deska – Součást nástroje sloužící jako platforma pro další díly, který mi jsou spodní tažné nástroje a přídržovač zmíněný výše. Dále je zde umístěna pružina na zdvih střížnice a připraveny díry na přichycení vodících sloupků. Zároveň je skrze tuto desku odváděn odštířený materiál. V tomto případě bude dostačující konstrukční ocel S235.



Obrázek 40 - Základová deska

- Plynová pružina – Jedná se o pružinu od firmy Fibro, která má maximální zdvih 25 mm. Plynová pružina byla zvolena z důvodu její síly, která je mnohem vyšší než u klasických vinutých pružin. Navíc odpor těchto pružin výrazně neroste s velikostí jejich stlačení. Tato síla nám dovolila rozfázovat zavírání a otevírání nástroje. Detail pružiny je dostupný v příloze.



Obrázek 41 - Plynová pružina

- Vodící pouzdra a vodící sloupky – Všechny tyto vodící prvky byly vybrány od firmy Fibro. Jejich funkcí je správné vedení jednotlivých součástí nástroje proti sobě a zamezení jejich klopení. Konkrétně zvolené typy jsou opět dostupné v příloze.



Obrázek 42 - Komponenty vedení

- Vinutá pružina – Jedná se o pružinu, jenž má za úkol mimo tvářecí operaci střížnici do manipulační polohy při nad základovou deskou. Tato pružina byla vybrána z katalogu firmy Hennlich a jedná se o pružinu vhodnou do nástrojů. Detail pružiny je dostupný v příloze.



Obrázek 43 - Vinutá pružina

5. Závěr

Tato práce se zaměřuje na realizaci konstrukčního návrhu lisovacího nástroje pro zvolený výlisek krytu zámku pro ocelové dveřní zárubně. Jedná se o díl, na který nejsou kladeny nároky z hlediska mechanických vlastností a nejsou zde zvláštní požadavky na přesnost dílu s výjimkou rozměrů uvedených v práci.

V úvodní části práce bylo nutné seznámit se s problematikou technologií nutných pro výrobu výlisku, jako je technologie stříhání, ohýbání a hluboké tažení. V této části jsou představeny stěžejní problémy, které je nutné u těchto technologií řešit, jako je výpočet tvářecích sil, požadavky, které ovlivní funkční rozměry nástrojů apod. V rámci teoretické části je popsána problematika technologičnosti konstrukce, ke které je třeba přihlížet při návrhu výrobního postupu. Je zde také popsán princip konstrukce lisovacích nástrojů, jednotlivé komponenty, ze kterých se lisovací nástroj skládá.

Pro účely práce je detailně specifikován řešený díl, kterým je kryt zámkové části dveřních zárubní. Funkcí tohoto dílu je zabránit zazdívací hmotě vyplnit prostor, který je nutný k vyjetí střelky a závory při zabezpečení (uzamknutí) dveří. Pro realizaci dílu byla zvolena materiálová jakost DC01. Výchozí tloušťka polotovaru byla zvolena 1,3 mm, což odpovídá tloušťce materiálu pro výrobu dveřních zárubní. Důvod zvolení této tloušťky ovlivnila technologie svařování, která je předpokládána pro připevnění dílů k dveřním zárubním.

Pro návrh lisovacího nástroje bylo nutné nejprve řešit projekt výlisku, kde bylo nutné zvolit polohu výlisku vůči polotovaru a formu polotovaru. Návrh byl potvrzen přes součinitel využití materiálu. Následně bylo nutné zabývat se otázkou počtu lisovacích kroků, definování činností v rámci jednotlivých výrobních kroků a výpočtu tvářecích sil.

Koncept návrhu lisovacího postupu byl ověřen pomocí numerické simulace v SW Autoform. Pro nastavení simulace byly využity geometrie funkčních částí nástrojů, pro simulaci byla použita materiálová karta materiálové jakosti DC01, která je uvedena databázi materiálu simulačního softwaru. Byly odhadnuty podmínky lisovacího procesu pro nastavení numerické simulace. V rámci numerické simulace byla ověřena vyrobitelnost řešeného dílu.

V práci je uvedeno konstrukční řešení lisovacího nástroje. Jsou popsány jednotlivé komponenty, ve kterých se lisovací nástroj skládá, popsána jejich funkce a navržená vhodná materiálová jakost pro realizaci dílu. U vyráběných dílů, je v rámci přílohy uveden výrobní výkres. Pro normalizované díly byl z katalogu normálíí navržen vhodný typ.

Navržené konstrukční řešení dílů je připravené pro výrobu jednotlivých komponent a následně pro sestavení lisovacího nástroje. Nástroj je uvažován provozovat v lisu, který koncepčně odpovídá lisu LEN 63. Vypočtené tvářecí síly se blíží jmenovité síle lisu, je však nutné si uvědomit, že průběhy sil nebudou mít své maximum v jednom okamžiku, lze tedy předpokládat, že v reálu budou lisovací síly nižší a uvažovaný stroj z hlediska své maximální síly dostačující. Při zapracování nástroje by však bylo dobré velikost síly ověřit, a pokud by se reálná lisovací síla blížila jmenovité síle lisu, je možné provést snížení výšky jednotlivých střižníků tak, aby všechny střižné operace neprobíhaly současně, čím se sníží celková tvářecí síla.

Dalším doporučením je stavbu nástroje realizovat nejprve ověřením lisovací operace za pomoci polotovaru vyrobeného např. řezáním na laseru. Díky ní bude ověřeno zkrácení pásu při vytvoření výlisku. Na základě tohoto ověření bude možné provést korekci přesné polohy střižníků vůči polotovaru a tím i ověření správné volby kroku. Po tomto ověření je možné dokončit stavbu zbylých částí nástroje.

Seznam použité literatury

- [1] DVORÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 8073720205.
- [3] JANOVEC, J.; MACEK, K.; ZUNA, P., *Fyzikální metalurgie*, Praha: ČVUT Praha, 2004, ISBN 80-01-02935-2.
- [4] FABÍK, R., *Tváření kovů*, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012, ISBN 978-80-248-2572-4.
- [5] ŽÍDEK, M., *Metalurgická tvářitelnost ocelí za tepla a za studena*, Praha: ALEKO, 1995, ISBN 80-85341-45-X.
- [6] PETRUŽELKA, J., BŘEZINA, R., *Tvářitelnost kovových materiálů*, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2001.
- [7] HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
- [8] PETRUŽELKA, Jiří. *Tvářitelnost a nekonvenční metody ve tváření*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 8070786353
- [9] *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02351-6.
- [10] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření I*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita, 2001. ISBN 8070788771.
- [11] SCHULER, GmbH. *Metal Forming Handbook*. 1. Heidelberg: Springer Berlin, 1998. ISBN 978-3-642-58857-0.
- [12] JOHN D., Beadle. *Metal Forming*. 1. London: Red Globe Press, 1971.
- [13] VOLK, W. a J. STAHL. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. 1. Berlin: Springer, 2019. ISBN 978-3-662-53119-8.
- [14] Akademie tváření: Ohýbání. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010, (7), 52-54 [cit. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>

- [15] R&D Update: Predicting springback when bending AHSS and aluminum alloys, Part 1 -The Fabricator. The Fabricator – Metal Fabricating News, Products, Articles, and More [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/predicting-springback-when-bending-ahss-and-aluminum-alloys-part-1>
- [16] Akademie tváření: Odpružení v plošném tváření. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2011, (5), 74 [cit. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html>
- [17] UEMORI, Takeshi, Tetsuo NAKA, Naoya TADA, Hidenori YOSHIMURA, Takashi KATAHIRA a Fusahito YOSHIDA. Theoretical predictions of fracture and springback for high tensile strength steel sheets under stretch bending. *Procedia Engineering* [online]. 2017, 207, 1594-1598 [cit. 2022-12-20]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.1054. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817358472>
- [18] ZHANG, Feifei, Jianbin RUAN, Ji ZHANG, Kai HE a Ruxu DU. Experimental study of springback behavior in incremental bending process. *Procedia Manufacturing* [online]. 2018, 15, 1290-1297 [cit. 2022-12-20]. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.356. ISSN 23519789. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918310527>
- [19] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, c2004. ISBN 0-8311-3182-9
- [20] Akademie tváření: Hluboké tažení [online]. Copyright © 2001 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni>
- [21] FOREJT, Milan a Miroslav PIŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje: Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [22] DVORŮŽEK, Milan et al. *Technologie II*. 3. vyd. Brno: CERM, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [23] *Akademie tváření: Stříhání* [online]. 2010 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
- [24] ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřetelky: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ÚNM, 1975. 28 s. N 16 198.
- [25] ČSN 22 6001. *Názvoslovní technologie tváření kovů*. 1. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1968.
- [26] KOTOUČ, Jiří et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [27] BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-x.

[28] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-245-6.

[29] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha: SCIENTIA, 1998. Tváření, s. 10-80. ISBN 80-7183-054-2.

[30] O společnosti [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.kerval.com/o-spolecnosti>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma vzniku skluzu.....	11
Obrázek 2- Dvojčatění	11
Obrázek 3- Průběh ohýbání	14
Obrázek 4- Napětí a deformace při ohybu.....	15
Obrázek 5- Velikost elastické deformace	17
Obrázek 6 - Průběh ohybové síly.....	18
Obrázek 7 - Hlubokého tažení	19
Obrázek 8 - Průběh stříhání	21
Obrázek 9 - Závislost střížné síly na zdvihu nástroje	23
Obrázek 10 - Těžiště střížných sil.....	24
Obrázek 11 - Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy (a - malá střížná mezera, b - optimální střížná mezera, c - velká střížná mezera).....	25
Obrázek 12 - Způsoby volby vůle.....	26
Obrázek 13 - Střížná plocha.....	27
Obrázek 14 - Důležité rozměry krytu zámku.....	36
Obrázek 15 - Svitek pásu	37
Obrázek 16 - Rozvin pro operaci tažení	38
Obrázek 17 - Nástřihový plán	38
Obrázek 18 - Tolerance kulatého střížníku a střížnice	41
Obrázek 19 - Tolerance tvarového střížníku a střížnice	42
Obrázek 20 - Tolerance koncového střížníku a střížnice.....	42
Obrázek 21 - Porovnání řezu střížníků	44
Obrázek 22 - Nástřihový plán v SW Autoform	45
Obrázek 23 - Analýza porušení	46
Obrázek 24 - Analýza ztenčení	47
Obrázek 25 - Koncept simulace.....	47
Obrázek 26 - Návrh nástroje	49
Obrázek 28 - Řez osou nástroje	49
Obrázek 27 - Řez vedením nástroje	49
Obrázek 29 - Venkovní rozměry nástroje.....	50
Obrázek 30 - Průběh oprace tažení (1. před operací, 2. první fáze tažení, 3. druhá fáze tažení)	51
Obrázek 31 - Šmeral LEN 63	52
Obrázek 32 - Rozložení a velikosti tvářecích sil	53

Obrázek 33 - Vrchní deska	53
Obrázek 34 - Vrchní tažník.....	53
Obrázek 35 - Střížníky	54
Obrázek 36 - Přidržovač	54
Obrázek 37 - Střížnice	54
Obrázek 38 - Tažné nástroje a přidržovače	54
Obrázek 39 - Základová deska.....	55
Obrázek 40 - Plynová pružina	55
Obrázek 41 - Komponenty vedení	55
Obrázek 42 - Vinutá pružina.....	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přesnost stříhání	27
Tabulka 2 - Materiály střížných nástrojů.....	31
Tabulka 3 - Chemické složení a mechanické vlastnosti DC01.....	40

Seznam příloh

P1 – ZÁKLADOVÁ DESKA

P2 – STŘIŽNICE

P3 – VRCHNÍ DESKA

P4 – VODÍCÍ DESKA

P5 – STŘIŽNÍK TVAROVÝ

P6 – STŘIŽNÍK KONCOVÝ

P7 – MATERIÁLOVÝ LIST DC01

P8 – PLYNOVÁ PRUŽINA FIBRO

P9 – PRUŽINA HENNLICH

P10 – VODÍCÍ POUZDRO FIBRO 2

P11 – VODÍCÍ POUZDRO FIBRO

P12 – VODÍCÍ SLOUPEK FIBRO

P13 – LEN 63

P14 – LEN 63 1

P15 – LEN 63 2