

Návrh technologie výroby plechového dílu

Dušan Bílek

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:	Dušan Bílek
Osobní číslo:	T20170
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh technologie výroby plechového dílu

Zásady pro vypracování

1. Teoretická studie k tématu práce
2. Návrh technologie výroby daného plechového dílu
3. Sestavení modelu tvářecího nástroje pro daný díl za pomoci CAD
4. Vypracování výkresové dokumentace

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. ISBN 9788021447479.

WANG, Darren, ed. *Handbook of metal forming process*. New York: NY research press, [2015], VI, 212 s. ISBN 978-1-63238-253-5.

ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYAY, ed. *Sheet metal forming fundamentals*. Ohio: ASM International, [2012], XIII, 296 s. ISBN 978-1-61503-842-8.

BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014, 173 s. ISBN 9788074544712.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, 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 7. 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 užít 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:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návrh plechového krytu pod motor, příslušných ohýbacích nástrojů a technologického postupu výroby.

Teoretická část se zabývá problematikou tváření s důrazem na technologii ohýbání a stříhání. V praktické části je uveden návrh dvou variant krytů, výpočtová část pro ohýbání a stříhání, konstrukce ohybníku a ohybnice.

Klíčová slova: Ohýbání, stříhání, nástroje, návrh, kryt pod motor.

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the design of a sheet metal bottom engine cover, the relevant bending tools and the technological process of production.

The theoretical part deals with the issues of forming with emphasis on bending and shearing technology. The practical part presents the design of two variants of covers, the calculation part for bending and shearing, the design of the punch and the die.

Keywords: Bending, shearing, tools, design, bottom engine cover

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za jeho cenné informace a připomínky, čas strávený nad konzultacemi, trpělivost a ochotu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TVÁŘENÍ	12
1.1 TVÁŘENÍ ZA STUDENA	12
1.1.1 Výhody a nevýhody tváření za studena	12
1.2 TVÁŘENÍ ZA TEPLA.....	12
1.2.1 Výhody a nevýhody tváření za tepla	13
1.3 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ.....	13
1.3.1 Technologie plošného tváření	13
1.4 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ.....	14
1.5 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI KOVŮ PRO TVÁŘENÍ.....	14
1.5.1 Tvařitelnost	14
1.5.2 Tažnost.....	14
1.5.3 Skluz	16
1.5.4 Dvojčatění	16
2 TVÁŘECÍ STROJE	17
2.1 VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE.....	17
2.2 ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ	17
2.2.1 Tvářecí stroje silové.....	17
2.2.2 Uspořádání pohonů.....	18
2.2.3 Tvářecí stroje zdvihové.....	20
2.2.4 Tvářecí stroje energetické	23
3 OHÝBÁNÍ	26
3.1 MECHANIKA OHÝBÁNÍ.....	26
3.2 OHYBOVÝ MOMENT.....	27
3.3 RÁDIUS OHYBU	28
3.4 OHYBATELNOST MATERIÁLU	29
3.5 KOMPENZACE ODPRUŽENÍ MATERIÁLU.....	30
3.6 OHRAŇOVACÍ LIS	30
4 STRÍHÁNÍ	32
4.1 STRÍHÁNÍ	32
4.1.1 Výpočet střížné síly pro rovnoběžné nůžky	33
4.1.2 Výpočet střížné síly pro nůžky se zesílenými noži.....	34
4.2 VYSTŘIHOVÁNÍ A DĚROVÁNÍ.....	35
4.2.1 Střížná vůle.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	39

6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	40
6.1	KRYT MOTORU	40
6.1.1	Návrh vlastního řešení	40
6.1.3	Návrh krytu č.2.....	42
6.2	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY.....	42
6.2.1	Objednání materiálu	43
6.2.2	Stříhání nebo tepelné dělení	43
6.2.3	Zhotovení děr	43
6.2.4	Ohýbání na ohraňovacím lisu.....	43
6.2.5	Povrchová úprava	43
7	VOLBA MATERIÁLU	44
8	VÝPOČTY OHYBŮ NA VÝLISKU.....	45
8.1	VÝPOČET MINIMÁLNÍHO RÁDIUSU OHYBU	45
8.2	VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO RÁDIUSU OHYBU	46
8.3	VÝPOČET ODPRUŽENÍ	46
8.4	VÝPOČET POLOHY NEUTRÁLNÍ OSY	48
8.5	DĚLKA ROZVINU	49
8.6	VÝPOČET OHÝBACÍ SÍLY	49
9	NÁVRH OHÝBACÍHO NÁSTROJE.....	50
9.1	KONSTRUKCE OHYBNÍKU.....	50
9.1.1	Upnutí ohybníku do ohraňovacího lisu.....	50
9.1.2	Poloměr zaoblení ohybníku	50
9.1.3	Šířka ohybníku	50
9.1.4	Materiál ohybníku	51
9.1.5	Tepelné zpracování hrotu.....	51
9.2	KONSTRUKCE OHYBNICE	52
9.2.1	Upnutí ohybnice na ohraňovací lis	52
9.2.2	Poloměr zaoblení ohybnice	52
9.2.3	Šířka otevření ohybnice	53
9.2.4	Šířka ohybnice.....	53
9.2.5	Materiál a tepelné zpracování ohybnice	53
10	DĚLENÍ MATERIÁLU	55
10.1	STŘÍHÁNÍ NA NŮŽKÁCH	55
10.1.1	Maximální potřebná střižná síla	55
10.1.2	Vystřížení tvaru krytu č.1	56
10.1.3	Koeficient využití materiálu.....	57
10.2	ŘEZÁNÍ NA LASERU	57
11	SESTAVA OHÝBACÍHO NÁSTROJE	58
12	DISKUZE ŘEŠENÍ.....	59
	ZÁVĚR	60

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	66
SEZNAM TABULEK	68
SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Škoda Octavia 1. generace dnes patří mezi ty nejrozšířenější automobily jezdících po českých silnicích. Popularitu získala svou jednoduchostí, spolehlivostí a nízkou cenou. Většina vlastníků ji preferuje jako náhradu za malé nákladní a pracovní vozy, převážně kvůli nadstandardnímu nákladnímu prostoru. Je vhodná pro převážení nářadí a materiálu na stavbu nebo zavazadel při cestě na chalupu. Někteří jedinci jí naopak věnují spoustu péče a snaží se exteriér automobilu co nejvíce zkrášlit, což zahrnuje i snížení podvozku a tím pádem jeho světlou výšku. Vůz však od výroby nebyl na tyto nároky a zacházení stavěn, o čemž vypovídá i ochrana motorového prostoru. Originální kryt pod motorem je vyroben z plastu. Tento plastový kryt neposkytuje dostatečnou ochranu při jízdě staveništěm, lesní cestou nebo v případě sníženého vozu i na běžných cestách.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout plechový kryt motoru a jeho výrobní proces. Důležitým faktorem je samotný kryt, tak i proces výroby navrhnout co nejjednodušeji. Na diskusních fórech, věnovaných přesně Škodě Octavii 1. generace je mnoho lidí s možností vlastní výroby tohoto dílu. Jakožto operátoři výroby ve firmách, kteří mají k dispozici potřebné tvářecí stroje, nebo přímo samotné firmy. Práce má sloužit jako návod pro tyto dvě skupiny, ať už pro kusovou nebo sériovou výrobu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TVÁŘENÍ

Cílem technologie tváření je vyvolat trvalou plastickou deformaci v tělese do námi zvolených rozměrů. Za působení vnějších sil je potřeba dosáhnout takové napjatosti v materiálu, která přesahuje jeho napětí v mezi kluzu. Překročením meze kluzu jsou atomy v krystalické mřížce materiálu posunuty ze své rovnovážné polohy. Poté co materiál přestane být zatěžován vnějšími silami, nedochází k navrácení atomů do původní polohy jako u pružné deformace, ale zůstávají vychýleny, čímž vzniká trvalá plastická deformace. Při tomto procesu nesmí být narušena celistvost materiálu. [1]

1.1 Tváření za studena

Tvářením za studena se rozumí změny struktury a fyzikální změny materiálu pod teplotou rekrystalizace, která obvykle bývá 0,2 až 0,3 násobek teploty tavení. Deformace zrn probíhá ve směru tváření. Charakteristikou tohoto druhu tváření je zpevňování, které je zapříčiněno interakcí dislokací s dalšími dislokacemi v mřížce, jako jsou například vakance a substituční poruchy. Vlivem tohoto procesu je navýšení meze pevnosti a meze kluzu v materiálu, a to může být až trojnásobné oproti vlastnostem materiálu před tvářením. Další mechanické vlastnosti jako pružnost a houževnatost jsou také pozitivně ovlivněny, avšak výjimkou je snížení tažnosti. Pokud bychom chtěli materiál dále tvarovat, museli bychom obnovit jeho plastické vlastnosti pomocí rekrystalizačního žíhání. [1,2]

1.1.1 Výhody a nevýhody tváření za studena

Výrobky takto tvarované dosahují vysoké přesnosti co se týče rozměrů. Kvalita povrchu není nijak narušena, jelikož zde nedochází k okujení. Zpevnění v materiálu je sice výhodou, ale nevyskytuje se rovnoměrně. Nelze dosáhnout vysokých stupňů deformace. Nutnost použití velkých tvářecích sil má negativní dopad na tvářecí nástroje. [4]

1.2 Tváření za tepla

Tváření za tepla běžně probíhá za teplot v rozmezí 0,6 až 0,7 teploty tavení. Stejně tak jako u tváření za studena zde probíhá zpevňování a dále uzdravování. Uzdravováním rozumíme odstranění zpevnění již v průběhu procesu tváření za tepla, které probíhá dynamicky, nebo jej lze v průběhu odstranit jen z části a dále jej uzdravovat po tváření, neboli staticky. Tvářitelnost závisí na rychlosti deformace, kdy narůstající rychlost deformace má za následek klesající tvářitelnost a rostoucí deformační odpor. Tváření za tepla je více ovlivněno

deformační rychlostí než tváření za studena. Fyzikální a mechanické vlastnosti nejsou tímto procesem ovlivněny. Kvůli zachování plastických vlastností lze docílit větších deformací.

[1]

1.2.1 Výhody a nevýhody tváření za tepla

Vlivem tepla je pro deformaci potřeba menší síly jak za tepla, čímž nám klesá mez kluzu materiálu a narůstá jeho tažnost, což má pozitivní vliv na životnost nástroje. U takto tvářených materiálů se potýkáme s nižší přesností požadovaných rozměrů a oxidací povrchu neboli zokujením. Trhliny vně materiálu zanikají. [2,4]

1.3 Plošné tváření

U plošného tváření dominují deformace ve dvou směrech, deformace ve třetím směru je výrazně nižší. Nejběžnějším polotovarem je plech, kdy se při tváření nijak zvlášť nemění jeho tloušťka. [2,4]

1.3.1 Technologie plošného tváření

- Tlačení (prosté, zužování, rozšiřování, smykové, rotační)
 - Tažení (prosté, protahování, zužování, rozšiřování, zpětné, tažení se ztenčením stěny)
 - Ohýbání (prosté, ohraňování, rovnání, obrubování, lemování)
 - Stříhání (prosté, prostřihování, vystřihování, přistřihování, nastřihování, děrování)
- [2,4,5]

1.4 Objemové tvářeni

U objemového tvářeni dochází k deformacím ve všech třech směrech, tudíž se tvaruje celý objem materiálu. [2,4,5]

1.4.1 Technologie objemového tvářeni

- Kování (volné, zápusťkové, kalibrování, izotermické)
- Tažení (rozšiřování, redukování)
- Protlačování (dopředné, zpětné, profilové)
- Válcování (podélné, příčné, kosé,) [2,4,5]

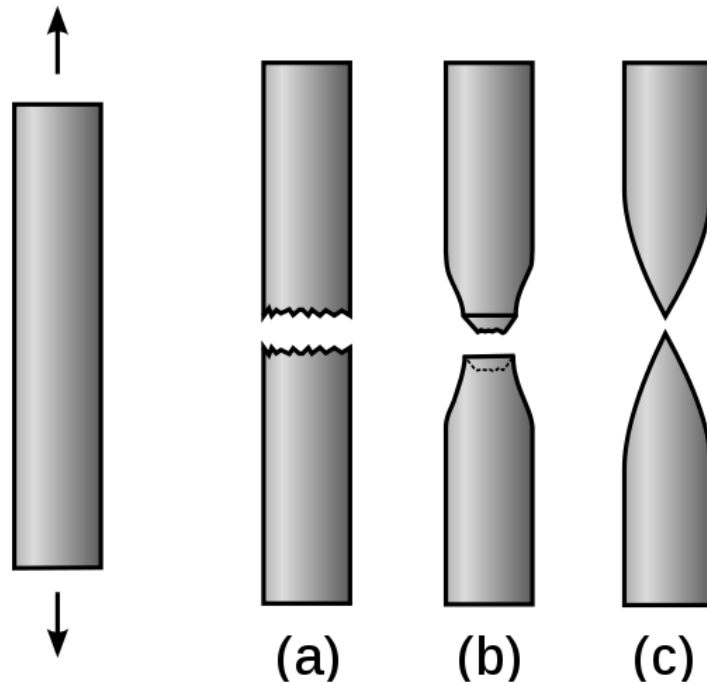
1.5 Technologické vlastnosti kovů pro tvářeni

1.5.1 Tvařitelnost

Tvařitelnost je technologická vlastnost materiálu. Za tvářitelný materiál můžeme uvažovat ten, který lze jednoduše zpracovat do požadovaného tvaru tlakovým namáháním, aniž by došlo k přerušeni jeho celistvosti. [6,19]

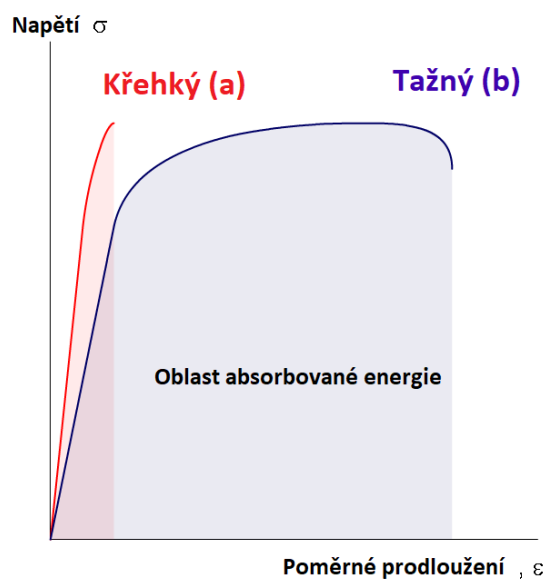
1.5.2 Tažnost

Tažnost je schopnost materiálu nabýt tvarovou deformaci pod tahovým zatížením. Tažným materiálem lze uvažovat takový materiál, který jednoduše nabude tvar drátu při zatížení tahem. Statickou zkouškou tahem se dá jednoduše určit tažnost daného materiálu, z profilu zkušební tyče po jejím přetržení. [6,19]



Obr. 1 Porovnání profilů zkušebních tyčí tahové zkoušky [6]

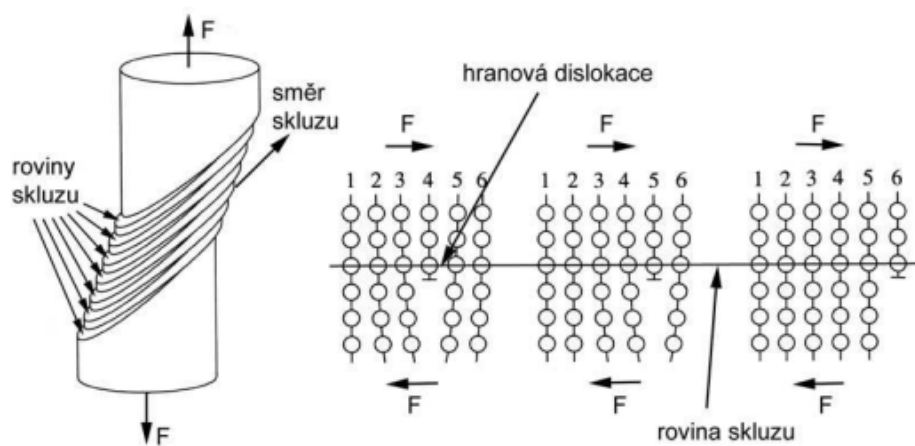
Profil (a) vykazuje lom bez plastické deformace, považujeme ho tedy za křehký. U profilu (b) se nachází pouze nepatrný náznak plastické deformace. Tyto dva případy profilů jsou vyhodnoceny jako materiály s nízkou tažností. Oproti tomu profil (c) vyznačuje značnou plastickou deformaci, proto je považován za materiál s vysokou tažností. Z grafu tahové zkoušky je vidět porovnání křehkého materiálu profilu (a) s tažným materiálem profilu (c). [6]



Obr. 2 Tahový diagram pro profily (a,c) [6]

1.5.3 Skluz

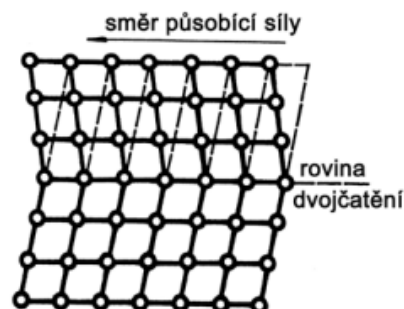
Skluz, neboli pohyb dislokací, se objevuje ve skluzových rovinách, kde jsou atomy nejhustěji uspořádány. Faktem je, že malá vzdálenost mezi atomy umožňuje snazší pohyb v dislokacích, narozdíl od vzdáleností větších. Takto zaplněné roviny obsahují více prostoru pro přechodné polohy atomů. Ke skluzu dochází tehdy, kdy je překročeno kritické skluzové napětí. Hodnota tohoto napětí je závislá na několika faktorech, z nichž nejzásadnější jsou: typ krystalické mřížky, teplota, předešlé deformace. Na obr.3 je znázorněn skluz v kubické plošně středěné mřížce. [7]



Obr. 3 Skluz v kubické plošně středěné mřížce [7]

1.5.4 Dvojčatění

Dvojčatění vzniká za nízkých teplot a vysokých rychlostech deformace, převážně v kubické prostorově středěné mřížce. Pro dvojčatění je potřeba vyšší hodnoty kritického napětí než pro skluzové napětí, proto je výskyt dvojčatění oproti skluzu spíše ojedinělý. Principem tohoto jevu je přesun atomů o nepatrnou meziatomovou vzdálenost podle roviny symetrie. Na obr.4 je znázorněn posun části mřížky nad rovinou dvojčatění, neboli také rovinou symetrie, vlivem působící síly. Vzniká tak zrcadlově symetrický tvar mřížky. [8,9]



Obr. 4 Deformace dvojčatěním [9]

2 TVÁŘECÍ STROJE

Za tvářecí stroj se považuje dynamická soustava komponentů pro vykonání technologického procesu, jehož cílem je trvale deformovat určité těleso. Tyto stroje se rozlišují na základě pohybu jejich nástroje na dvě skupiny. [10,11]

- Tvářecí stroje s relativním přímočarým pohybem
- Tvářecí stroje s rotačním nebo obecným pohybem

2.1 Volba tvářecího stroje

Pro správné navržnutí tvářecího stroje pro daný proces je potřeba brát v potaz mnoho proměnných. Nejdůležitějšími faktory obecně bývá:

- množství vyráběných kusů
- rozměrové parametry daného výrobku
- tvářecí síly
- ekonomické hledisko

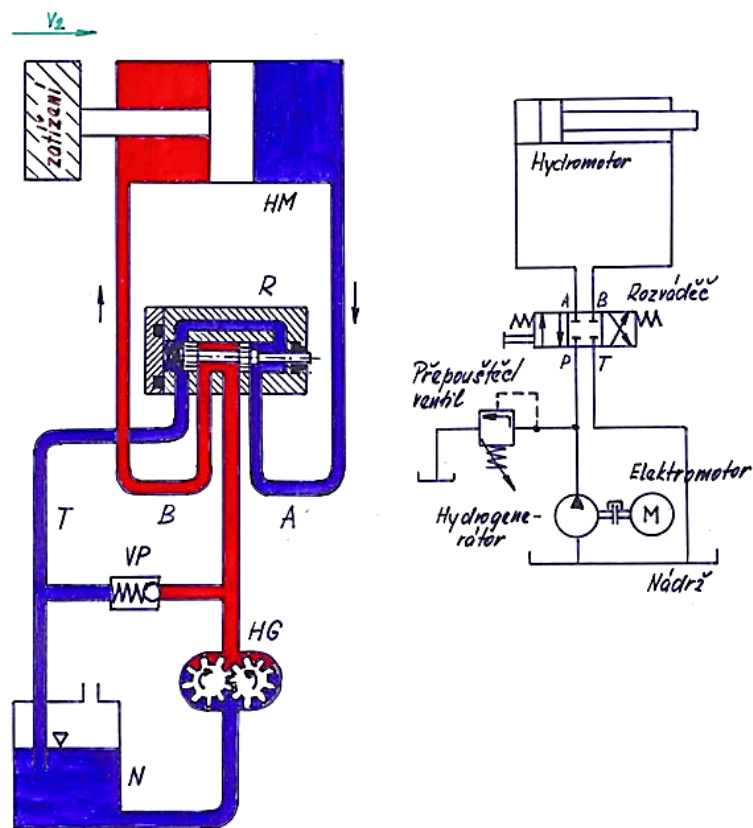
2.2 Rozdělení tvářecích strojů

Tvářecí stroje dělíme na:

- Tvářecí stroje silové
- Tvářecí stroje zdvihové
- Tvářecí stroje energetické

2.2.1 Tvářecí stroje silové

Silové tvářecí stroje využívají hydraulického pohonu. Mechanická energie je měněna na energii tlakovou za pomoci hydrogenerátoru. Následně je natlakovaná kapalina dopravena do hydromotoru, kde je zpětně přeměněna v energii mechanickou. Pracovní kapalinou může být buďto olej (olejová hydraulika) nebo emulze vody a oleje (vodní hydraulika). [10]

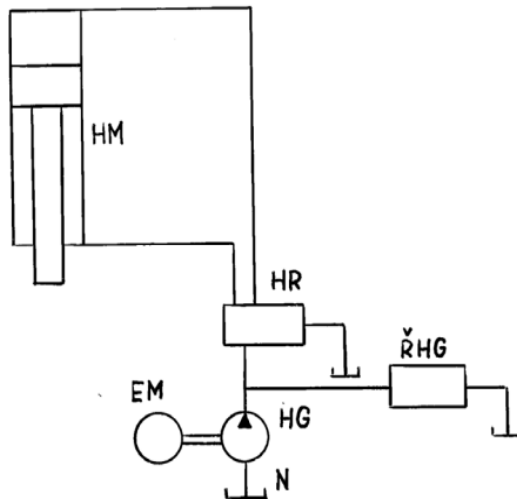


Obr. 5 Schéma jednoduchého hydraulického obvodu [10]

2.2.2 Uspořádání pohonů

Přímý pohon

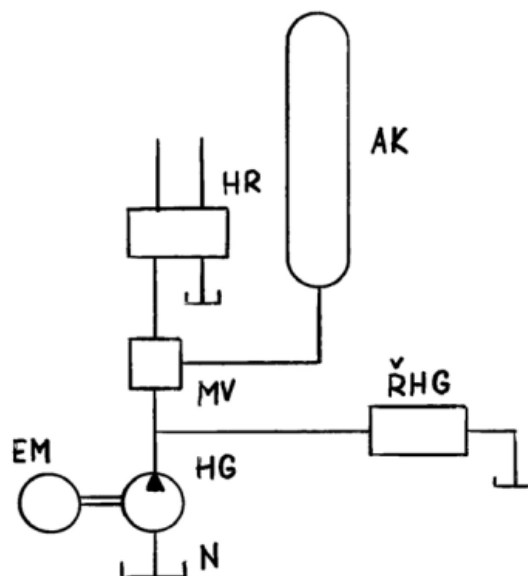
Přímým pohonem je myšlen pohon s čerpadlem nebo hydrogenerátorem. Tlak v kapalině se mění v závislosti na odporu vyvolaného pístem. Na rychlost pracovního pístu nemá jeho odpor vliv, rychlost je tedy závislá pouze na průtoku kapaliny z hydrogenerátoru. Pokud je průtok konstantní, rychlost pístu se nemění. Nejčastějším případem přímého pohonu je vysokotlaké rotační čerpadlo. Pro velké pracovní rychlosti jsou tyto pohony nevhodné, jelikož výkon těchto jednotek by musel být příliš velký. [10]



Obr. 6 Blokové schéma přímého pohonu [10]

Nepřímý pohon

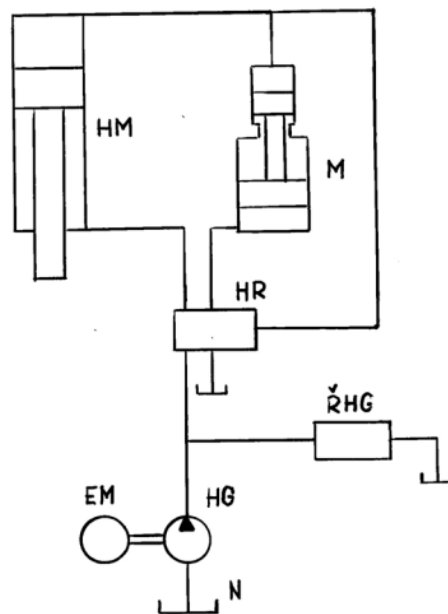
Nepřímý, neboli akumulátorový pohon má konstantní tlak kapaliny v hlavním rozvodu. Zvyšujícím pracovním odporem klesá rychlost pracovního pístu. Kapalina je permanentně přiváděna oproti konstantně natlakovanému akumulátoru. Z energetického hlediska má nepřímý pohon výhodu díky akumulátoru, který když je dostatečně naplněn, tak dojde k dočasnému vypnutí čerpadel. Průměr výkonu stroje za celý jeho pracovní cyklus udává potřebný výkon čerpadla. [10]



Obr. 7 Blokové schéma nepřímého pohonu [10]

Multiplikátorový pohon

Multiplikátor je tvořen dvěma válci odlišných průměrů. Válec s větším průměrem je napojen na nízkotlaký hydraulický obvod a válec s menším průměrem zas na vysokotlaký hydraulický obvod. Dojde tedy k navýšení výstupního tlaku. U tvářecích strojů využívající multiplikátory lze navýšit pracovní tlak na 40 až 100 MPa. [10]



Obr. 8 Blokové schéma obvodu s multiplikátorem [10]

Kombinovaný pohon

Kombinovaný pohon využívá kombinace předešlých pohonů pro různé operace.

2.2.3 Tvářecí stroje zdvihové

Zdvihové tvářecí stroje, neboli mechanické lisy, využívají pro přenos energie mechanických převodů. Lisy lze dělit podle:

Koncového převodu:

- výstředníkové, klikové, hřebenové, šroubové atd.

Jmenovité síly:

- lehké ($< 500 \text{ kN}$)
- střední ($500 \div 5000 \text{ kN}$)
- těžké ($> 5000 \text{ kN}$)

- Pracovního použití:
- jednoúčelové: pro jednu operaci a jeden výrobek
- universální: tváření různými operacemi u výrobků různých rozměrů
- speciální: jedna operace pro více rozměrů

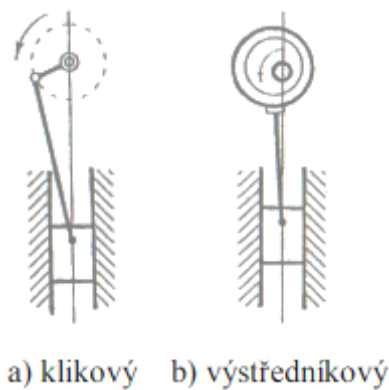
Technologie tváření:

- pro plošné tváření: tváření plechů ohraňovacími lisami nebo stříhání tabulovými nůžkami
- pro objemové tváření: kovací lisami
- pro stříhání a děrování: tabulové nůžky, děrovací lisami

Lis je tvořen uspořádáním konstantních převodů a konečným mechanismem vykonávající přímočarý vratný pohyb. Na počátku tohoto mechanismu je výstředník nebo klika, jakožto hnací člen, a na výstupu beran. Za jednu otáčku kliky se uskuteční jeden pracovní cyklus, z něhož je pracovním zdvihem jen malá část otáčky. Implementací setrvačnicku lze zvýšit účinnost pracovního cyklu. Správně zvolený mechanismus bude distribuovat sílu lisu tak, aby byla co nejvíce totožná průběhu tvářecí síly. Lis nesmí být přetížen působením síly, momentu, anebo prací. Pokud k přetížení dojde, hrozí přehřátí elektromotoru, prokluz třecí spojky nebo přestřižení pojistky beranu. [10,11,12]

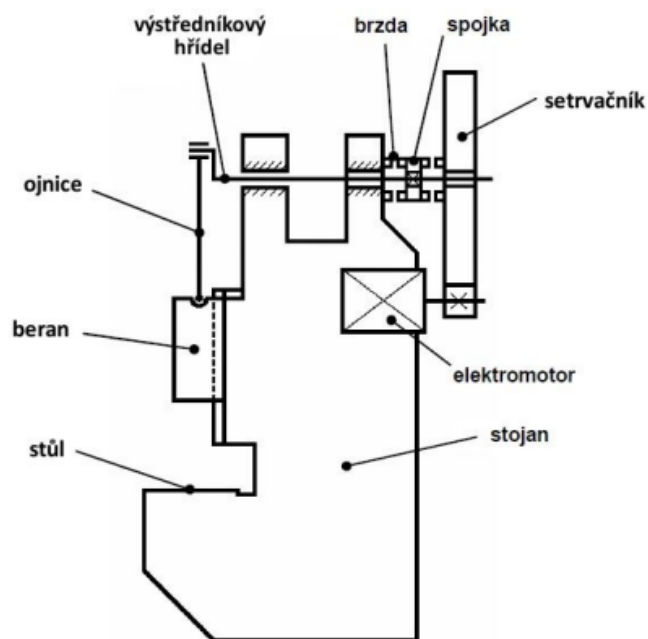
Výstředníkové a klikové lisami

Kliková nebo výstředníková hřídel udává přímočarý vratný pohyb beranu. Výstřednost hřídele u výstředníkového mechanismu je menší než průměr hřídele. Jedná se o excentricky vyosené pouzdro oproti hřídeli.

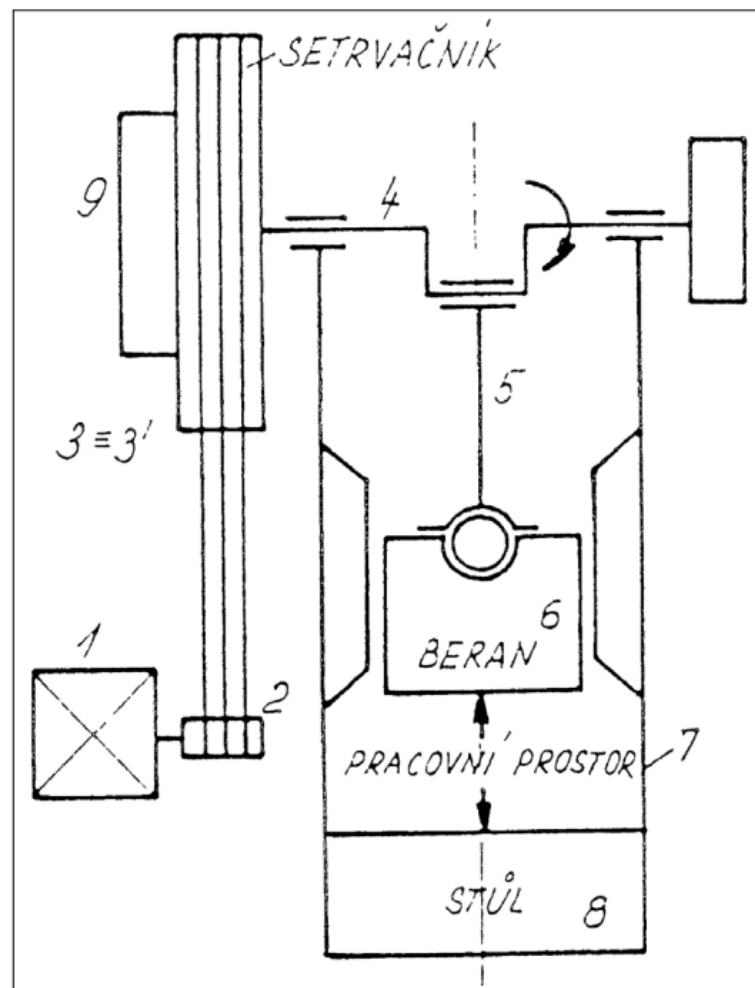


Obr. 9 Klikový a výstředníkový mechanismus [11]

U výstředníkového mechanismu lze měnit délku zdvihu mnohdy pouhým natočením výstředníku, u kliky toho lze docílit změnou délky ojnice. Dělení výstředníkových lisů lze rozlišovat podle konstrukce stojanu na dvoustojanový a jednostojanový, zatím co klikové lisy bývají většinou dvoustojanové. Na výstředníkové hřídeli se na jednom konci nachází setrvačnick, který slouží k uchování energie, a je s ní pevně spojen. Setrvačnick je poháněn elektromotorem pomocí řemenu. Na hřídeli je umístěna také spojka mezi setrvačnickem a výstředníkem, kterou lze nastavit pro potřeby pracovního cyklu. Pokud spojka není v záběru, brzda zajistí beran v horní poloze a pro vykonání dalšího úderu je třeba ji opět sepnout. Spojka s brzdou hrají klíčovou roli v bezpečnosti práce. Při jejich špatné funkci by mohlo dojít k náhlému pádu beranu ze zajištěné horní pozice. [10,11]



Obr. 10 Schéma výstředníkového lisu [11]



Obr. 3.14 – Struktura klikového lisu

1 – hnací motor, 2,3 – převody, 4 – klikový hřídel, 5 – ojnice, 6 – beran, 7 – stojan,
8 – stůl, 9 – spojka, 10 – brzda

Obr. 11 Schéma klikového lisu [10]

2.2.4 Tvářecí stroje energetické

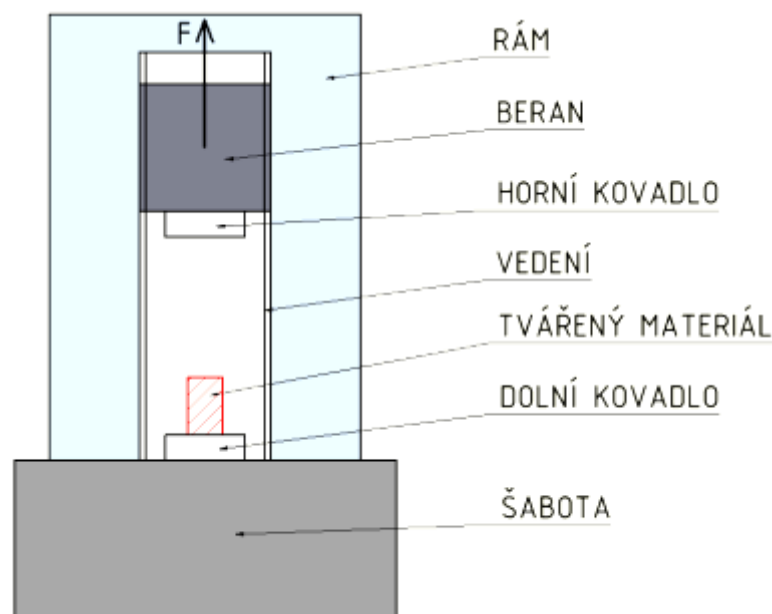
Energetickým tvářecím strojem je myšlen buchar. Kovací buchar je stroj, který využívá pro svou činnost energii z hmotnosti a rychlosti volně padajícího beranu. Beran lze dodatečně urychlit například stlačeným vzduchem. Existuje několik druhů bucharů, jako jsou gravitační buchary, silově poháněné buchary a protiúderové buchary. Operují mnohem rychleji než hydraulické lisu, což s sebou přináší jisté výhody z hlediska doby kování a nežádoucího chlazení horkého výkovku. K dosažení požadovaného tvaru většinou nestačí jen jeden úder, proto je možné provést hned několik po sobě jdoucích úderů. [12]

Gravitační buchary

Gravitační buchar je třídou kovací bucharů využívající pro kování energii získanou hmotností a rychlostí volně padajícího beranu. Síla úderu je závislá na hmotnosti beranu a výšce, ze které je beran spuštěn. Hmotnost beranu se pohybuje v rozmezí od 180 do 4500 kg. Běžná provozní rychlost je 3,6 až 6 m/s. Pohon stroje je v záběru pouze tehdy, když je buchar dopravován do horní pozice. [12]

Silově poháněné buchary

Stejně jako u gravitačního bucharu je úder vyvozen hmotností a rychlostí beranu, ale také je zde využit stlačený vzduch nebo pára pro dodatečné urychlení. Energie potřebná k deformaci materiálu je získána z kinetické energie beranu se zápustkou. Horní zápustka je připevněna k beranu a spodní zápustka zase k šabotě. Šabota je těžký ocelový blok integrovaný do rámu stroje sloužící pro upevnění nepohyblivých částí nástrojů. S její hmotností souvisí energetické ztráty. Pro snížení těchto ztrát je možno zvětšit hmotnost šaboty, která se pohybuje v desetinásobcích hmotnosti beranu. Je nezbytné, aby byly kovací elementy zarovnané vůči sobě. [10,12]



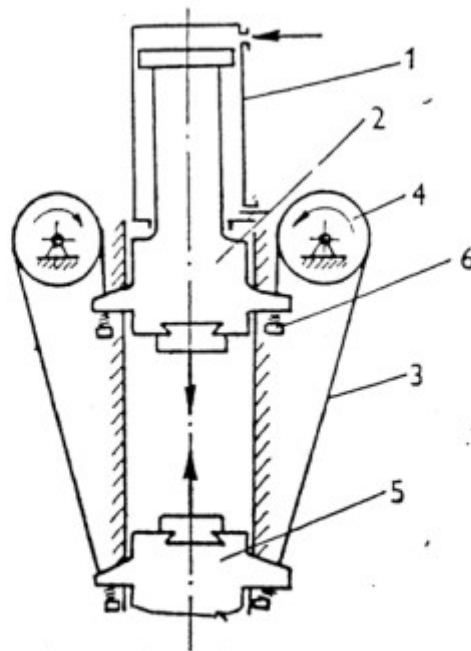
Obr. 12 Jednoduché schéma bucharu [13]

Výhodou tohoto způsobu jsou zlepšené fyzikální vlastnosti kovu, díky intenzivnímu mechanickému zpracování a rychlosti operace. Je možné vyrábět i složitější tvary výrobků, tudíž

je není potřeba dále složitě obrábět. Defekty uvnitř materiálu jsou eliminovány. Hmotnost bucharu se pohybuje v rozsahu od 225 do 22 500 kg, rychlost od 8 do 20 m/s. [10,12]

Protiúderové buchary

Protiúderové buchary spadají do kategorie kovacího zařízení, kde působí dva protilehlé berany. Berany současně a opakovaně udeří na výkovek situovaný v polovině trajektorie bucharů. Buchary mohou být zřízeny vertikálně nebo horizontálně. Vertikálně stavěné protiúderové buchary se používají tam, kde je potřeba se vyhnout těžké konstrukci šabotového bucharu. Horizontální uspořádání bucharů vykonávají úder dva stejně těžké buchary, vedené proti sobě v horizontální rovině pomocí stlačeného vzduchu. Vzájemný pohyb může být vyvozen napojením beranů pomocí pásů a kladek. Tento typ bucharů nachází využití v automatizovaném kování výkovku. Po částečném kování na jednom bucharu s jedním typem zápusťky je výkovek posunut přenosovou jednotkou do druhého bucharu s jinou zápusťkou, kde je dokován. Rychlost beranu je 4,5 až 9 m/s. [12]

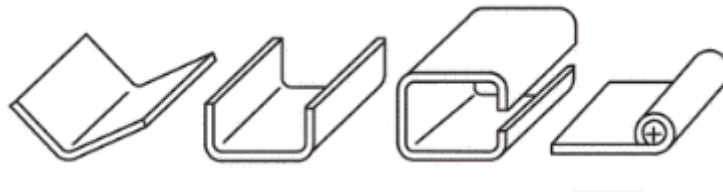


*1 – pracovní válec, 2 – horní beran, 3 – pásy, 4 – kladky,
5 – spodní beran, 6 – sada pryžových kroužků*

Obr. 13 Schéma protiúderového beranu [10]

3 OHÝBÁNÍ

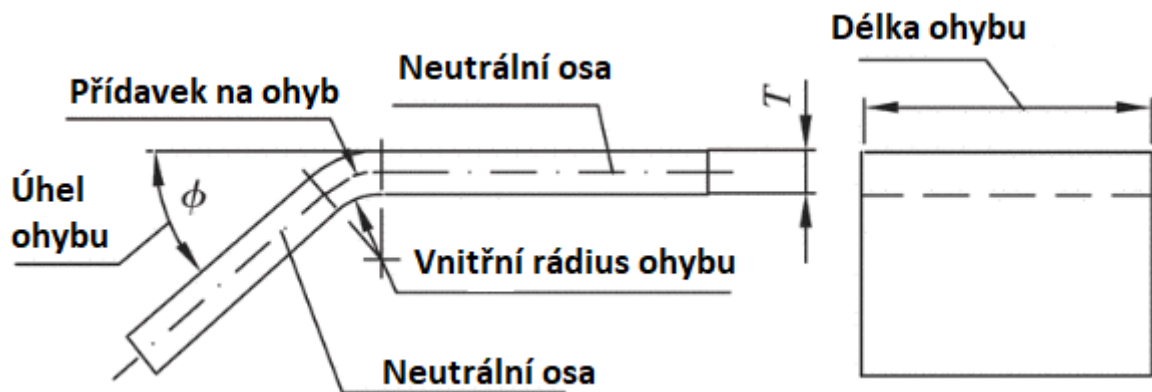
Jedním z nejběžnějších procesů tváření plechů je ohýbání, které neslouží jen k tvarování kusů do různých profilů, ale také ke zlepšení tuhosti kusu zvýšením jeho momentu setrvačnosti. Ohýbání spočívá v rovnoměrném namáhání plechů nebo pásů kovu kolem lineární osy, ale může být použito také k ohýbání trubek, tažených profilů, tyčí a drátů. Ohýbací proces najde nejvíce uplatnění v automobilovém a leteckém průmyslu. Na obr. 12 jsou znázorněny typické profily ohýbaných plechů. [14,15]



Obr. 14 Běžné profily ohýbaných plechů. [14]

3.1 Mechanika ohýbání

Terminologie používaná při ohýbání je názorně vysvětlena na obr. 15. Poloměr ohybu R_i je měřen na vnitřním povrchu ohýbaného kusu. Úhel ohybu ϕ je úhel ohýbaného kusu. Přídavkem na ohyb je oblouk neutrální osy a tloušťka materiálu je značena T .



Obr. 15 Znázornění terminologie na ohýbaném kusu [15]

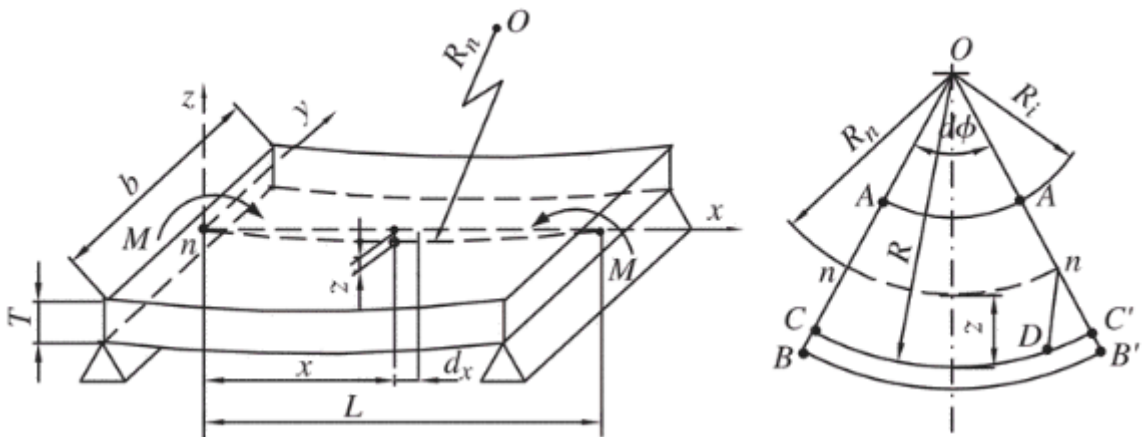
Délka ohybu je rovna šířce plechu. Při ohýbání jsou vnější vlákna namáhána na tah a vnitřní na tlak. Teoreticky je napětí na vnější a vnitřní straně stejné, proto lze pro výpočet použít tuto rovnici:

$$e_{tah} = e_{tlak} = \frac{1}{\left(\frac{2Ri}{T}\right) + 1} \quad (1)$$

Avšak podle experimentálních výzkumů bylo zjištěno, že vzorec je přesnější pro výpočet deformace vnitřních vláken e_{tlak} . Ve vnějších vláknech vzniká deformace větší, což má za důsledek posun neutrálních vláken směrem k vnitřní straně. Šířka materiálu po ohnutí je na straně tažných vláken užší a na straně tlačných vláken je širší. Jak se poměr mezi Ri ku T snižuje, zmenšuje se i rádius ohybu, s čímž stoupá napětí v tahu vnějších vláken, dokud nedojde k přetržení. [14,15,18]

3.2 Ohybový moment

Na obr. 16 je znázorněn dlouhý, tenký, přímý nosník s průřezem ($b \times T$) o délce L , který je ohnutý do křivky momentem (M). Momenty a nosník se nachází v rovině nxz . Ve vzdálenosti x od levého konce je průhyb nosníku dán vzdáleností z .



Obr. 16 Průhyb nosníku [15]

Dále je zde zobrazen řez nosníkem ve vzdálenosti x . Rovina protínající nosník je kolmá na osu x . Po ohybu se prvky ($B-B'$) prodloužily a prvky ($A-A'$) se smrštily. V místě ($n-n$), neboli neutrální ploše, nedošlo ke změně délky. [15]

3.3 Rádus ohybu

Jeden z nejzásadnějších aspektů ovlivňujících kvalitu ohýbaného výrobku je poloměr ohybu R_i . Je to vnitřní rádus ohýbaného prvku. Musí se nacházet v rozmezí definovaných limitů. Minimální ohybový rádus se obvykle určuje podle toho, jak moc velké narušení vnějšího povrchu je přijatelné. Nicméně, poloměr ohybu je ovlivňován i dalšími faktory. Příkladem je výskyt zvrásnění na vnitřním povrchu ohybu ještě předtím, než se objeví trhliny na vnějším povrchu. Popisování minimálního poloměru ohybu vyžaduje znalost o velikosti působícího napětí a tvárnosti materiálu. Napětí lze určit, ale tvárnost je spíše neurčitá. Klíčem je zajistit dostatečný počet dat popisujících množství deformace, které zvládne materiál ustát, než dojde ke vzniku lomu. Tyto data jsou běžně dostupná ze zkoušek tahem. Není nutné tedy provádět zkoušky v ohybu. [14,15]

Pokud je známa deformace, při níž se objeví trhliny na vnějším povrchu materiálu, která je definována jako e_{tah} a tloušťka materiálu jako T , lze spočítat minimální rádus ohybu následovně:

$$R_{min} = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{e_{tah}} - 1 \right] \quad (2)$$

Minimální rádus ohybu do kterého lze materiál bezpečně ohýbat je také možno určit využitím experimentálně daného koeficientu c a tloušťky T , jako:

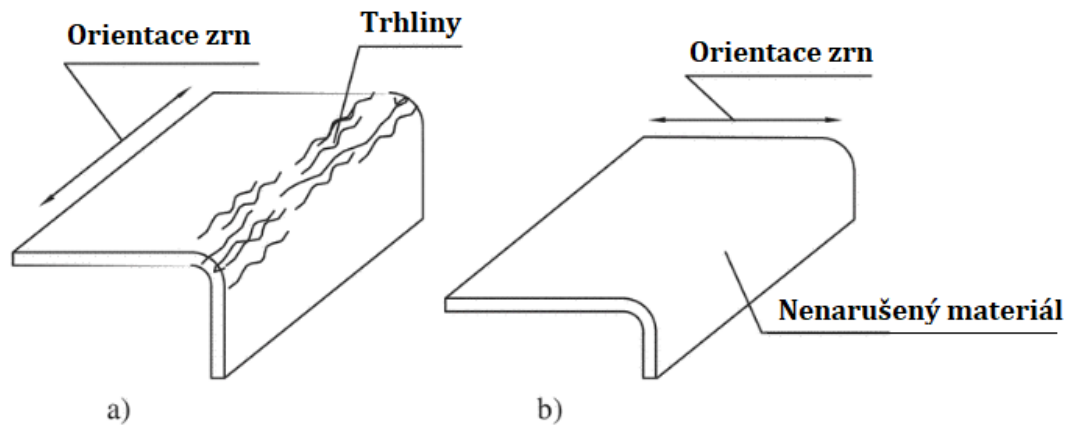
$$R_{min} = c \cdot T \quad (3)$$

MATERIÁL	STAV	
	Měkké	Tvrdé
Nízkouhlíková ocel	0.5	3.0
Nízkolegovaná ocel	0.5	4.0
Austenitická nerezová ocel	0.5	4.0
Hliník	0.0	1.2
Měď	0.25	4.0
Bronz	0.4	2.0
Titan	0.7	3.0
Slitiny titanu	2.5	4.0

Obr. 17 Tabulka koeficientů c [15]

3.4 Ohybatelnost materiálu

Ohybatelnost materiálu se dá zvýšit různými způsoby. Jedním z nich je působení tlačné síly v rovině ohybu při procesu ohýbání za účelem snížení tahového napětí ve vnějších vláknech ohýbané oblasti. Oblast ohybu může být také nahřívána pro redukci tahného napětí. Pokud se délka ohybu zvětšuje, stav napětí na vnějších vláknech přechází z jednoosého do dvouosého napětí. Důsledkem je snížení tažnosti. Tudíž s rostoucí délkou ohybu roste i minimální poloměr ohybu. Ohybatelnost je také negativně ovlivněna ostrými hranami, ve kterých se koncentruje napětí. Anizotropie je také důležitým faktorem. Pokud ohyb probíhá rovnoběžně se směrem válcování plechového listu, objeví se separace a následné praskliny viz obr. 18 (a). Při ohybu kolmém na směr válcování plechu by nemělo dojít k porušení materiálu. Z tohoto důvodu je důležité brát zřetel na orientaci výstřižku z plechové role pro následné ohýbání. [16,24]



Obr. 18 Vliv anizotropie na kvalitu ohybu: a) rovnoběžná orientace zrn ku ohybu; b) kolmá orientace zrn ku ohybu [15]

3.5 Kompenzace odpružení materiálu

Při tváření vždy dochází k určitému zpětnému odpružení. Zpětný ráz je vyvolán zbytkovým napětí při tváření za studena. Pro příklad u jednoduchého ohybu se na vnitřní straně ohybu nachází zbytkové tlakové napětí a na vnitřní straně zbytkové tažné napětí. Když tedy přestane působit zatěžovací síla, zbytková napětí se mají tendenci vyrovnat, čímž dojde k odpružení. Jako kompenzace odpružení je nejběžněji používána metoda přehýbání. Přehýbáním je myšleno ohnutí materiálu přes jeho požadovaný úhel do úhlu většího. Po jeho odlehčení tedy dojde k odpružení do požadovaného tvaru. [16]

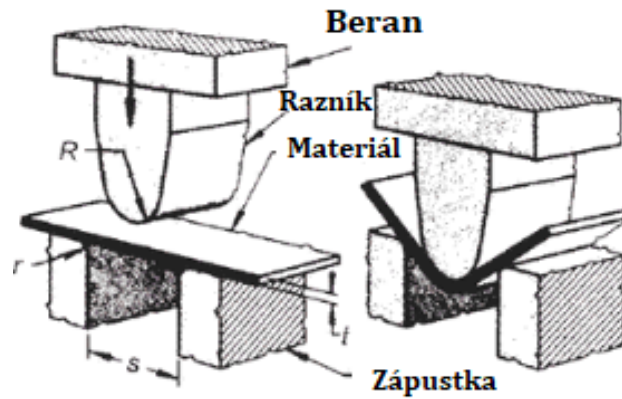
Faktory ovlivňující odpružení:

- vysoká pevnost materiálu
- nízký modul elasticity
- větší poloměr výlisku
- menší nepravidelnost obrysu výlisku

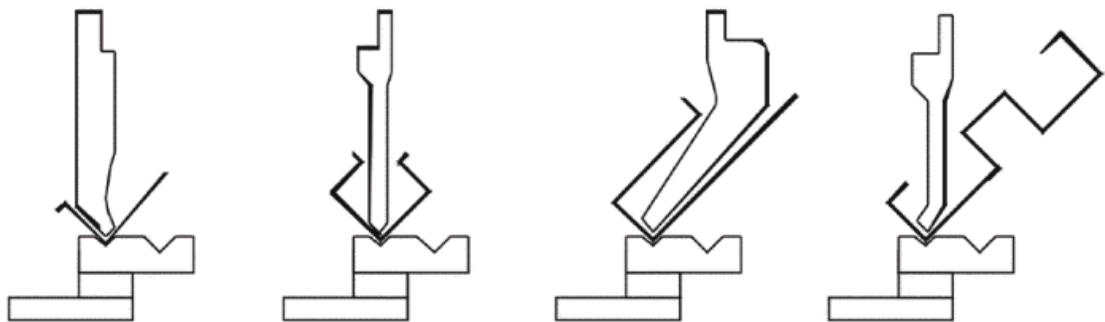
3.6 Ohraňovací lis

Ve tváření ohraňovacím lisem je materiál uložen nad otevřenou zápustkou. Poté je zatlačen směrem dolů do zápustky ohybníkem. Tento proces je nejpoužívanější pro relativně dlouhé součásti malých produkčních množství, pro které by se nevyplatilo vyvíjet speciální nástroje. Zvládne ohýbání do tvaru V nebo i do složitějších profilů, ale i další operace jako jsou: ražení, stříhání, rovnání, zplošťování, prorážení, atd.. Nastavení stroje je relativně jednoduché.

Vzdálenost ve které ohybník vniká do zápustky určuje úhel ohybu a je řízena výškou uzavření stroje. Šířka štěrbiny v zápustce ovlivňuje potřebnou sílu k tvarování. Minimální šířka je dána tloušťkou ohýbaného materiálu a také rádiusem ohybníku. Po nastavení výšky uzavření je lis opakovaně používán, dokud není dosaženo požadovaného tvaru výlisku. [17,18,19,20]



Obr. 19 Princip ohybu v zápustce [17]



Obr. 20 Typické operace prováděné na ohraňovacím lisu [20]

4 STŘÍHÁNÍ

Plechý mohou být stříhány na gilotinových nůžkách. Nůžky jsou využívány k provedení dlouhých rovných řezů nebo k odstříhávání vnitřních rohů. Běžné nůžky jsou schopny provést stříh o délce jednoho metru a tloušťce plechu okolo 1,5 mm. [21]

Při stříhacím procesu je materiál stříhán působením smykového napětí mezi střižníkem a střižnicí nebo mezi noži nůžek. Tvar střižnice a střižníku může být libovolný. Kontura stříhu může být buď uzavřená nebo otevřená. Teorie plastické deformace platí u všech typů stříhacích procesů. Stříhací procesy se dělí na následující kategorie:

1. Operace pro výrobu polotovarů

- stříhání
- dělení
- vystřihování

2. Operace pro zhotovení děr

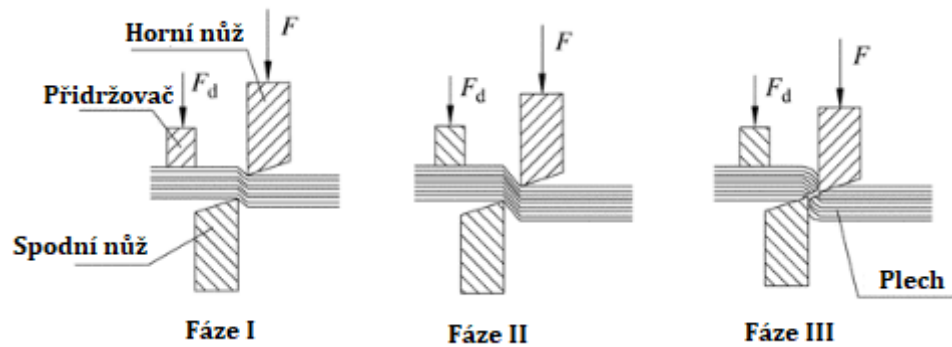
- děrování
- perforování

3. Ostatní operace

- Zastřihování [21,22]

4.1 Stříhání

Stříhání zahrnuje dělení plochého materiálu jako jsou plechy, desky, pásy. Pro zařazení do kategorie stříhání, musí stříh probíhat rovně podél přímky. Odstřižený materiál může být nazván polotovarem. Operace je prováděna na speciálních zařízeních s různými typy nožů. Stroje jsou buď ovládané rukou, nohou nebo motorem. Horní břit nože je většinou zakřiven pro lepší distribuci stříhací síly a pro její zredukování. Na obr. 21 jsou schématicky znázorněny tři fáze stříhu, kde F je střižná síla a F_d je síla přidržovací. [12,21]



Obr. 21 Schéma stříhacích fází [12]

Fáze I: Plastická deformace se objeví, jakmile dojde k zatlačení horního nože do povrchu materiálu. Napětí v materiálu je nižší než napětí na mezi kluzu.

Fáze II: Penetrace. Postupným pohybem nože směrem dolů dochází k penetraci, kde nůž stlačí materiál a zařezává se do něj. V této fázi je napětí v materiálu vyšší než mez kluzu, ale nižší než napětí na mezi pevnosti.

Fáze III: Lom. Jak nůž postupně prochází materiálem, tak se objeví lom na obou střížných hranách. Napětí v materiálu je rovno smykovému napětí. Pokud je vůle mezi noži správně, oba lomy na hranách nožů se setkají a tím je docíleno rozdělení materiálu na dva kusy.

Stříhání je preferovaný způsob řezání polotovárů, pokud to jejich tvar umožňuje. Ve většině případů je jejich použití eliminováno limitem rovných přímek na kontuře stříhu. Stříhání je velmi ekonomické, jelikož není potřeba speciálních střížných nástrojů pro stříhání podél rovné linie, kde stačí pouze rovné nože nůžek. [21,22,23]

4.1.1 Výpočet střížné síly pro rovnoběžné nůžky

Střížná síla pro nůžky s rovnoběžnými noži se rovná:

$$Fr = \tau_s \cdot A \quad (4)$$

kde

Fr = střížná síla [N]

τ_s = mez pevnosti ve stříhu daného materiálu [MPa]

A = střížná plocha [mm^2], $A = b \cdot T$, kde b je délka stříhu a T je tloušťka materiálu

Takto vypočtenou střížnou sílu je dále potřeba navýšit o 20 až 40 % v závislosti na vůli mezi noži, proměnlivou tloušťkou materiálu, tuposti řezných hran nůžek a dalších nepředvídatelných faktorech. Reálná střížná síla F_{vs} je teda rovna:

$$F_{vs} = 1,3Fr \quad (5)$$

4.1.2 Výpočet střížné síly pro nůžky se zešikmenými noži

Stříhání tímto typem nožů je používáno pro dělení materiálu o relativně malé tloušťce v porovnání s délkou stříhu. Šikmý horní nůž redukuje potřebnou střížnou sílu a zvětšuje svou dráhu pohybu potřebnou pro přestříhnutí materiálu. Penetrace horního břitu do materiálu je postupná a tím je snížena potřebná střížná síla. Výpočet střížné síly je následovný:

$$Fz = n \cdot \tau_s \cdot \lambda \cdot \frac{T^2}{\tan\varphi} \quad (6)$$

kde

$n = 0,75 - 0,85$ pro většinu materiálů

λ = relativní míra proniknutí horního nože do materiálu

φ = úhel sklonu horního břitu

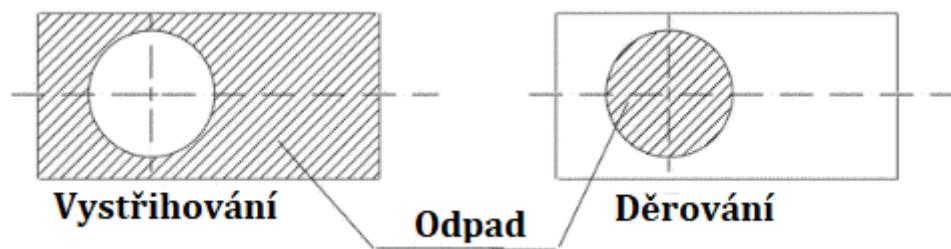
MATERIÁL	Tloušťka materiálu T (mm)			
	<1	1 až 2	2 až 4	> 4
Běžná ocel	0.75–0.70	0.70–0.65	0.65–0.55	0.50–0.40
Středně tvrdá ocel	0.65–0.60	0.60–0.55	0.55–0.48	0.45–0.35
Tvrdá ocel	0.50–0.47	0.47–0.45	0.44–0.38	0.35–0.25
Hliník a měď	0.80–0.75	0.75–0.70	0.70–0.60	0.60–0.50

Obr. 22 Tabulka koeficientů λ [12]

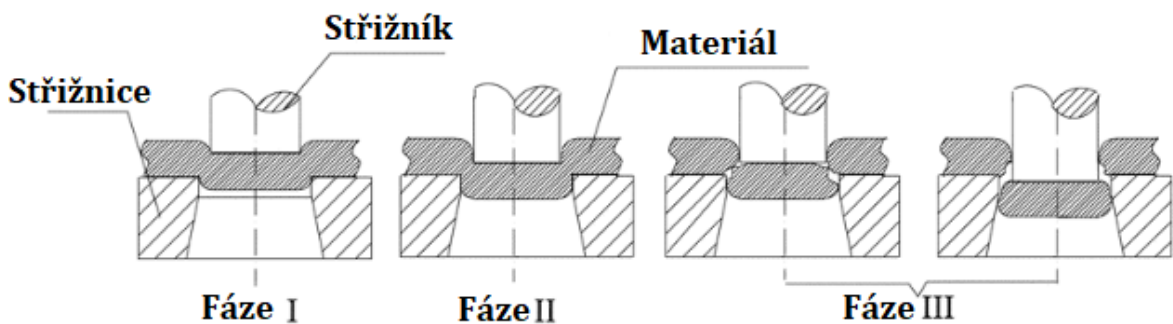
Pro dosažení reálné střížné síly je ji potřeba opět navýšit o 20 až 40 %. [12,22]

4.2 Vystřihování a děrování

Vystřihování a děrování jsou procesy používány k dělení materiálu do různých tvarů výstřižku prováděné za pomoci raznic. Hlavní částí raznic je střižník a střižnice. Hlavní proměnné u tohoto procesu jsou následovné: síla střižníku F , rychlost střižníku, stav povrchu střižnice a střižníku a materiál ze kterého jsou vyrobeny, typ maziva, velikost střižné vůle. Při vystřihování je vystřižená část dále použita a zbytek je odpad, u děrování je tomu naopak. [22]



Obr. 23 Rozdíl mezi děrováním a vystřihováním [22]



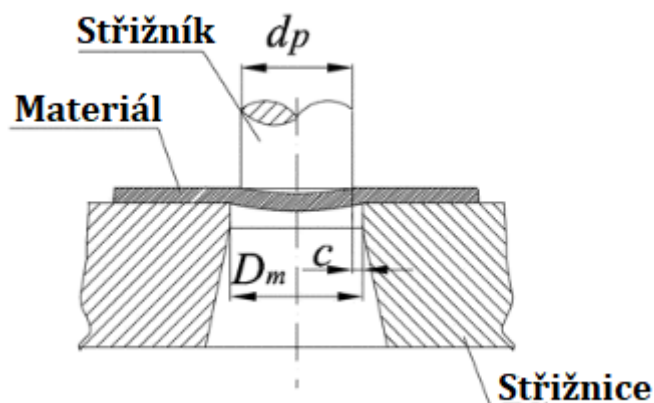
Obr. 24 Schéma děrovacích fází [22]

V první fázi je materiál napříč stlačěn a lehce deformován mezi střižníkem a střižnicí. Není zde překročena mez elasticity pro daný materiál. V druhé fázi je materiál dále tlačěn do otvoru ve střižnici působením síly střižníku. Materiál se výrazně deformuje na střižné hraně. Na konci této fáze je v oblasti střižných hran dosaženo napětí korespondující s pevností materiálu ve smyku, ale nedochází k lomu. Tato fáze se tedy považuje za fázi plastickou. V třetí fázi dosáhne napětí v materiálu meze pevnosti a vytvoří se mikrotrhlinky a následně dojde k přetržení. Trhliny se objevují nejprve na střižných hranách střižnice a střižníku, odkud putují po střižné rovině dokud se nespojí. Většinou po vystřihování je zanechán menší ořep na spodní hraně díry a horní hraně výstřižku. Výstřižek je zatlačen do otvoru střižnice, který bývá zpravidla kónický pro snazší vypadnutí výstřižku. Hlavním faktorem ovlivňujícím kvalitu hrany po vystřihnutí a její tvar je střižná vůle c . Pokud je vůle zvětšována dojde i k zdrsnění hrany a nárůstu deformace. Materiál je totiž vtážen do oblasti střižné vůle a hrany stři-

haného materiálu se zaoblují. V případě, že je střížná vůle příliš velká, je materiál spíše vtahován do střížnice a je vystaven tažnému napětí místo napětí ve smyku. [22,23]

4.2.1 Střížná vůle

Správně zvolená střížná vůle zajišťuje, aby lomy začínaly na střížných hranách střížníku a střížnice. Lomy se poté setkají a vytvoří zdánlivě čistý stříh na stříhané hraně. Na horní hraně výstřížku a spodní hraně stříhaného polotovaru, kde dosedá střížný nástroj na povrch plechu, se objeví rádius. Tento rádius je produktem plastické deformace, výraznější u měkčích materiálů. Přebytná střížná vůle zavinuje vytvoření markantnějších rádiusů a s tím také výskyt otřepů. Pokud vůle není dostatečná, je třeba před kompletní separací odříznout přebytné vrstvy materiálu. Tvrdší kovy vyžadují větší střížnou vůli a umožňují menší penetraci střížníku než materiály tvárné. Tupé nástroje mají za následek stejný efekt jako nedostatečná střížná vůle. Na obr. 25 je zobrazena střížná vůle jako c , průměr střížníku d_p , průměr střížnice D_m . [22,23]



Obr. 25 Znárodnění střížné vůle [22]

Střížná vůle může být vyjádřena jako procento tloušťky materiálu nebo jako absolutní hodnota.

MATERIAL	Tloušťka T (mm)				
	< 1.0	1.0 až 2.0	2.1 až 3.0	3.1 až 5.0	5.1 až 7.0
Nízkouhlíková ocel	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Měď a měkký bronz	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Ocel (s obsahem uhlíku od 0,20 do 0,25%)	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Tvrdá mosaz	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Ocel (s obsahem uhlíku od 0,40 do 0,60%)	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0

Obr. 26 Tabulka střížné vůle c vyjádřené v % tloušťky materiálu [22]

Pro přesnější určení střižné vůle lze použít následující výpočet:

Pro $T \leq 3\text{mm}$:

$$c = \frac{k \cdot T \cdot \sqrt{\tau_s}}{2} \quad (7)$$

Pro $T \geq 3\text{mm}$:

$$c = \frac{(1,5 \cdot k \cdot T - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s}}{2} \quad (8)$$

kde

T = tloušťka materiálu [mm]

k_{sv} = koeficient závislý na typu střižnice (od 0,005 do 0,035), nejčastěji 0,01

τ_s = mez pevnosti ve smyku [MPa] [22]

5 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Předchozí části se věnovaly problematice tváření plechů. Podstatným faktorem pro výběr informací do teoretické části byla jejich návaznost na část praktickou. V kapitole tváření se nachází rozsáhlé informace pro pochopení technologie tváření. Kapitola o tvářecích strojích se věnuje široké škále strojů používaných pro tyto procesy. V třetí kapitole o ohýbání je konkrétně rozebrána problematika ohýbání plechů s kritickými aspekty, které je potřeba brát v potaz při návrhu ohybku. Kapitola stříhání obsahuje potřebné znalosti pro návrh polotovaru.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části budou navrženy dvě varianty krytu motoru. Budou zde uvedeny technologický postup výroby s náležitou výpočtovou částí pro technologii ohýbání a stříhání. Dále bude zkonstruován ohýbací nástroj a vytvořena jeho výkresová dokumentace.

6.1 Kryt motoru

Vyráběným dílem je plechový kryt motoru. Konkrétně se jedná o kryt motoru, nacházející se na spodní straně motorového prostoru pod olejovou vanou. Tento díl je běžnou součástí většiny automobilů. Jeho úkolem je chránit motorový prostor před volně poletujícími částicemi z vozovky, jako jsou například kamínky a posypová sůl. Také zabraňuje nadměrnému znečištění prachem a průniku vody, což může mít za následek snížení životnosti jednotlivých komponentů motorového prostoru a také výskyt koroze.

6.1.1 Návrh vlastního řešení

Vzhledem k tomu, že sériové kryty bývají plastové, tak neposkytují dostatečnou ochranu proti průniku nežádoucích objektů do motorového prostoru. Existují spousty druhovýrobních krytů, které jsou však zbytečně tvarově komplikované, čímž roste jejich pořizovací cena.



Obr. 27 Plastový kryt motoru [26]

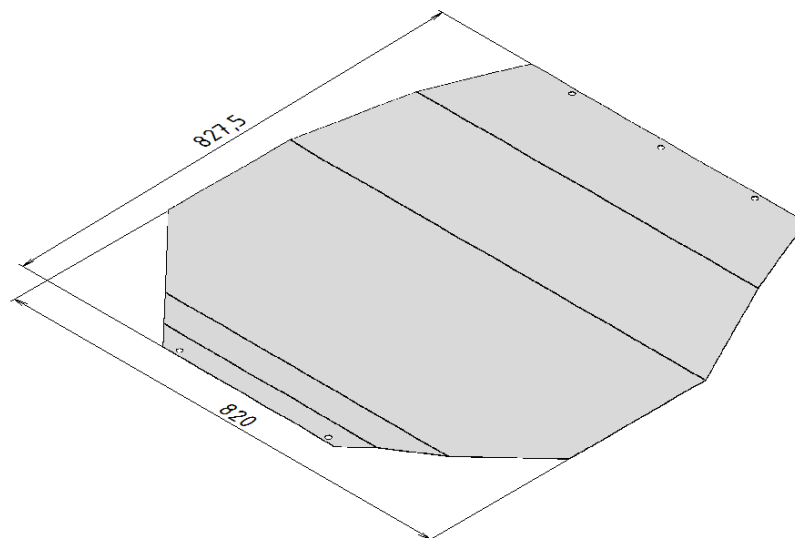


Obr. 28 Plechová varianta krytu [27]

Ve vlastním řešení bude brán zřetel na zjednodušení celkového tvaru, čímž dojde k snížení počtu potřebných ohybů. Dále bude hrát roli tvar samotných ohybů, které budou zkonstruovány tak, aby ohyby byly pouze ve tvaru V. Tento styl ohybu se řadí mezi ty nejprimitivnější a jeho realizace je možná na většině, ne-li každém ohýbacím stroji.

6.1.2 Návrh krytu č.1

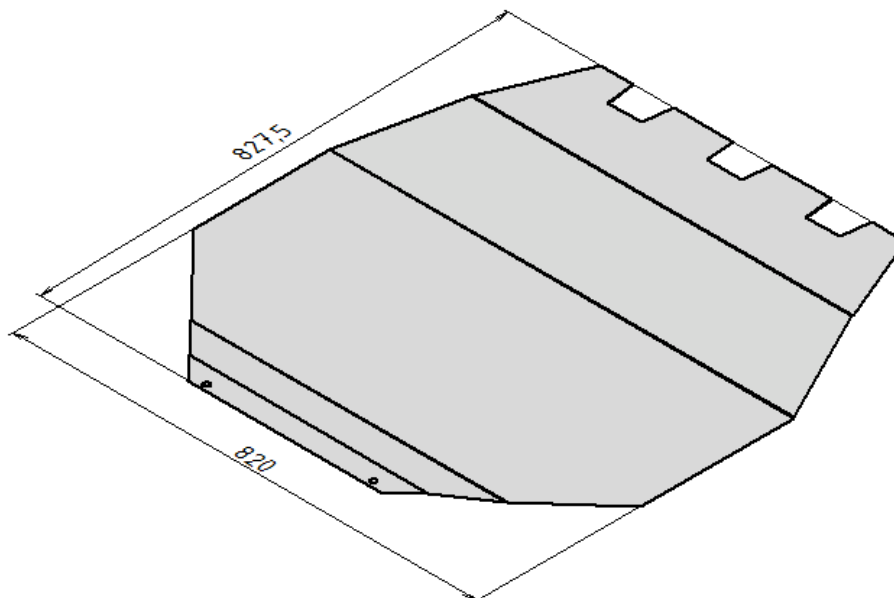
První verze je konstruována tak, aby byla co nejjednodušší. Je požadováno, aby ji bylo možné zhotovit za pomoci nejběžnějších strojů ve většině firem, jako jsou tabulové nůžky a ohraňovací lisy. Kontura krytu je uzpůsobena pro stříhání na nůžkách. Díry se dají vyvrtat. Finálního tvaru kryt nabude po ohýbání na ohraňovacím lisu. Pro upevnění krytu na automobil je nutné do karoserie zhotovit závity nebo použít nýtovací matice, do kterých se kryt pomocí šroubů uchytí.



Obr. 29 Varianta krytu č.1

6.1.3 Návrh krytu č.2

Druhá verze má komplikovanější konturu, kterou nelze vystříhnout za pomoci nástrojů s rovnými břity a výroba komplikovaného střížného nástroje by byla příliš nákladná. Tato varianta je vhodná pro řezání na laseru. Montáž krytu č.2 na automobil je jednodušší než u předchozí verze, jelikož je opatřen prvky pro zasunutí do kovové konstrukce karoserie, stejně jako tomu je u plastového krytu. Přes dvě díry se potom přišroubuje ke karoserii.



Obr.30 Varianta krytu č.2

6.2 Technologický postup výroby

Nejprve je potřeba si určit, kolik kusů krytů se má vyrobit. Je-li potřeba vyrobit 1-2 kryty pro potřeby jednotlivce, nebo začít vyrábět kryty v sérii za účelem zisku. Po stanovení počtu kusů a záměru výroby je na řadě nejdůležitější faktor, a to dostupnost výrobních strojů a nástrojů ve výrobním prostředí. Nepostradatelný je ohraňovací lis, na kterém se bude kryt ohýbat do konečného tvaru. Pokud se jedná o sériovou výrobu, ale není k dispozici vhodný nástroj do lisu pro zhotovení ohybů, lze nechat vyrobit nástroje z výkresové dokumentace. U kusové výroby je nutné mít požadované nástroje už na dílně. Podle možností dělení materiálu se volí varianta krytu. Při dostupnosti pouze tabulových nebo i jiných nůžek je možno zhotovit variantu krytu č.1. Při dostupnosti laseru je možno vyrobit obě varianty krytů.

6.2.1 Objednání materiálu

Jako vstupní polotovar je použit plech, který je dodáván firmou nyprohutni.cz. Podle požadovaného počtu kusů se objedná počet plechů.

6.2.2 Stříhání nebo tepelné dělení

V případě stříhání je plech nejprve přestřižen v jeho polovině pomocí tabulových nůžek pro snadnější manipulaci. Následně je na první plech přenesen tvar výstřížku krytu. Plech je dále ostříháván po kontuře náčrtu do požadovaného tvaru na nůžkách. Tento první výstřížek se pak dále používá jako šablona pro následující výstřížky.

V případě použití laseru stačí nastavit laser na požadovanou operaci. Plech není potřeba dělit na poloviny. Laser do krytu vyřeže i otvory pro šrouby.

6.2.3 Zhotovení děr

V případě, že byla zvolena varianta krytu č.1, je potřeba navrtat zakreslené díry o průměru 10 mm. Vrtání lze uskutečnit na stole s vrtačkou ve vertikálním stojanu, kde je důležité dbát na uchycení plechu ke stolu, z důvodu bezpečnosti.

6.2.4 Ohýbání na ohraňovacím lisu

Na lis se upevní nástroje pro ohyb do V tvaru v patřičné délce. Pokud se jedná o sériovou výrobu a tyto nástroje nejsou k dispozici, je možné využít technické dokumentace pro jejich výrobu. Na lisu se musí nastavit hloubka zdvihu ohybníku, která určuje úhel ohybu a potřebná ohýbací síla, vycházející z výpočtové části. Výstřížek se pak umístí mezi nástroje v místě ohybu a je ohýbán do tvaru krytu. Ohyby se lisují postupně. Na konci celého ohýbacího procesu se provede kontrola zhotovených úhlů úhломěrem.

6.2.5 Povrchová úprava

Sériově vyráběné kryty je možné žárově pozinkovat. U kusové výroby se vyplatí použít chemicky odolný nátěr nebo nástřík.

7 VOLBA MATERIÁLU

Výlisek bude zhotoven z oceli 11 300. Tato ocel je vhodná pro tváření za studena, například pro části karoserií automobilů nebo nádrží. Vhodná pro lakování nebo pokovení.

Pro provedení DC03:

$R_m = 270-370 \text{ MPa}$

$R_e = 240 \text{ MPa}$

TDP: EN 10130

Značení: ČSN 11 300, W.Nr 1.0347

Tloušťka plechu: 1,8 mm

Rozměrová norma plechu: EN 10131

Zvolený plech lze objednat z webových stránek: nyprohutni.cz

8 VÝPOČTY OHYBŮ NA VÝLISKU

8.1 Výpočet minimálního rádiusu ohybu

Vzorec pro výpočet minimálního rádiusu ohybu:

$$R_{min} = \left(\frac{1}{\varepsilon_0} - 1 \right) \cdot \frac{t}{2} \quad (9)$$

kde:

$$\varepsilon_0 = \frac{t}{2R_{min} + t} \quad [\text{mm}] \dots \text{mezní prodloužení}$$

t ...[mm] tloušťka ohýbaného materiálu

Po následném zjednodušení vypadá vzorec následovně:

$$R_{min} = c \cdot t \quad (10)$$

kde:

c...[-] koeficient pro různé druhy materiálů

Tabulka 1 Koeficienty c pro vybrané materiály

Vybrané materiály		Tvrdość			
		Měkký		Tvrký	
Druh	Pevnost	Ohyb je veden			
	R _m (MPa)	příčně	podélně	příčně	podélně
Ocel	280 - 400	0,5	1	1	2
	370 - 450	0,5	1	1	2
	420 - 500	0,8	1,5	1,5	3
	500 - 600	1	2	2	4
	550 - 700	1,5	3	3	6
Měď	210	0,25	0,4	0,4	1
Mosaz	350 - 400	0,3	0,5	0,5	1,2
Hliník	600	0,3	0,45	1	1,5
Dural	220 - 400	1	1,5	3	4

Z tabulky je volen koeficient 0,5 pro ocel s mezí pevnosti od 280-400 MPa a příčným ohybem.

Takto vypočítaný rádius se běžně dodatečně násobí hodnotou 1,1-1,3; tudíž platí:

$$R_{min} = c \cdot t \cdot 1,2 = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 1,2 = 1,08 \doteq 1,1 \text{ mm} \quad (11)$$

8.2 Výpočet maximálního rádiusu ohybu

Vzorec pro výpočet maximálního rádiusu ohybu:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e - 1} \right) \quad (12)$$

kde:

t...[mm] tloušťka ohýbaného materiálu

E...[GPa] modul pružnosti v tahu

Re ...[MPa] mez kluzu

Pro použitý materiál platí E=210 GPa, Re=240 MPa

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e - 1} \right) = \frac{1,8}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{240 - 1} \right) = 790 \text{ mm} \quad (13)$$

8.3 Výpočet odpružení

Pro výpočet odpružení bude nejprve potřeba zjistit hodnotu koeficientu k . Ten se vypočítá jako:

$$k = 1 - x \quad (14)$$

Kde x je posunutí neutrální osy, získané z tab. 2, pomocí poměru R/t . Tento poměr se rovná hodnotě 3,3. Odpovídající hodnota x je tedy 0,47. Pro výpočet odpružení se tedy bude počítat s koeficientem k :

$$k = 1 - 0,47 = 0,53 \quad (15)$$

Na výlisku se nachází 4 ohyby. Pro každý je potřeba spočítat úhel odpružení. Ohyby se liší pouze délkou ohýbaného ramene. U ohybu tvaru V se používá následující vzorec:

$$\operatorname{tg}\beta = 0,375 \cdot \frac{l_i}{k \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \quad (16)$$

kde:

$l_i \dots$ [mm] jednotlivé délky ramen ohybu

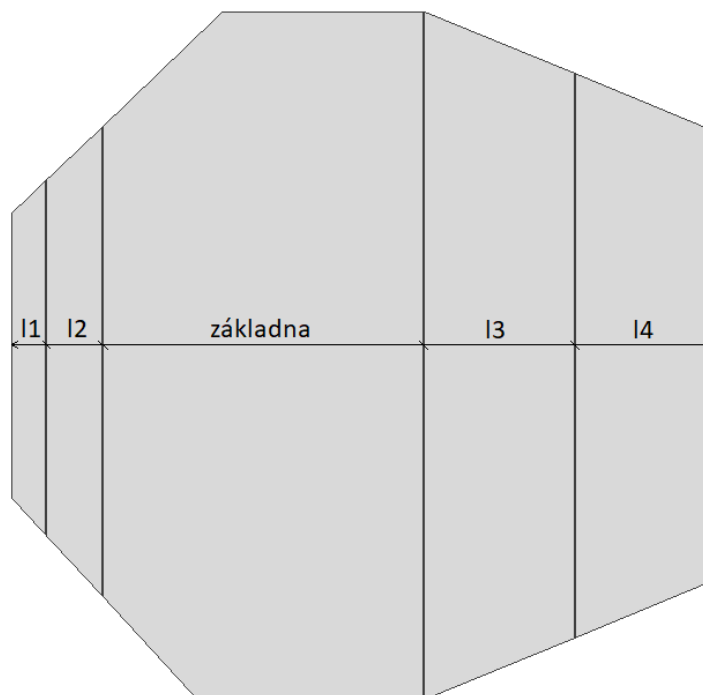
$k \dots$ [-] koeficient pro výpočet odpružení

$t \dots$ [mm] tloušťka materiálu

$Re \dots$ [MPa] mez kluzu

$E \dots$ [GPa] modul pružnosti v tahu

Pro jednotlivé ohyby využijeme délky ramen z obr. 31.



Obr. 31 Délky ramen pro výpočet odpružení

$l_1=40$ mm, $l_2=68$ mm, $l_3=180$ mm, $l_4=160$ mm

$$\operatorname{tg}\beta_1 = 0,375 \cdot \frac{40}{0,53 \cdot 1,8} \cdot \frac{240}{210\,000} = 0,0179 \Rightarrow \beta_1 = 1^\circ \quad (17)$$

$$\operatorname{tg}\beta_2 = 0,375 \cdot \frac{68}{0,53 \cdot 1,8} \cdot \frac{240}{210\,000} = 0,0305 \Rightarrow \beta_2 = 1^\circ 42' \quad (18)$$

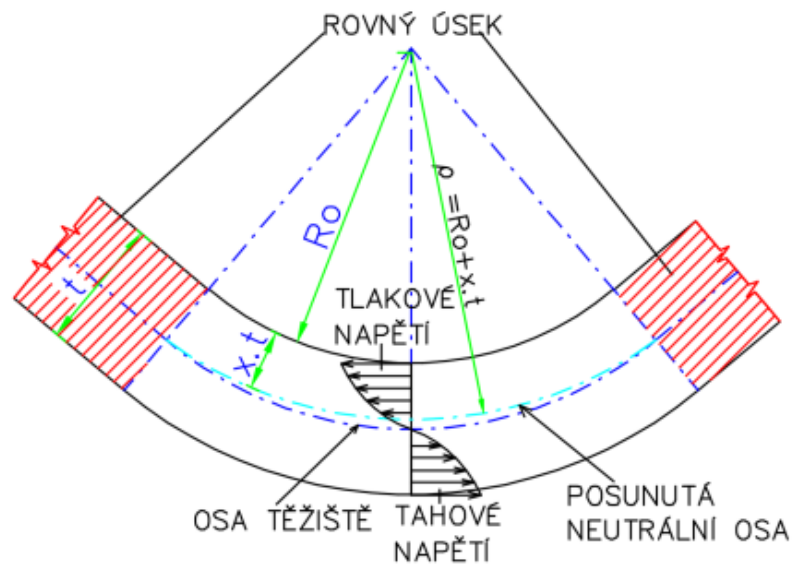
$$\operatorname{tg}\beta_3 = 0,375 \cdot \frac{180}{0,53 \cdot 1,8} \cdot \frac{240}{210\,000} = 0,0808 \Rightarrow \beta_3 = 4^\circ 37' \quad (19)$$

$$\operatorname{tg}\beta_4 = 0,375 \cdot \frac{160}{0,53 \cdot 1,8} \cdot \frac{240}{210\,000} = 0,0719 \Rightarrow \beta_4 = 4^\circ 6' \quad (20)$$

Z výsledků lze pro zjednodušení uvažovat úhly pro odpružení $\beta_1 = \beta_2 = 1^\circ$ a $\beta_3 = \beta_4 = 4^\circ$.

8.4 Výpočet polohy neutrální osy

Poloha neutrální osy a potřebné informace pro její výpočet jsou znázorněny na obr. 32.



Obr. 32 Poloha neutrální osy [25]

Pro plechy, kde platí $b > 3t$ platí vzorec:

$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad (21)$$

kde:

b ...[mm] šířka plechu

t ...[mm] tloušťka plechu

ρ ...[mm] poloha neutrální osy

x ...[-] součinitel posunutí

Součinitel posunutí lze určit z tabulky podle poměru R_0/t :

Tabulka 1 Součinitel posunutí neutrální osy

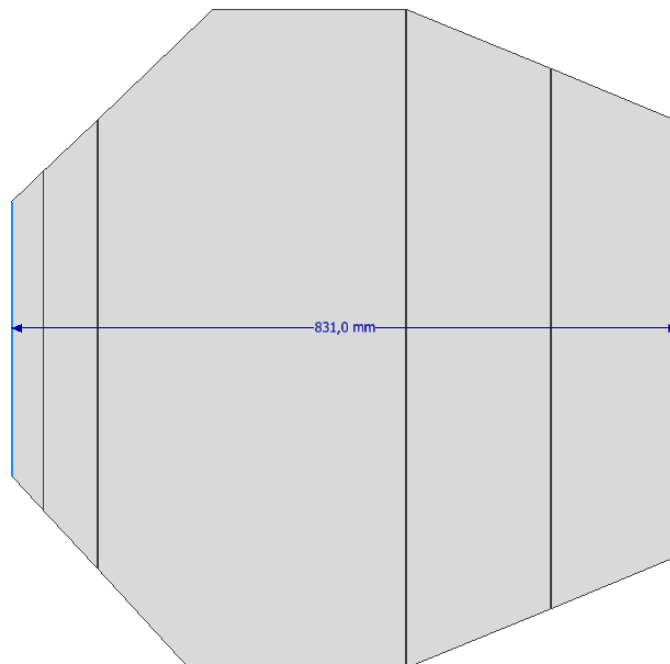
R/t	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

$$\frac{R_0}{t} = \frac{6}{1,8} = 3,3 \quad (22)$$

$$\rho = R_0 + x \cdot t = 6 + 0,47 \cdot 1,8 = 6,846 \text{ mm} \quad (23)$$

8.5 Délka rozvinu

Délka rozvinu je dle modelu v Inventoru 831 mm.



Obr. 33 Délka rozvinu podle Inventoru

8.6 Výpočet ohýbací síly

Síla, potřebná k zhotovení největšího ohybu na výlisku o šířce 820 mm a úhlu 170°:

$$F_o = \frac{Re \cdot b \cdot t^2}{2 \cdot \rho} \cdot \operatorname{tg} \frac{170 - \beta_4}{2} = \frac{240 \cdot 820 \cdot 1,8^2}{2 \cdot 6,846} \cdot \operatorname{tg} \frac{166}{2} = 379\,280 \text{ N} \quad (24)$$

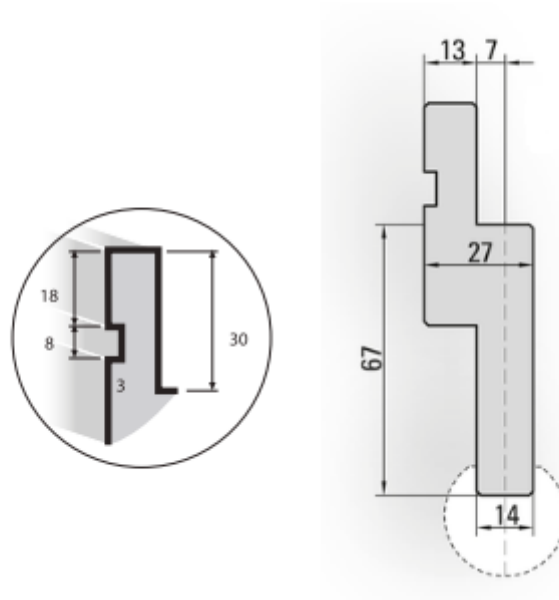
9 NÁVRH OHÝBACÍHO NÁSTROJE

Na výlisku se nachází 4 ohyby o úhlu 170° a vnitřním rádiusu 6 mm. Všechny ohyby je proto možné zhotovit za pomoci jednoho nástroje.

9.1 Konstrukce ohybníku

9.1.1 Upnutí ohybníku do ohraňovacího lisu

Většina ohraňovacích lisů používaných na území Česka a Slovenska využívá upnutí horního nástroje AMADA-PROMECAM. Na obr. 34 jsou znázorněny rozměry tohoto druhu upnutí.



Obr. 34 Upnutí AMADA-PROMECAM [29,30]

9.1.2 Poloměr zaoblení ohybníku

Poloměr ohybníku je shodný s vnitřním poloměrem ohybu R_0 :

$$r_r = R_0 = 6 \text{ mm} \quad (25)$$

kde:

r_r ...[mm] poloměr ohybu ohybníku

R_0 ...[mm] poloměr ohybu

9.1.3 Šířka ohybníku

Vzhledem k tomu že nejdelší šíře ohybu na výlisku je 820 mm, což bude minimální šíře horního ohybového nástroje. Výroba takto dlouhého nástroje by byla příliš složitá, proto

bude nástroj zkompletován ze čtyř ohybníků. Každý ohybník bude navíc prodloužen o 5 mm. Šířka jednoho ohybníku se rovná:

$$b_r = \frac{820}{4} + 5 = 210 \text{ mm} \quad (26)$$

9.1.4 Materiál ohybníku

Zvoleným materiálem pro ohybník je konstrukční ocel ČSN 12 050. Tato ocel je vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení, což je v případě výroby nástroje žádoucí.

Značení: ČSN 12 050, 1.1191, C45

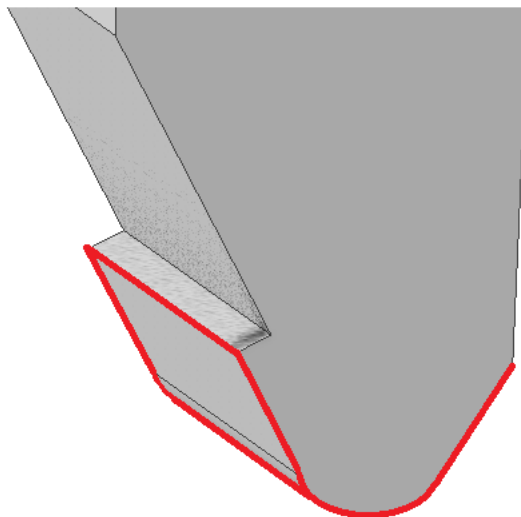
Mez pevnosti: min. 540 MPa

Mez kluzu: min. 325 MPa

Velikost polotovaru 140x50mm v bloku, lze objednat na: www.jkz.cz

9.1.5 Tepelné zpracování hrotu

Plochu nástroje, která je při lisování ve styku s lisovaným materiálem je potřeba zakalit. Povrch pro kalení je zvýrazněn na obr.35 Požadovaná tvrdost povrchu je 60-62 HRC.



Obr. 35 Oblast pro povrchové kalení ohybníku

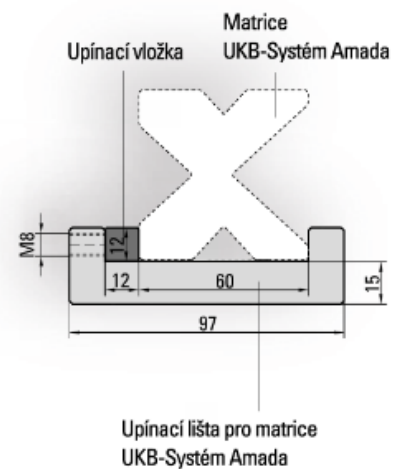
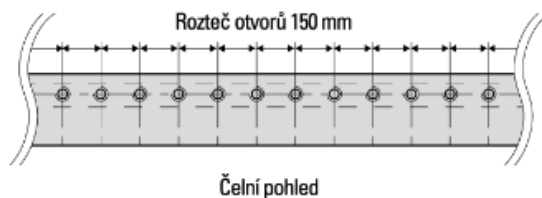
9.2 Konstrukce ohybnice

9.2.1 Upnutí ohybnice na ohraňovací lis

Standardní šířka ohybnice pro všechny ohraňovací lisy je 60 mm. Ohybnice leží na nepohyblivém stole, kde je z boku upevněna za pomoci upínek nebo upínacích šroubů. Pokud je šířka ohybnice nedostatečná, lze k vymezení mezery použít upínacích vložek.

PŘÍKLAD POUŽITÍ

Závitové šrouby M8 pro konstantní upnutí dělených matic UKB-Systém Amada s ocelovou upínací vložkou



Obr. 36 Upnutí ohybnice na stůl ohraňovacího lisu [30]

9.2.2 Poloměr zaoblení ohybnice

Poloměr se určuje jako 2 až 6 násobek tloušťky materiálu. Platí tedy:

$$r_m = (2 \div 6) \cdot t \quad (27)$$

Pro výpočet je zvolen 5 násobek tloušťky materiálu:

$$r_m = 5 \cdot 1,8 = 9 \text{ mm} \quad (28)$$

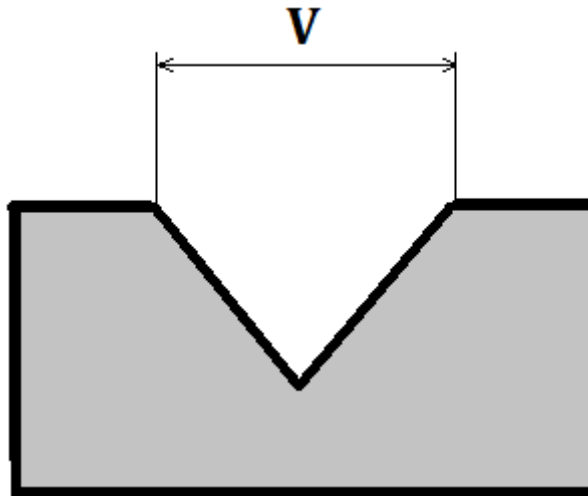
kde:

$r_m \dots$ [mm] poloměr zaoblení ohybnice

$t \dots$ [mm] tloušťka materiálu

9.2.3 Šířka otevření ohybnice

Jedná se o vzdálenost mezi jednotlivými poloměry ohybnice, přes které je materiál ohýbán.



Obr. 37 Rozevření ohybnice

Tato vzdálenost se obecně počítá jako 5 až 10 násobek tloušťky materiálu, nebo 5 násobek poloměru ohybu R_0 . Při zvolení výpočtu s poloměrem ohybu platí:

$$V = 5 \cdot R_0 = 5 \cdot 6 = 30 \text{ mm} \quad (29)$$

kde:

V ...[mm] otevření ohybnice

R_0 ...[mm] poloměr ohybu

9.2.4 Šířka ohybnice

Šířka ohybnice se odvíjí od šířky ohybníku, která činí 210 mm.

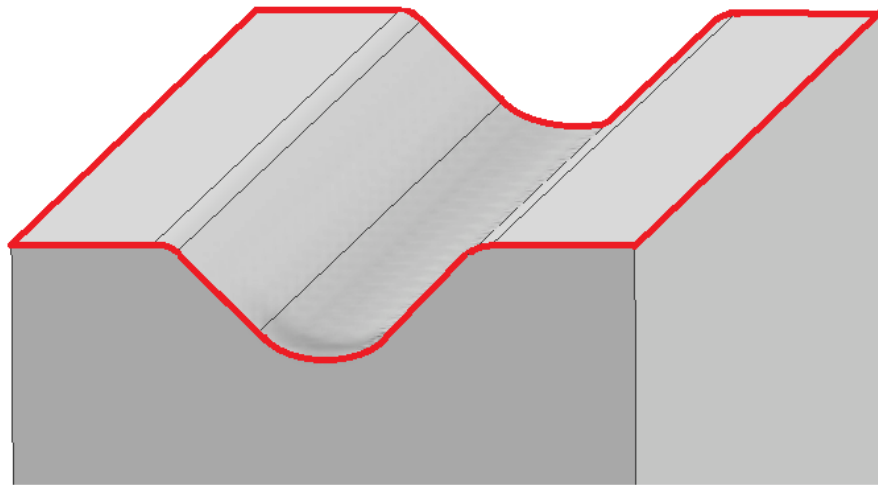
$$b_m = b_r = 210 \text{ mm} \quad (30)$$

9.2.5 Materiál a tepelné zpracování ohybnice

Materiál je stejný jako u ohybníku, pouze se mění rozměry polotovaru.

Velikost polotovaru: 64x64mm v bloku o potřebné délce

Tepelné zpracování je také shodné, až na výslednou tvrdost, která bude menší než tvrdost ohybníku. Bude tak zamezeno poškození ohybníku při případné kolizi nástrojů. Ohybník je tvarově složitější a proto má náročnější a dražší výrobní postup než ohybnice. Ohybnice bude tedy povrchově kalena na plochách V profilu na HRC 58-59.



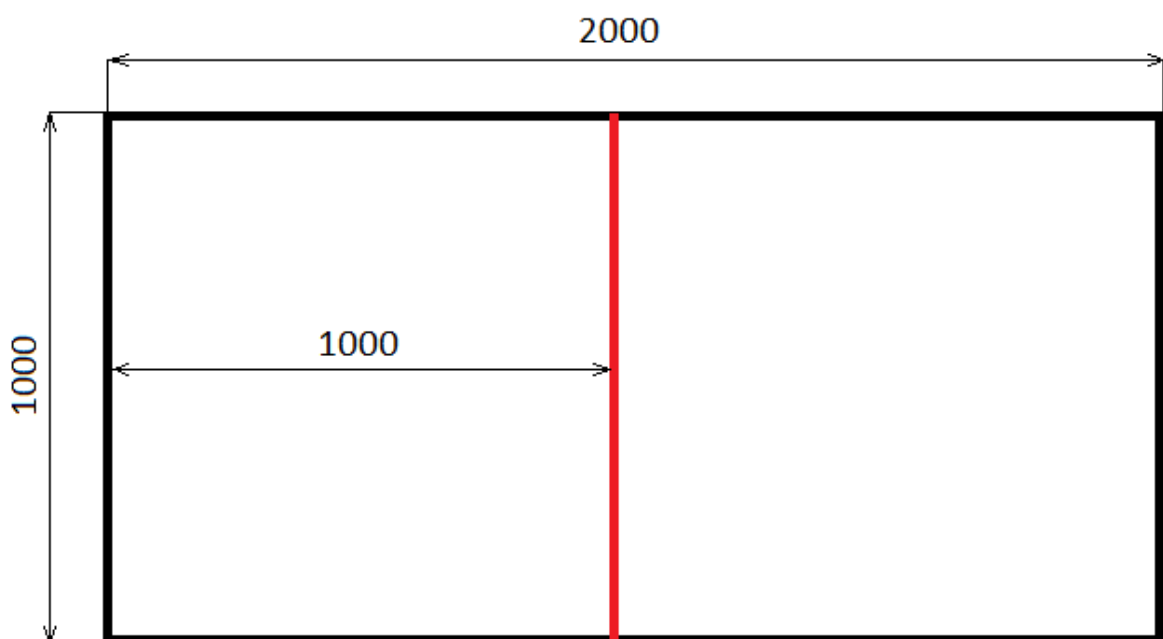
Obr. 38 Oblast pro povrchové kalení ohybnice

10 DĚLENÍ MATERIÁLU

Vstupním polotovarem je objednaný plech o rozměrech 1000x2000 mm a tloušťce 1,8 mm. Jednodušší varianta krytu č.1 je uzpůsobena na stříh na nůžkách. Složitější varianta krytu č.2 je navržena pro řezání laserem.

10.1 Stříhání na nůžkách

Prvním krokem je rozdělení plechu na dva plechy o rozměrech 1000x1000 mm. Plech je proto potřeba v polovině přestříhnout.



Obr. 39 Přestřížení plechu na polovinu

10.1.1 Maximální potřebná střižná síla

Maximální potřebná střižná síla je v místě přestřížení, jelikož je v daném místě délka stříhu nejdelší. Plocha A v místě stříhu se rovná násobku délky stříhu 1000 mm a tloušťky 1,8 mm. Střižná síla je tedy:

$$F_s = \tau_s \cdot A = 300 \cdot 0,6 \cdot 1800 = 324\,000 \text{ N} \quad (31)$$

kde:

F_s ...[N] střižná síla

τ_s ...[MPa] mez pevnosti ve smyku (počítá se jako 0,6 násobek pevnosti v tahu)

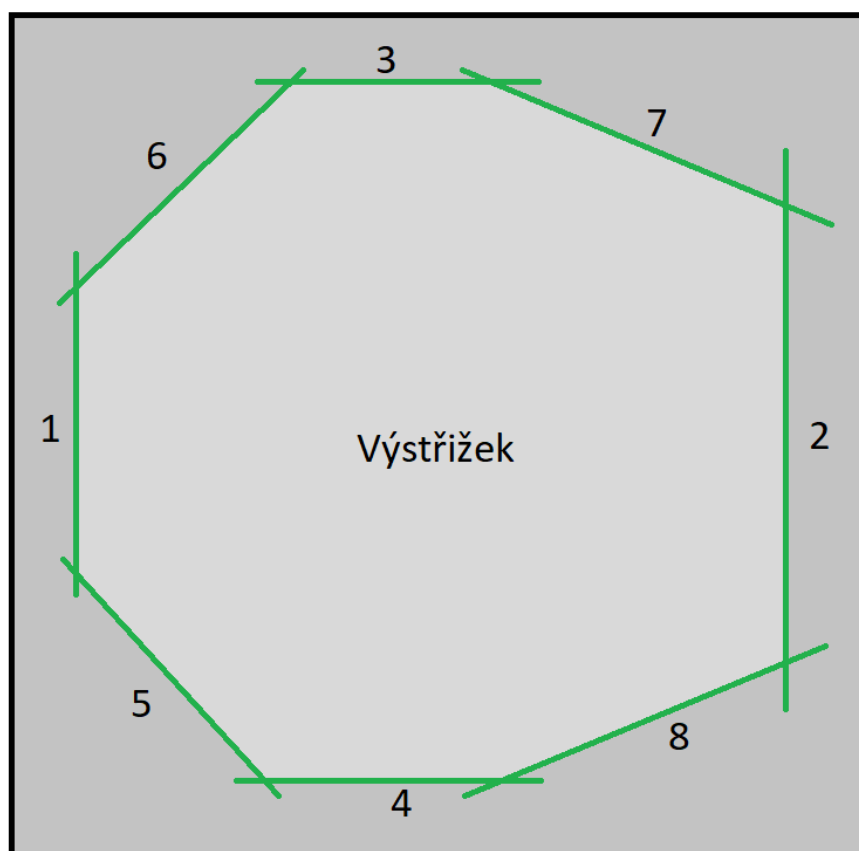
A ...[mm²] plocha v místě stříhu

Střižnou sílu je potřeba podle praxe navýšit o 20%. Výsledná střižná síla je:

$$F_{vs} = F_s \cdot 1,2 = 388\,800\text{N} \quad (32)$$

10.1.2 Vystřížení tvaru krytu č.1

Kryt č.1 byl navržen tak, aby jeho geometrie odpovídala střihání na nůžkách. Konturu krytu je možno překreslit na plech pomocí vytištěného výkresu v měřítku 1:1, nebo narýsováním na povrch plechu podle rozměrů na výkrese. Hrany budou postupně odstříhávány z původního čtvercového plechu do tvaru krytu, znázorněno na obr. 40.



Obr. 40 Vystřížení tvaru krytu

Z obr. 40 je patrné, že kryt je provést celkem 8 střižů k dosažení finálního výstřížku. Číslice na obrázku znázorňují jednotlivé střihy a jejich pořadí. Poloha geometrie krytu na plechu není důležitá, je proto možné umístit stříh č.3 a stříh č.2 na hrany plechu a tím eliminovat 2 potřebné střihy.

10.1.3 Koeficient využití materiálu

Koeficient využití materiálu je poměr mezi plochou polotovaru, v tomto případě plech 1000x1000 mm, a výstřížkem. Plocha výstřížku vypočítaná Inventorem je 577 263 mm².

Koeficient využití materiálu je:

$$k_m = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{577\,263}{1\,000\,000} \cdot 100 = 57,7\% \quad (33)$$

kde:

k_m ...[%] koeficient využití materiálu

S_v ...[mm²] plocha výstřížku

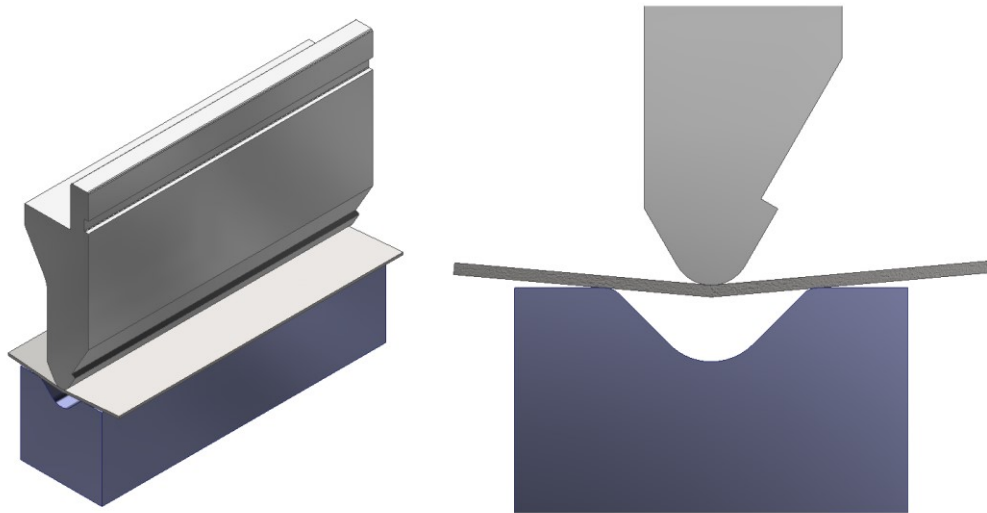
S_p ...[mm²] plocha polotovaru (plechu)

10.2 Řezání na laseru

Návrh krytu č.2 je uzpůsoben řezání na laseru. Kryt č.2 je tvarově složitější než kryt č.1, tudíž by jej nešlo vystříhnout na nůžkách bez pomoci speciálních nástrojů. Tepelným dělením na laseru je možno zhotovit i díry nacházející se na krytu, čímž odpadá operace vrtání.

11 SESTAVA OHÝBACÍHO NÁSTROJE

Plech je umístěn mezi ohýbací nástroje v pracovním prostoru ohraňovacího lisu. Pro ohnutí do požadovaného úhlu je potřeba na stroji nastavit hloubku zdvihu ohybníku. Hloubka bude nastavena pro úhel 170° , od kterého bude odečten úhel pro kompenzaci prohnutí z výpočtové části.



Obr.41 Sestavení ohýbacího nástroje

Na obr. 41 je znázorněn ohyb plechu do patřičného úhlu. Tento model vypovídá o tom, že pomocí takto zkonstruovaných nástrojů je možné tyto ohyby realizovat.

12 DISKUZE ŘEŠENÍ

Obě varianty krytů mají své výhody a nevýhody, podle kterých je potřeba se rozhodnout, jaká varianta bude vhodnější. Je zřejmé, že pokud je v plánu vyrobit jen pár kusů pro osobní potřebu, tak bude vyhovující zvolit variantu č.1. Její výhody spočívají v jednoduchosti výroby při použití tabulových, či jiných nůžek a ohraňovacího lisu s potřebným ohýbacím nástrojem. Nevýhodou je složitější montáž na automobil, protože na něm musí dojít k úpravě úchytočných ploch nanýtováním matic nebo uchycení do adaptéru.

Montáž varianty krytu č.2 je značně jednodušší, jelikož nepožaduje zásah do karoserie automobilu nebo potřebu uchycení do adaptéru. Tyto přednosti ocení běžný uživatel, který se nechce složitou montáží zabývat, proto je tato varianta vhodná pro sériovou výrobu a širší distribuci. Pro tyto účely byl navržen ohýbací nástroj v kapitole č.9, jehož zhotovení je ekonomicky výhodné jen při hromadné výrobě. Ohyby jsou jako u varianty č.1 realizovány na ohraňovacím lisu, avšak tvar krytu nejde vystříhnout na strojích s jednoduchým přímým střížným nástrojem. Kryt musí být vyřezán na laseru, což opět zlepšuje ekonomiku sériové výroby.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout plechový kryt pod motor. Pro daný kryt byl určen technologický postup výroby. Je zde uveden konstrukční návrh potřebného ohýbacího nástroje.

V teoretické části je obecně popsán proces tváření a jeho druhy, rozdíly mezi jednotlivými procesy a technologické vlastnosti materiálu. Následně je zde rozvedeno téma tvářecích strojů podle druhu pohonů a jejich využití. Konkrétněji se pak věnuje problematice ohýbání a stříhání plechů. V těchto kapitolách jsou zmíněny výpočty a faktory, které podporují část praktickou.

V úvodní kapitole praktické části je popsána funkce krytu pod motorem. Originální kryt je zde porovnán s vlastním návrhem plechové varianty. Navrženy byly dvě varianty krytů. Varianta č.1 je svou jednoduchostí, kde se na kontuře nenachází žádné složité tvary vyžadující speciální nástroje, vhodná pro kusovou výrobu při dostupnosti tabulových nebo jiných nůžek. Varianta č.2 je určená pro sériovou výrobu a řezání laserem. Dále je zde řešen technologický postup výroby, zvažující faktory potřebné před zahájením výroby. Výkres varianty krytu č.1 je v příloze P I a výkres varianty krytu č.2 v příloze P II.

Následující kapitola volba materiálu je souhrnem vlastností a norem zvoleného plechového polotovaru.

Kapitola č.8 je věnována výpočtům ohybů na výlisku. Tyto výpočty jsou používány při konstrukci výlisku, tak i při konstrukci ohýbacího nástroje.

V další kapitole je navržen ohýbací nástroj, skládající se z ohybníku a ohybnice. Je zde řešen způsob upnutí jednotlivých nástrojů a počítány jejich nejdůležitější rozměry. Nástrojům byl přiřazen materiál i s polotovarem a vhodným místem odběru. Graficky byla znázorněna místa pro tepelné zpracování povrchovým kalením funkčních ploch nástroje. Výkres ohybníku je v příloze P III a výkres ohybnice v příloze P IV.

V poslední části věnované dělení materiálu je převážně rozebráno stříhání na tabulových nůžkách pro variantu krytu č.1. Je zde popsán postup dělení plechu i následné stříhání kontury krytu. Potřebná střižná síla je určena výpočtem. Pro variantu krytu č.2 je stručně popsán proces tepelného dělení na laseru.

Lze konstatovat, že kryt č.1 je méně náročný na výrobu. Naopak je však složitější pro montáž na automobil, jelikož neobsahuje uchycovací prvky jako kryt č.2.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BENEŠOVÁ, Soňa a Vladimír BERNÁŠEK. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ. Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0449-0.
- [2] LENFELD, Petr. Technologie II. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-304-1
- [3] VOJTĚCH D.: Kovové materiály. 1.vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-600-1
- [4] Technologie tváření kovů. Technická univerzita Liberec [online]. [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm#011
- [5] FABÍK, Richard. Tváření kovů: učební text : studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2572-4.
- [6] REDWING, Ronald. Malleability and Ductility [online]. Pennsylvania, USA: Penn State, College of Earth and Mineral Sciences [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/matse81/node/2107>
- [7] KRUML, Tomáš MICHEL, Jean-Pierre. Úvod do teorie dislokací. Učební pomůcka VUT-FSI, Brno: 2008.
- [8] VÁVRA, Václav, LOSOS Zdeněk, Krystalové srůsty a pseudomorfózy. Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium [online]. [cit.2023-01-29]. Dostupné z: https://mineralogie.sci.muni.cz/kap_2_5_srusty/kap_2_5_srusty.htm
- [9] RADEK, ČADA. Technologie tváření a slévání – Teoretický základ: Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu. Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3015-5.
- [10] MAŇAS, Stanislav. Výrobní stroje a zařízení: Část: Tvářecí stroje. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2006.
- [11] STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004.

- [12] BOLJANOVIC, Vukota. Metal Shaping Processes: Casting and Molding; Particulate Processing; Deformation Processes; and Metal Removal. Industrial Press, 2010. ISBN 978-0-8311-3380-1.
- [13] ČECHURA, Milan, HLAVÁČ, Jan a STANĚK, Jiří. Konstrukce tvářecích strojů. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.
- [14] BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 2nd Edition. Industrial Press, 2014. ISBN 978-0-8311-3492-1.
- [15] ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA. Sheet Metal Forming: Processes and Applications. Materials Park, Ohio: ASM International. ISBN 978-1-61503-844-2.
- [16] NEE, John G. Fundamentals of Tool Design. 6th Edition. Society of Manufacturing Engineers (SME), 2010. ISBN 978-087263-867-9.
- [17] CAMPBELL, F.C. Metals Fabrication - Understanding the Basics. ASM International, 2013. ISBN 978-1-62708-018-7
- [18] BOWMAN, Dr. Marcus. SHEET METAL WORK. Ramsbury, Marlborough: The Crowood Press, 2014. ISBN 978-1-84797-779-3.
- [19] WEI-WEN, Yu., Roger A. LABOUBE a Helen CHEN. Cold-Formed Steel Design. 5th Edition. John Wiley, 2020. ISBN 978-1-119-48739-5.
- [20] RADHAKRISHNAN, P. Computer Numerical Control Machines and Computer Aided Manufacture. 2nd Edition. New Academic Science, 2015. ISBN 978-1-78183-085-7.
- [21] MOORE, John H., Christopher C. DAVIS, Michael A COPLAN a Sandra GREER. Building scientific apparatus. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-0-521-87858-6
- [22] BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. Industrial Press, 2004. ISBN 978-0-8311-3182-1
- [23] QIN, Yi. Micromanufacturing Engineering and Technology. 2nd Edition. Elsevier, 2015. ISBN 978-0-323-31149-6.

- [24] FRAHM, Bill, 2022, The problem of anisotropy in metal forming. Stamping Journal [online]. 16 February 2022. [Accessed 22 March 2023]. Available from: <https://www.thefabricator.com/stampingjournal/article/stamping/the-problem-of-anisotropy-in-metal-forming> <https://www.bibme.org/bibliographies/51f1247f-309c-4f4e-9de8-55d6c281163d>
- [25] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření [online]. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007 [cit. 2023-04-19]. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [26] *škoda-dily* [online] [cit. 2023-05-20] Dostupné z: <https://www.skoda-dily.cz/nahradni-dil/1k0825237ag-spodni-kryt-motoru-polsko-23107.html>
- [27] *autoron* [online] [cit. 2023-05-20] Dostupné z: <https://www.autoron.cz/octavia+20957/kryt-motoru-skoda-octavia-52008-2013-pasuje-na-vsechny-motory/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
e_{tah}	napětí v tahu	MPa
e_{tlak}	napětí v tlaku	MPa
Ri	poloměr ohybu	mm
T	tloušťka	mm
Fr	střižná síla pro vodorovné nůžky	N
τ_s	mez pevnosti ve stříhu	MPa
A	střižná plocha	mm^2
F_{vs}	reálná střižná síla	N
F_z	střižná síla pro nůžky se zešikmenými noži	N
n	koeficient materiálu	-
λ	relativní míra proniknutí horního nože do materiálu	-
ϕ	úhel sklonu horního břitu	$^\circ$
c	střižná vůle	mm
k_{sv}	koeficient střižné vůle	-
Rm	mez pevnosti	MPa
Re	mez kluzu	MPa
R_{min}	minimální rádius ohybu	mm
ϵ_0	mezní prodloužení	-
t	tloušťka ohýbaného materiálu	mm
c	koeficient pro různé druhy materiálu	-
R_{max}	maximální poloměr ohybu	mm
E	modul pružnosti v tahu	GPa
k	koeficient pro úhel odpružení	-
x	koeficient posunutí od neutrální osy	-
l_i	jednotlivé délky ramen	mm
β_i	úhel odpružení	$^\circ$
b	šířka plechu	mm
ρ	poloha neutrální osy	mm
R_0	vnitřní poloměr ohybu	mm
F_0	ohýbací síla	N
r_r	zaoblení ohybníku	mm
b_r	šířka ohybníku	mm
r_m	zaoblení ohybnice	mm
V	rozevření ohybnice	mm
b_m	šířka ohybnice	mm
F_s	střižná síla	N
k_m	koeficient využití materiálu	%

S_v	plocha výstřižku	mm^2
S_p	plocha polotovaru	mm^2

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Porovnání profilů zkušebních tyčí tahové zkoušky [6].....	15
Obr. 2 Tahový diagram pro profily (a,c) [6]	15
Obr. 3 Skluz v kubické plošně středěné mřížce [7]	16
Obr. 4 Deformace dvojčatěním [9]	16
Obr. 5 Schéma jednoduchého hydraulického obvodu [10]	18
Obr. 6 Blokové schéma přímého pohonu [10]	19
Obr. 7 Blokové schéma nepřímého pohonu [10]	19
Obr. 8 Blokové schéma obvodu s multiplikátorem [10]	20
Obr. 9 Klikový a výstředníkový mechanismus [11]	22
Obr. 10 Schéma výstředníkového lisu [11]	22
Obr. 11 Schéma klikového lisu [10]	23
Obr. 12 Jednoduché schéma bucharu [13]	24
Obr. 13 Schéma protiúderového beranu [10]	25
Obr. 14 Běžné profily ohýbaných plechů. [14]	26
Obr. 15 Znázornění terminologie na ohýbaném kusu [15]	26
Obr. 16 Průhyb nosníku [15]	27
Obr. 17 Tabulka koeficientů c [15]	29
Obr. 18 Vliv anizotropie na kvalitu ohybu: a) rovnoběžná orientace zrn ku ohybu; b) kolmá orientace zrn ku ohybu [15]	30
Obr. 19 Princip ohybu v zápustce [17]	31
Obr. 20 Typické operace prováděné na ohraňovacím lisu [20]	31
Obr. 21 Schéma stříhacích fází [12]	33
Obr. 22 Tabulka koeficientů λ [12]	34
Obr. 23 Rozdíl mezi děrováním a vystřihováním [22]	35
Obr. 24 Schéma děrovacích fází [22]	35
Obr. 25 Znázornění střížné vůle [22]	36
Obr. 26 Tabulka střížné vůle c vyjádřené v % tloušťky materiálu [22]	36
Obr. 27 Plastový kryt motoru [26]	40
Obr. 28 Plechová varianta krytu [27]	41
Obr. 29 Varianta krytu č.1	41
Obr.30 Varianta krytu č.2	43
Obr. 31 Délky ramen pro výpočet odpružení	47
Obr. 32 Poloha neutrální osy [25]	48
Obr. 33 Délka rozvinu podle Inventoru	49

Obr. 34 Upnutí AMADA-PROMECAM [29,30]	50
Obr. 35 Oblast pro povrchové kalení ohybníku	51
Obr. 36 Upnutí ohybnice na stůl ohraňovacího lisu [30]	52
Obr. 37 Rozevření ohybnice	53
Obr. 38 Oblast pro povrchové kalení ohybnice	54
Obr. 39 Přestřižení plechu na polovinu	55
Obr. 40 Vystřižení tvaru krytu	56
Obr.41 Sestavení ohýbacího nástroje	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Koeficienty c pro vybrané materiály.....	45
Tabulka 2 Součinitel posunutí neutrální osy.....	49

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Varianta krytu č.1	č.v. 00-0000-01
Příloha P II: Varianta krytu č.2	č.v. 00-0000-02
Příloha P III: Ohybník	č.v. 00-0000-03
Příloha P IV: Ohybnice	č.v. 00-0000-04