

Plošné tváření v programu Solid Edge

Jakub Vážný

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Vážný**
Osobní číslo: **T11651**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Plošné tváření v programu Solid Edge**

Zásady pro vypracování:

Teoretická studie na téma plošné tváření
Analytické řešení modelového příkladu výlisku
Využití CA metod pro řešení úloh plošného tváření
Zpracování dokumentace pro plošné tváření v programu Solid Edge v modulu Sheet Metal

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. Základy technologie I. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 159 s. ISBN 978-80-01-04867-2.

FRISCHHERZ, Adolf a Paul SKOP. Technologie zpracování kovů. 5. vyd. Praha: SNTL, c2004, 268 s. ISBN 80-902655-5-3.

GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013, XV, 1101 s. ISBN 978-1-118-23146-3.

SRP, Karel. Základy lisování. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 247 s.

LUKOVICS, Imrich. Konstrukční materiály a technologie. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 273 s. ISBN 8021403993.

HU, Jack, MARCINIAK, Zdzislaw, DUNCAN, John. Mechanics of sheet metal forming. Butterworth-Heinemann, 2002.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Román Čermák, Ph.D.
děkan

L.S.


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

Příjmení a jméno: VAŽNÝ JAKUB

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 19. 5. 2014

Vážný

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

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

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

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

²⁴ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

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

²⁹ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vytvoření videomanuálu k modulu Sheet Metal v programu Solid Edge. Teoretická část této práce se zabývá plošným tvářením, jeho metodami a samotnou technologií ohýbání. V praktické části je analyticky řešen modelový příklad výlisku a využití CA metod pro řešení úloh plošného tváření.

Klíčová slova: Solid Edge, Sheet metal, plošné tváření

ABSTRACT

The goal of the bachelor thesis is to create the video manual to module of Sheet Metal in the Solid Edge. The theoretical part of this thesis deals with the surface shanking, its methods and the technology bending itself. Model example of the molding and the use of CA methods for solving problems of sheet metal forming is solved analytically in the practical part.

Keywords: Solid Edge, Sheet metal, surface shanking

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, pomoc při řešení vzniklých problémů a za trpělivost při spolupráci.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ.....	12
1.1 HISTORIE TVÁŘENÍ	12
1.2 TVÁŘENÍ	13
1.2.1 Tváření za studena.....	14
1.2.2 Tváření za tepla	15
1.2.3 Tváření za poloohřevu.....	17
1.2.4 Poruchy krystalové mřížky	17
2 METODY PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ	20
2.1 STŘÍHÁNÍ.....	20
2.1.1 Princip stříhání	20
2.1.2 Střížná síla a práce	22
2.1.3 Rozdělení stříhání dle konstrukce nožů	23
2.1.4 Metody přesného stříhání	24
2.1.5 Nástřihové plány	25
2.2 TAŽENÍ	25
2.2.1 Proces tažení.....	26
2.2.2 Vznik vln.....	26
2.2.3 Výpočet síly a práce	27
2.2.4 Mazání.....	28
2.2.5 Ostatní technologické metody tažení	28
2.3 ROVNÁNÍ.....	28
2.4 KOVOTLAČENÍ.....	30
2.5 ZVLÁŠTNÍ METODY PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ.....	30
3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	32
3.1 ODPRUŽENÍ	33
3.2 POSTUPY OHÝBÁNÍ.....	35
3.2.1 Klasické ohýbání	35
3.2.2 Ohýbání trubek.....	35
3.2.3 Ohraňování	36
3.2.4 Lemování.....	36
3.2.5 Zakružování.....	37
3.3 MAXIMÁLNÍ A MINIMÁLNÍ POLOMĚR OHYBU	38
3.4 VÝPOČET SÍLY A PRÁCE	39
3.4.1 Síla ohybu V a U	39
3.4.2 Práce ohybu V a U	39
3.5 OHÝBACÍ NÁSTROJE	40
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	43
5 MODELOVÝ PŘÍKLAD.....	44

5.1	ANALYTICKÝ PROPOČET OHYBU	45
5.1.1	Výpočet rozvinuté délky	46
5.1.2	Výpočet maximálního a minimálního poloměru.....	46
5.1.3	Výpočet odpružení ohybu tvaru V	47
5.1.4	Šířka lisovací formy	47
5.1.5	Výpočet ohýbací síly ohybu tvaru V.....	48
5.1.6	Výpočet ohýbací práce ohybu tvaru V.....	48
5.2	ANALYTICKÝ PROPOČET STŘIHU	49
5.2.1	Výpočet součinitele využití materiálu.....	50
5.2.2	Výpočet střížné síly	50
5.2.3	Výpočet střížné vůle.....	51
5.2.4	Výpočet šířky pásu plechu	51
5.2.5	Výpočet počtu pásů z tabule	51
5.2.6	Výpočet počtu výstřížků z jednoho pásu	52
5.2.7	Výpočet počtu výstřížků z jedné tabule	52
5.2.8	Výpočet potřebného počtu tabulí	52
5.2.9	Výpočet procentuálního využití tabule	53
5.2.10	Výpočet hmotnosti výstřížků	53
5.2.11	Výpočet hmotnosti tabulí	53
5.2.12	Výpočet hmotnosti odpadu	54
5.3	VYUŽITÍ PROGRAMU SOLID EDGE A DALŠÍCH CA METOD	55
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK.....	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66

ÚVOD

Jelikož spousta lidí využívá ke své výuce CAD programů názorných videomanuálů, které jsou umístěny na internetu, rozhodl jsem se takové popisující video vytvořit pro Program Solid edge modul Sheet metal. Tedy pro výukové video tvorby plechové součásti v českém jazyce, které na internetu zatím není.

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá problematikou plošného tváření kovových materiálů. Uvádí mechanické změny materiálu, a to jak při tváření za tepla, tak i za studena a srovnává jejich vlastnosti z hlediska kvality výrobku. Popisuje krystalické změny a pochody materiálu, díky kterým dochází k samotnému přetváření.

Jsou zde popsány téměř všechny hlavní metody, kterými lze přetváření provádět. Ať už se jedná o metody dělicí materiál, kterými je stříhání, nebo metody provádějící objemové změny, kterými je tažení. Dále jsou ve stručnosti popsány praktiky rovnání, kovotlačení a zvláštní metody plošného tváření.

Obsahově největší prostor zabírá popis technologie ohýbání, jelikož na ni navazuje praktická část práce. Jsou zde popsány postupy a metody, kterými ohýbání provádíme. Jedna kapitola je věnována odpružení materiálu, které je nedílnou součástí ohýbání. Dále jsou popsány výpočty, sloužící k analytickému řešení ohybu.

Závěr teoretické části obsahuje popis ohýbacích strojů

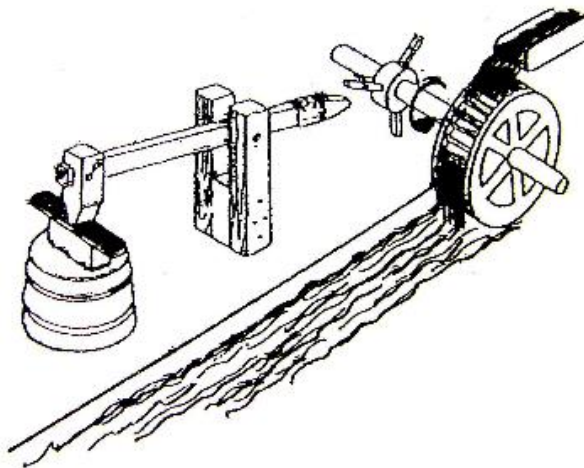
V praktické části se zabývám modelovým příkladem výlisku, který je řešen jak metodou analytickou, tak i CA metodou s pomocí programu Solid Edge. Je vytvořen stručný manuál tvorby modelu a jeho následovné rozložení na rozvin. Práce je dále doplněna o videomanuál, ve kterém jsou popsány základní tvářecí funkce modulu Sheet metal. Jelikož se jedná o nastavbový modul, počítám již se základní znalostí tvorby náčrtů a modelování v programu Solid edge.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ

1.1 Historie tváření

Poznání kovů přineslo člověku s možností výroby různých tvarů také otázku technologického zpracování. Mezi nejstarší technologie tváření bezesporu patří kovárenství, jež kovy od samého počátku doprovází. Jako první se zpracovávaly kovy čisté. Tyto kovy bylo možné tavit na otevřeném ohništi redukcí dřevěným uhlím. Následovalo lití a posléze kování. Docházelo také k mísení kovů. Smísením rudy měděné a cínové bylo dosaženo cínového bronzu. Pokud se budeme bavit o rudě železa, tak tu na otevřeném ohništi nezredukujeme v tekutý stav, ale dostaneme malé hrudky nízkouhlíkové tzv. svářkové oceli. Ty pak kovářským způsobem svaříme. Kovářská práce byla velmi namáhavá. Od získání výchozího polotovaru, až po tepelné zpracování. Hlavním předmětem výroby byly zbraně. Ty se s časem a vývojem člověka měnily. Především po vynálezu střelného prachu došlo k přechodu ze zbraní sečných na zbraně střelné. Z hlediska výroby však střelné zbraně potřebovaly mnohem dokonalejší a výkonnější pracovní postupy. Ruční kladiva byla nahrazena mechanickými buchary, které poháněla vodní síla.



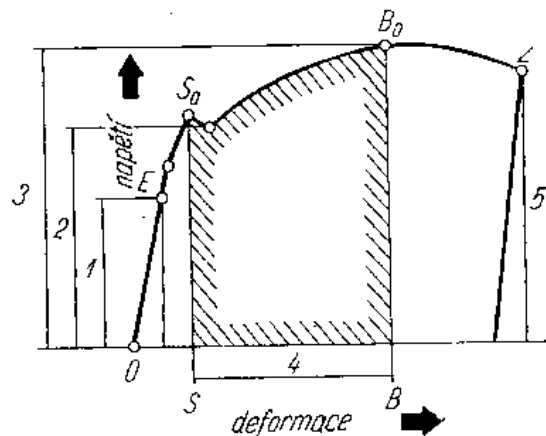
Obr. 1. Mechanický buchar [7]

Stávající svářková ocel přestala být pro tento druh výroby vhodnou, proto byla nahrazena ocelí kelímkovou, což byla přetavená svářková ocel s přísadami obsahující uhlík. Kelímková ocel byla odlévána do ingotu, které čím dál více narůstaly na rozměrech, a opět se stalo, že stávající vodní buchary začaly být nevyhovujícími. Tento problém vyřešil vynález parního stroje a následně parního bucharu. V roce 1838 byl vynalezen parní buchar na

spodní páru. Těžké strojírenství bylo na vzestupu. Došlo k nahrazení bucharů hydraulickými lisami. Volné kování se změnilo na zápusťkové. O první zápusťkové výkovky se zasloužily Coltovi závody v roce 1860. Posledním milníkem bylo vynalezení klikového lisu, který se následně rozšířil do hromadné výroby. [2]

1.2 Tvářeni

Jedná se o technologický postup, kterým lze mnohem jednodušeji a levněji dosáhnout různých tvarů, než pokud bychom použili jiné technologické postupy (obrábění). Další výhodou je, že se většinou zlepšují mechanické vlastnosti materiálu, např. mez únavy. Tvářeni je děj, při kterém dochází k přemísťování částic materiálu. Při tvářeni nedochází k porušení soudržnosti materiálu. Důležitou podmínkou je schopnost materiálu deformovat se za určitých podmínek. Tedy snášenlivost plastické deformace. Výsledného a předem stanoveného tvaru dosáhneme působením vnějších sil, které však nesmí překročit určitou hranici, za kterou by následovalo porušení celistvosti materiálu. Jedná se o vzájemné působení vnějších sil (přenášeny nástrojem) a vnitřních vazebných sil v materiálu. Průběh závislosti deformace materiálu na tlaku si můžeme zobrazit na diagramu tahové zkoušky.



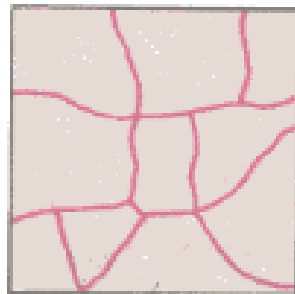
Obr. 2. Diagram tahové zkoušky [1]

Z bodu 0 do bodu E stoupá křivka přímočaře, deformace je tedy přímo úměrná napětí. Platí zde Hookův zákon a po odlehčení se tvar vrací do původního stavu. Jde o deformaci plastickou. Po bod S₀ se jedná o tečení materiálu a odtud až po bod B₀ jde o oblast úspěšného tvářeni. Bod B₀ představuje mez nejvyššího přípustného napětí, za kterým může dojít k porušení soudržnosti materiálu. Vrcholem trhlin a lomů je bod Z, kde dojde k úplnému

přetržení. Nejlepších výsledků dosahujeme silami v blízkosti horní hranice napětí. V diagramu můžeme také pozorovat vyznačenou plochu pod křivkou, ta určuje tvářitelnost kovu. S rostoucí plochou tvářitelnost také roste. U křehkých materiálů lze pozorovat, že pod trhacím diagramem žádná plocha není. Materiály s velkým rozsahem elasticity jsou vhodné na výrobu pružin, zatímco materiály s velkým rozsahem plasticity se hodí k tváření. Jako vhodné materiály pro tváření můžeme uvést nelegované nezakalené oceli a některé slitiny hliníku. Mezi další podmínky ovlivňující tvářitelnost patří teplota, rychlost deformace, velikost deformace, stav napjatosti, chemické složení a fyzikální stav materiálu. Tváření si můžeme rozdělit dle teploty na tváření za studena a na tváření za tepla. Nebo dle změny tvaru na tváření plošné a na tváření objemové. [1], [4]

1.2.1 Tváření za studena

Jde o tváření za pokojové teploty. Ke změně tvaru, tedy posunu objemů, dochází působením deformační práce, čímž se zvyšuje vnitřní pnutí v materiálu. Tomuto vnitřnímu pnutí říkáme tzv. zpevnění materiálu.



*Obr. 3. Normální
struktura [3]*



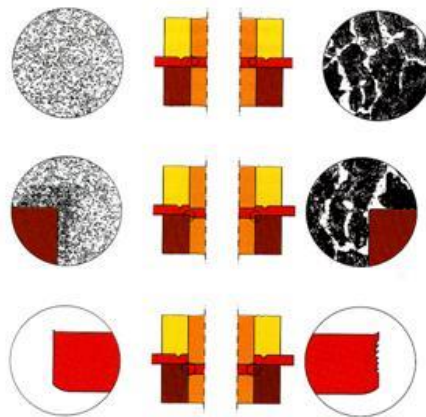
Obr. 4. Struktura po stlačení [3]

Strukturu materiálu můžeme pozorovat na (Obr. 3) a (Obr. 4). Zrna se prodlužují a natáčí ve směru deformace. Dochází k navýšení pevnosti a tvrdosti, ale klesá vrubová houževna-

tost a tvárnost. Při tváření za studena jsme omezeni přípustnou hranicí deformace, za kterou se materiál začíná trhat. Pokud bychom chtěli ve tváření pokračovat, pak musíme účinky tváření odstranit. Provedeme to tzv. zotavováním, kdy materiál zahříváme na určitou teplotu. Dochází ke zmenšení vnitřního pnutí, zrna však svůj tvar nemění. Rekrystalizace dosáhneme žíháním nad rekrystalizační teplotu. $T_R = (0,35-0,4) * T_r$, kde T_r znamená teplotu tavení materiálu. [2], [5]

1.2.2 Tváření za tepla

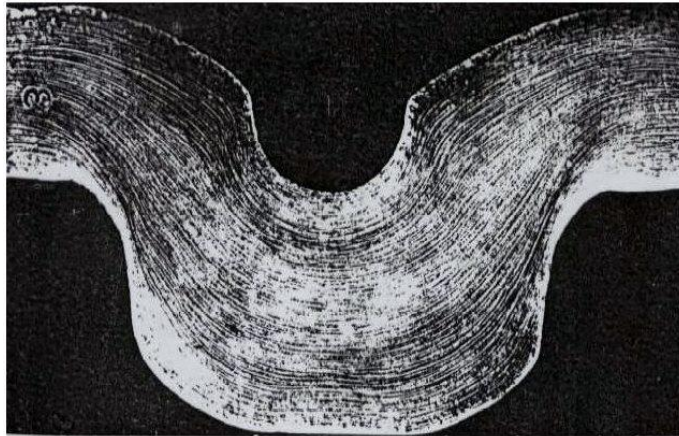
Toto tváření probíhá nad rekrystalizační teplotou materiálu. Díky rychlosti rekrystalizace nedochází ke zpevnění vůbec, nebo mizí bezprostředně po dokončení. Tvářicí teplota začíná na 70% teploty tání materiálu. Oproti tváření za studena potřebujeme až desetkrát menší síly, což je způsobeno tím, že se materiál nezpevňuje. U tváření za tepla dostáváme nekvalitní povrch vlivem okujení a dochází k hrubnutí zrna. Hrubé zrno ovlivňuje nepříznivě kvalitu dalšího technologického zpracování. Na obrázku (Obr. 5) můžeme pozorovat vliv velikosti zrna na stříh.



Obr. 5. Vliv velikosti zrna na kvalitě stříhu [5]

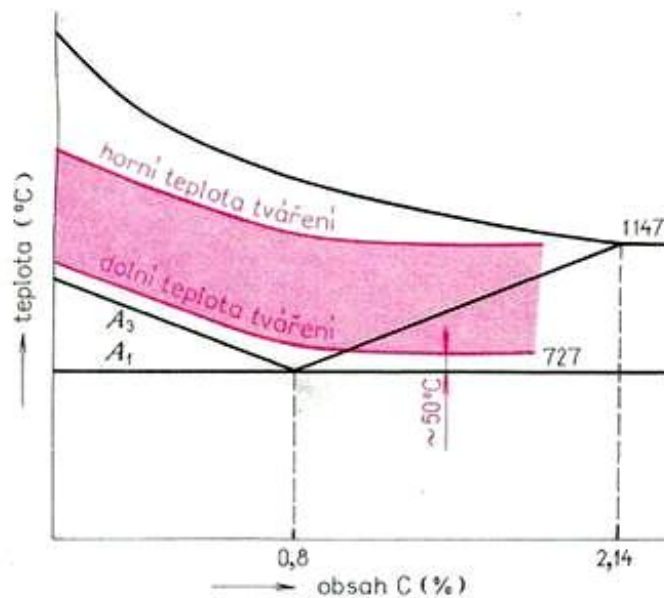
Tváření za tepla je mnohem nákladnější a delší proces, než tváření za studena. Dalším vlivem u tváření za tepla je vznik vláknité struktury (Obr. 6), která vzniká z dendritické struk-

tury ingotu. Vlákňitou strukturu není možné změnit dalším tvářením ani tepelným zpracováním. Tato struktura nám značně ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu.



Obr. 6. Vlákňitost materiálu [5]

Při tváření za tepla je důležité, abychom správně zvolili tvářicí teplotu. Pro uhlíkové oceli máme tvářicí oblast zobrazenou v grafu (Obr. 7).



Obr. 7. Oblast tvářecích teplot [3]

Rozmezí tvářecích teplot pro některé další materiály jsou zobrazeny v (Tab. 1).

Tab. 1. Ostatní tvářecí teploty

Materiál	Tvářecí teplota (°C)
ocel uhlíková	750 až 1 300
ocel slitinová	900 až 1 150
měď	900 až 1000
slitiny mědi	650 až 900
titan	700 až 1 100
slitiny hliníku	350 až 500

Během tváření dochází k poklesu teploty k dolní hranici tvářecí teploty, proto musíme v různých případech, kdy nebyl proces tváření dokončen, volit další ohřev materiálu. Ohřev volíme tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné prohřátí celého průřezu. Během zahřívání dochází ke ztrátám opalem, z toho důvodu musí být ohřev proveden v co nejkratším čase. Ohřev ingotů pro válcování se nejčastěji provádí v hlubinných pecích pomocí hořáků umístěných buď v čelní stěně (ohřev shora), nebo ve spodku pece (ohřev středem).

Při zápusťkovém kování se ingoty ohřívají v komorové, narážecí, karuselové, talířové a štěrbinové peci. Všechny tyto pece využívají jako zdroj tepla hoření plynů, kromě toho se také používají pece elektrické odporové a pece indukční. U těchto pecí je velkou výhodou jejich přesná regulace a snadná obsluha. [2], [5]

1.2.3 Tváření za poloohřevu

Kompromisem mezi tvářením za studena a tvářením za tepla je tváření za poloohřevu. Využívá se pro zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. Dále získáme lepší přesnost a jakost povrchu. Zahřátí provádíme do teplot, které jsou omezeny oxidací povrchu.

1.2.4 Poruchy krystalové mřížky

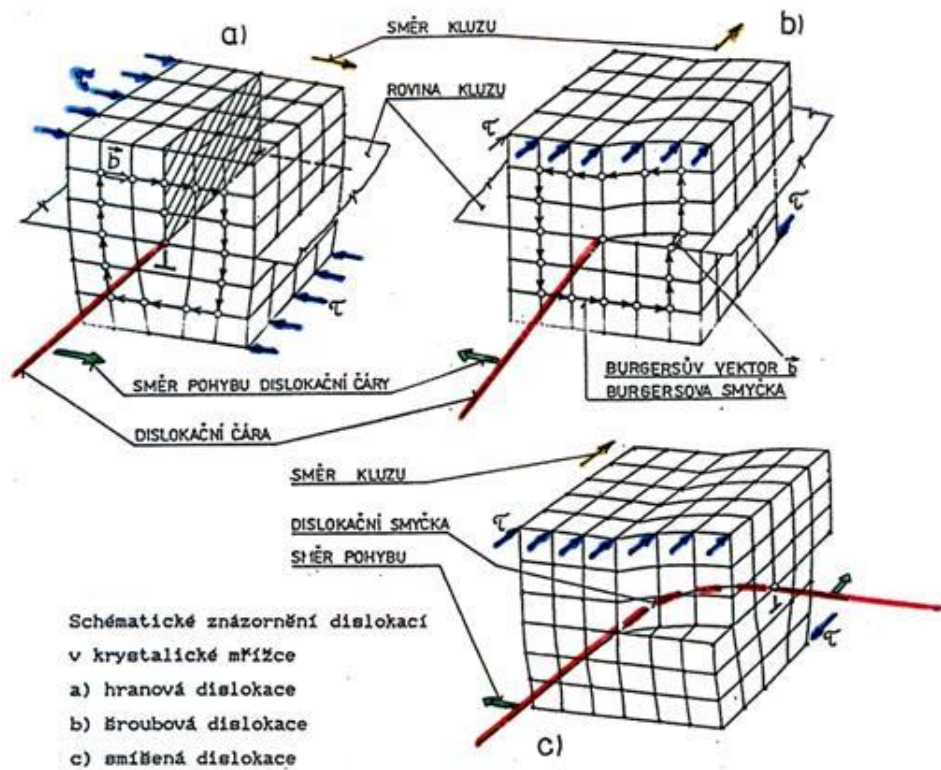
Jak již bylo řečeno, při plošném tváření dochází k plastické deformaci, tedy k pohybu jednotlivých částíček kovů, které jsou uspořádány v krystalové mřížce. U reálných kovů však tato mřížka není dokonalá.

Rozeznáváme následující poruchy mřížky:

- Bodové (vakance, interstice, substituce)

- Čárové (hranové, šroubové a kombinované)
- Plošné (vrstevné vady, hranice zrn, subzrn, dvojčatní)
- Prostorové (hranice krystalů, vměstky, amorfni částice, aj.)

Při tváření mají největší vliv čárové poruchy – dislokace. Projevují se vysunutím atomů z pravidelných poloh krystalové mřížky. Hustota dislokací r je celková délka dislokačních čar L , obsažených v jednotce objemu V . Hustota dislokací ovlivňuje pevnost kovu. Tvářením dochází k nárůstu dislokací a následně ke zpevnění. [3], [5]



Obr. 8. Rozdělení dislokací [3]

Během tváření stojí za vznikem dislokací tyto procesy:

- Krystalizace kovů (vzniká růstová spirála, dojde ke vzniku šroubových dislokací)
- Nárůst zrn do bloků (vznikají hranové a šroubové dislokace)

- Změna shluku vakancí na dislokace
- Frank-Readův zdroj dislokací (rozdělení dislokační čáry na dvě dislokace)
- Skluz
- Difúze

2 METODY PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ

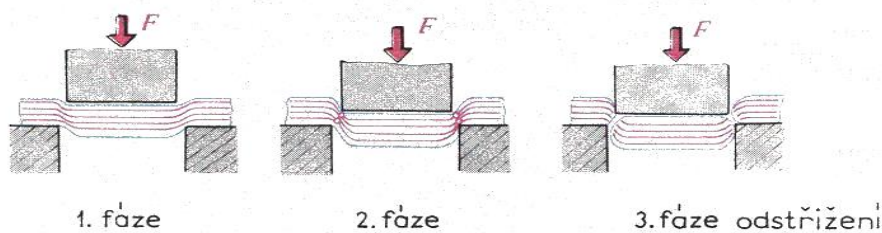
- Stříhání
- Tažení
- Rovnání
- Ohýbání
- Kovotlačení
- Zvláštní metody plošného tváření

2.1 Stříhání

Stříhání se řadí na první místo mezi tvářecími technologiemi. Využití nachází jednak při přípravě polotovarů (tabule, svitky plechů, různé profily a vývalky), jednak při přípravě výrobků na další technologické zpracování (ohýbání, protlačování, tažení, atd.) a v poslední řadě na dokončovací operace. V předchozí kapitole byly stanoveny dvě teplotní metody tváření. Za studena a za tepla. U stříhání využíváme metodu za studena pro měkké oceli s pevností do 400 MPa a nebo pro plechy. Stříhání za tepla volíme pro tvrdší a tlustší materiály. Nejvýhodnější teploty pro oceli jsou 700 až 900 °C. Střížných operací je mnoho, pro přehlednost byly rozděleny do tabulky (Tab. 2). [1], [5]

2.1.1 Princip stříhání

Jedná se o metodu oddělení materiálu působením smykových napětí, které jsou vyvolány protilehlými řeznými hranami. Průběh stříhu probíhá ve třech fázích (Obr 10).



Obr. 9. Fáze stříhání [3]

První fáze probíhá v oblasti pružných deformací. Dochází ke stlačení, ohnutí a vtlačení materiálu do otvoru střížnic. Druhá fáze je v oblasti plastických deformací. Napětí překračují mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se přibližují k mezi pevnosti. Ve třetí fázi již dochází ke vzniku trhlin, které se postupně rozšiřují, až dojde k samotnému utržení (usmýknutí) materiálu. Díky elasticitě a tvárnosti materiálu není střížná plocha zcela rovinná, nýbrž s určitou drsností. Na odstříhnuté ploše rozeznáváme čtyři různá pásma.

První pásmo - zaoblení (elastická deformace), druhé pásmo – utržení, třetí pásmo – smyku (plastické deformace), čtvrté pásmo – odtlačení. [5]

Tab. 2. Střížné operace [1]

Poř. Čís.	Název	Popis	Náčrt
1	Stříhání (prosté)	Oddělování výstřížků z pásů, tabulí a tyčí různého tvaru přerušením vláken po uzavřeném obryse. Výstřížek je výrobkem.	
2	Děrování	Zhotovování otvorů různých tvarů jednotlivě, nebo ve skupinách. Výstřížek je odpad.	
3	Nastříhování	Částečné nastřížení materiálu tak, že není úplně oddělen.	
4	Přestříhování	Patří k stříhání prostému. Oddělování částí materiálu po otevřeném obryse.	
5	Ostříhování	Odstraňování přebytečných nebo nerovných částí materiálu, otrpů, švů apod.	
6	Přistříhování	Ostříhování výstřížků k dosažení přesných tvarů a hladkého povrchu stříhu.	
7	Protrhávání	Protržení materiálu k vytvoření hrotů, výstupků, otvorů.	
8	Rozstříhování	Patří k stříhání prostému. Rozstřížení tvářeného, nebo plochého polotovaru na dvě nebo více částí.	
9	Vysekávání	Vysekávání otvorů nebo výseků do snadno dělitelných materiálů výsečnický.	
10	Vyštípávání	Postupné stříhání drážek, nebo postupné vystřihávání obrysu z tabulí, desek apod.	

a = výstříh, b = výsek, c = odpad

2.1.2 Střížná síla a práce

Střížnou sílu a práci rozdělujeme dle použití nožů.

- a) Nože rovnoběžné

Střížná síla:

$$F_S = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s \quad (1)$$

Kde s [mm] je tloušťka plechu, O [mm] je střížný obvod, τ_s [MPa] je napětí ve smyku $= 0,8 \cdot R_m$, $n = (1,1 - 1,3)$

Práce:

$$A = F_S \cdot k \cdot z \quad (2)$$

Kde F_S [N] je střížná síla, k je koeficient zaplnění plochy pod křivkou a z [mm] je zdvih.

- b) Nože šikmé

Střížná síla:

$$F_S = \frac{n \cdot s^2 \cdot \tau_s}{\tan j} \quad (3)$$

Kde j [°] je úhel sklonu nožů (2 až 6° pro tabulové nůžky, 7 až 20° pro pákové nůžky), s [mm] je tloušťka plechu, τ_s [MPa] je napětí ve smyku ($0,8 \cdot R_m$), $n = (1,1 - 1,3)$

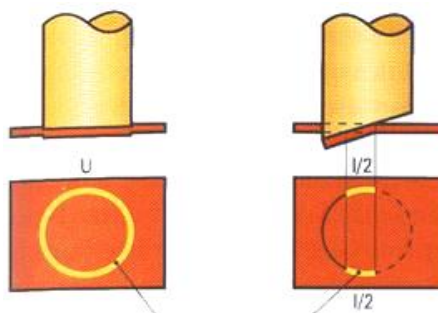
Práce:

$$A = F_S \cdot k \cdot z \quad (4)$$

Kde F_S [N] je střížná síla pro šikmý nůž, k je koeficient zaplnění plochy pod křivkou a z [mm] je zdvih. [5]

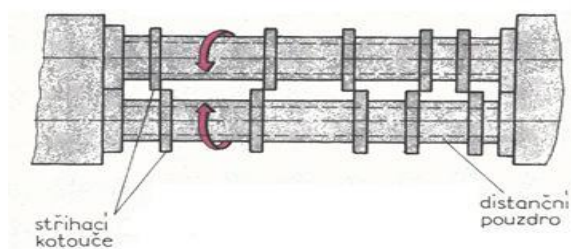
2.1.3 Rozdělení stříhání dle konstrukce nožů

- **Stříhání rovnoběžnými noži** (klasické stříhání, mezi střížníkem a střížnicí je střížná vůle, která se odvíjí od tloušťky plechu)
- **Stříhání šikmými noži** (oproti stříhání rovnoběžnými noži zde dochází k postupnému stříhu, z toho důvodu je zapotřebí menší celkové střížné síly)



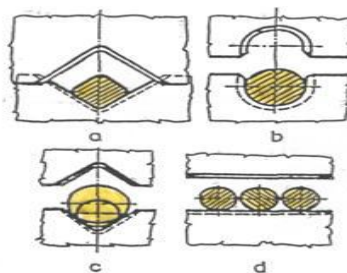
Obr. 10. Porovnání délek stříhu [3]

- **Stříhání kotoučovými noži** (uplatnění nachází při podélném stříhu dlouhých pásů, jako nástroj slouží odvalující se kruhové nože, dochází k prodloužení střížného času, ale i ke snížení rázů)



Obr. 11. Kotoučové nůžky [3]

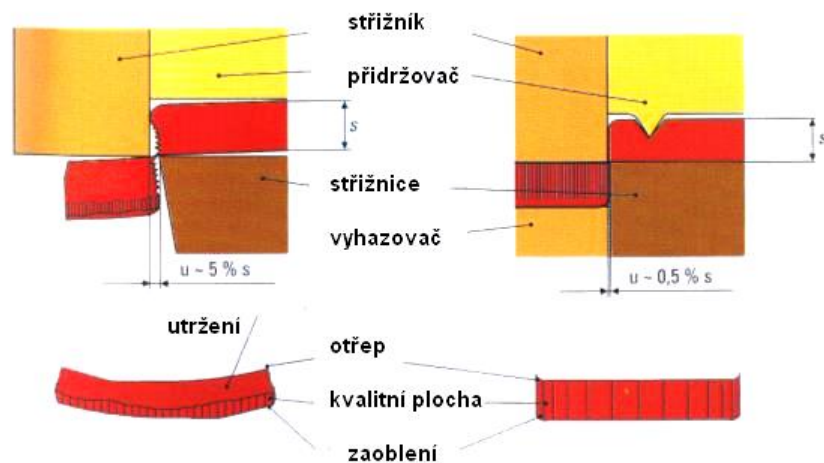
- **Stříhání noži na profily, tyče a trubky** (vhodné ke stříhu materiálu o různém tvaru, tvar nože přizpůsobujeme tvaru stříhaného profilu a přitom dodržujeme zásadu, aby v každém okamžiku byla přestříhovaná tloušťka téměř stále stejná) [5], [6]



Obr. 12. Profilové nože [3]

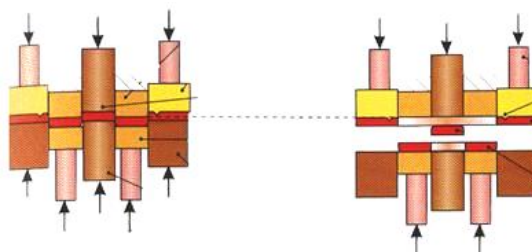
2.1.4 Metody přesného stříhání

- **Stříhání bez vůle** (při tomto stříhání je buďto střižník, nebo střižnice vypracován se zaoblením střižné strany, pokud je zaoblena střižnice, pak je kvalitní díra, pokud je zaoblén střižník, pak je kvalitní výstřížek)
- **Stříhání s přidržovačem** (přidržovač zlepšuje povrch střižné plochy a zabraňuje ohýbání okrajů)
- **Stříhání s nátláčnou hranou** (touto metodou se dosahuje nejlepšího povrchu, nátláčná hrana změní napjatost ve střižné ploše na trojosou a navíc vytvoří tlakovou složku, díky které se blížíme čistému smyku, pro tlustší materiály lze použít i dvě hrany).



Obr. 13. Kvalita stříhů [5]

- **Reversní stříhání** (dojde k takovému sevření materiálu, že se neprojeví tahové složky napjatosti)



Obr. 14. Reversní stříhání [5]

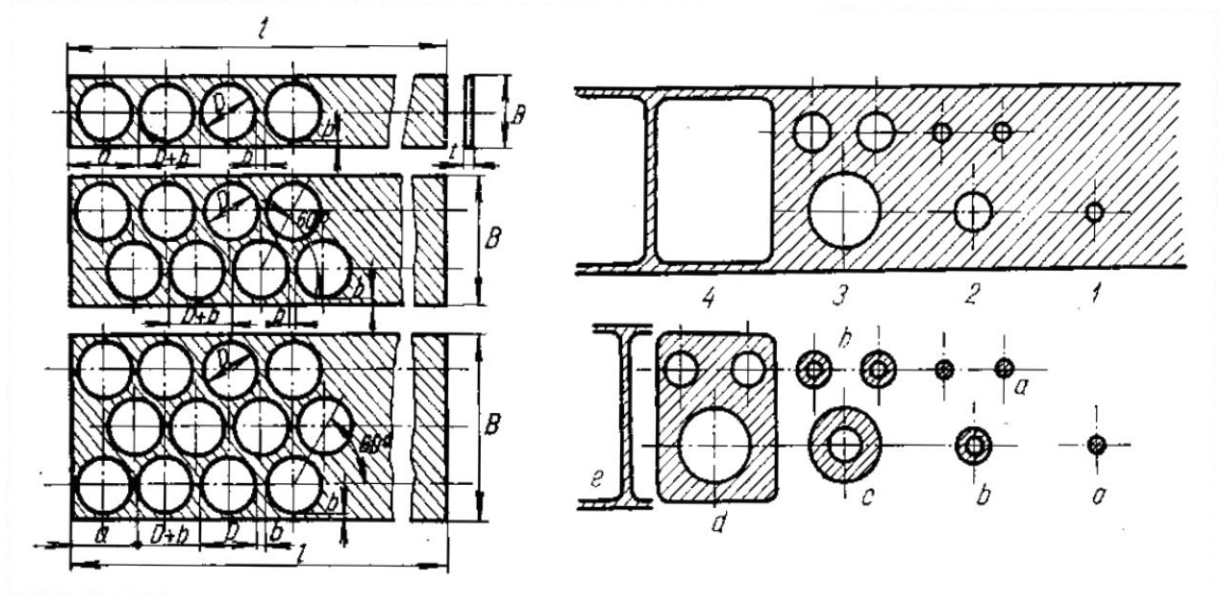
- **Stříhání se zápornou vůlí** (střižník je větší než samotná střižnice a musí zůstat při stříhu 0.2 až 0,5 mm nad jejím povrchem, čímž vyvolá tlakové napětí a dojde ke stříhu. [5], [6])

2.1.5 Nástřihové plány

Jelikož materiál tvoří 60 – 70 % celkových nákladů, je velice důležité docílení co nejmenšího odpadu, nebo najít vhodnou aplikaci pro využití odpadu. Nástřihový plán znamená co nejekonomičtější rozmístění výstřižků na pásu plechu. Jak je zvolený nástřihový plán hospodárný určuje součinitel využití materiálu h . [1], [5]

$$h = \frac{S_0}{S_p} \quad (5)$$

Kde S_0 [mm^2] je celková plocha výstřižku a S_p [mm^2] je plocha pásu plechu.

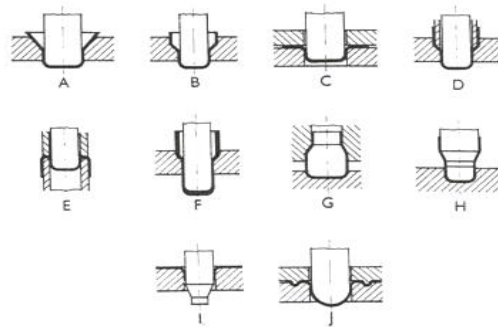


Obr. 15. Nástřihový plán [1]

2.2 Tažení

Jde o technologický postup, při kterém dojde k zhotovení dutého (polozavřeného) tělesa. Nástroj se nazývá tažidlo, to je složeno z tažníku a tažnice. Výsledný výrobek se nazývá výtáček. Úkon se provádí jedním, nebo několika tahy. Výchozím polotovarem je rovný

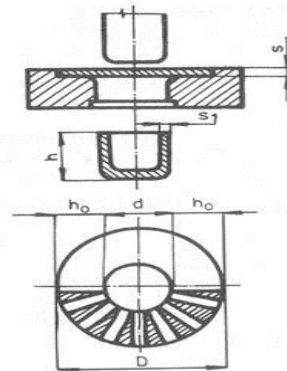
plech (přístřih). Dle tvaru výlisku dělíme tažení na: mělké a hluboké, rotační a nerotační, se ztenčením a bez ztenčení stěny a na tažení nepravidelných tvarů (karosářské). Tažení se provádí různými způsoby (Obr. 17). A,B – tažení bez přídržovače, C,D - tažení s přídržovačem, E – zpětné tažení, F – tažení se ztenčením stěny, G – zužování, H - rozšiřování, I – lemování, J – napínání. [1], [5]



Obr. 16. Technologické způsoby tažení [5]

2.2.1 Proces tažení

Tlačením tažníku do tažnice dojde k posouvání plechu přes tažnou hranu. Pokud si to vysvětlíme na válcové nádobě, pak dochází k proměně mezikruží ($D-d$) na stěnu válce. Výška válce (h) bude však větší než šířka mezikruží, v důsledku platnosti stálosti objemu.

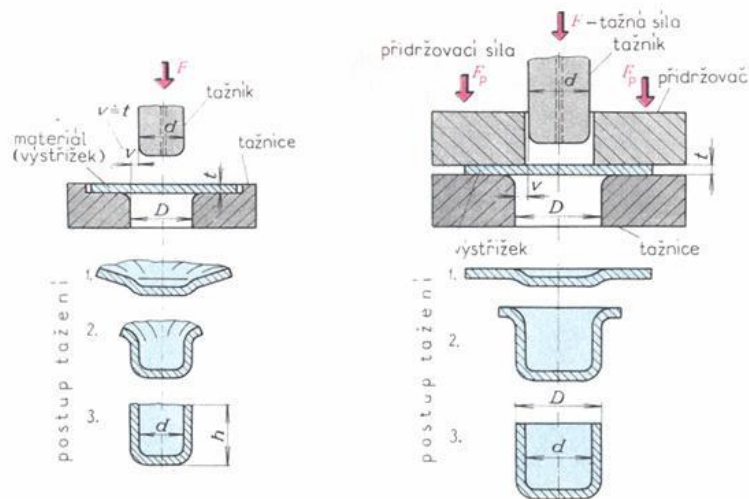


Obr. 17. Tažení válcového tvaru [5]

2.2.2 Vznik vln

Jelikož dochází k přesunutí objemu materiálu, který je na obrázku znázorněn vyšrafovanými trojúhelníky, má tento přebývající materiál snahu vytvářet vlny. K této deformaci dochází v místě příruby, především při vysokém stupni deformace. Abychom vlnění zabránili, použijeme přídržovač. Musíme však pamatovat na to, že dojde k pěchování materi-

álu pod přidržovačem, k růstu tloušťky stěny. Dále bude nutné znát velikost měrného tlaku přidržovače, který závisí na tloušťce plechu, poměru výchozí tloušťka plechu, ku průměru nádoby, jakosti plechu a součiniteli tažení. Výslednou sílu na přidržovač zjistíme součinem měrného tlaku a činné plochy přidržovače. [5]



Obr. 18. Tažení bez a s přidržovačem [3]

2.2.3 Výpočet síly a práce

Pro komplikovanost výpočtu se využívá zjednodušených vztahu. Ty vycházejí z předpokladu, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti.

Velikost tažné síly bez přidržovače:

$$F = S \cdot R_m \quad (6)$$

Kde S [mm^2] je plocha materiálu namáhaného na tah, R_m [MPa] je mez pevnosti materiálu.

Velikost tažné síly s přidržovačem:

$$F_C = F_t + F_p = L \cdot s \cdot R_m + S_p \cdot p \quad (7)$$

Kde L [mm] je délka obvodu polovýrobku, R_m [MPa] je mez pevnosti materiálu, s [mm] je tloušťka plechu, S_p [mm^2] je plocha přidržovače, p [MPa] je specifický tlak přidržovače (od 0,8 do 3 MPa).

Práce:

$$A = C \cdot F \cdot h \quad (8)$$

Kde F [N] je výsledná síla, h [mm] je výška výtažku a C je koeficient zaplnění plochy. [5]

2.2.4 Mazání

Mazáním dochází ke zmenšení tření mezi materiálem a nástrojem, čímž také dojde ke zmenšení tažné síly. Dojde k výraznému zlepšení povrchu. Mazání se provádí na straně tažnice a hlavně mezi materiálem a přidržovačem. Pro hrubé výtažky se používá odpadového strojního oleje a pro jemné výtažky se používají živočišné tuky, rostlinné a minerální oleje. Aby bylo mazání rovnoměrné, přidáváme k mazacím kapalinám plniva, která zvyšují viskozitu. Plnivem bývá např. karbidové vápno, vločková tuha, parafín apod. Mazání tuky a vločkovou tuhou se nedoporučuje, pokud hodláme výtažek posléze povrchově upravovat. [1]

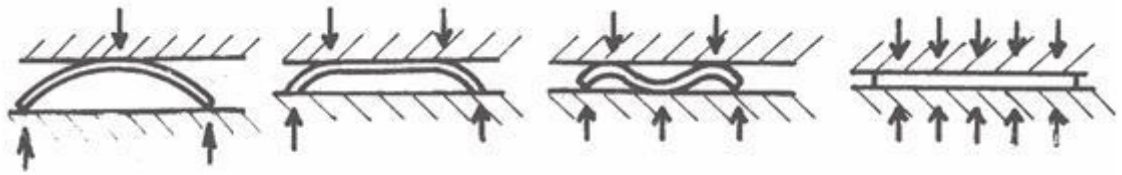
2.2.5 Ostatní technologické metody tažení

- Tažení pomocí pryže (metoda Guerin a Marform)
- Tažení se zahříváním tažnicí
- Tažení kapalinou (metoda Wheelon a Hydroform)
- Hydromechanické tažení
- Zpětné, obrácené tažení

[5]

2.3 Rovnání

Při manipulaci, nebo již při samotné výrobě může dojít k nechtěným deformacím výrobku. Technologie rovnání využíváme k odstranění této deformace. Pro rovnání platí stejná pravidla, jako pro ohýbání, v podstatě se jedná o obrácený ohyb. Stejně jako u ohybu i zde dochází po uvolnění rovnicích sil k odpružení, čímž dojde k zachování zbytkového zakřivení. Při využití rovinných čelistí využijeme k odstranění zbytkového zakřivení dotlačecí sílu, kdy i po úplném dosednutí čelistí sílu navyšujeme. Na (Obr. 20) je zobrazen průběh rovnání v rovinných čelistech.

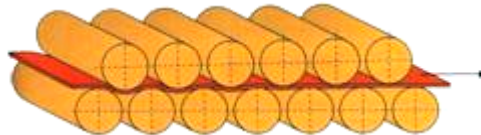


Obr. 19. Rovnání tlakem mezi rovnými deskami [5]

Rovnění lze rozdělit na ruční a strojové.

Ruční rovnání se provádí údery kladiva buďto samostatně rovnou na materiál, nebo s použitím sedlíku. U tlustých plechů se ruční rovnání provádí pomocí autogenního hořáku. Důležité je však dbát na pravidlo zahřívání materiálu pouze v úzkých pruzích.

Strojního rovnání se využívá u větších sérií. Nejvyžívanější metodou je protahovaná mezi dvěma řadami válečků uspořádanými nad sebou, kdy dochází k opakovanému prohýbání materiálu. Rozstup válců je 1,1 až 1,35 průměru rovnacího válce.



Obr. 20. Válcová sestava [5]

Dále lze strojově rovnání provádět s použitím lisů. Ty využíváme, pokud je materiál velmi tenký, tedy i měkký, nebo naopak u tvrdých materiálů. Pro tenké zvolíme hladké (rovné) čelisti. Pro tvrdé materiály volíme bodové (ostré), nebo tupé (bradavkové) čelisti.



Obr. 21. Rovnění bodové a bradavkové [5]

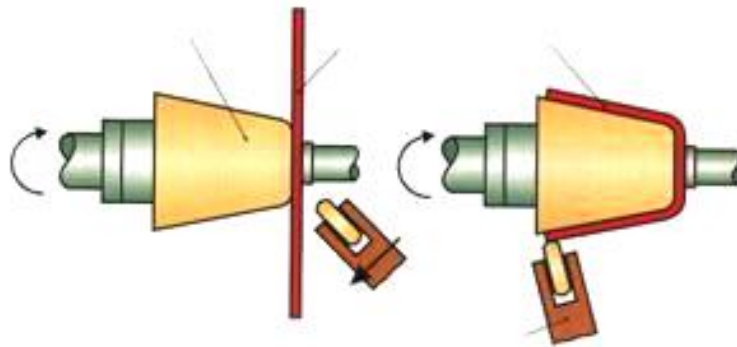
Rovná síla je závislá na druhu a tloušťce materiálu a na druhu rovnacích čelistí. K jejímu vypočítání slouží vztah

$$F = S \cdot p \quad (9)$$

kde $S [mm^2]$ je plocha součásti a $p [MPa]$ je měrný specifický tlak. [1], [5]

2.4 Kovotlačení

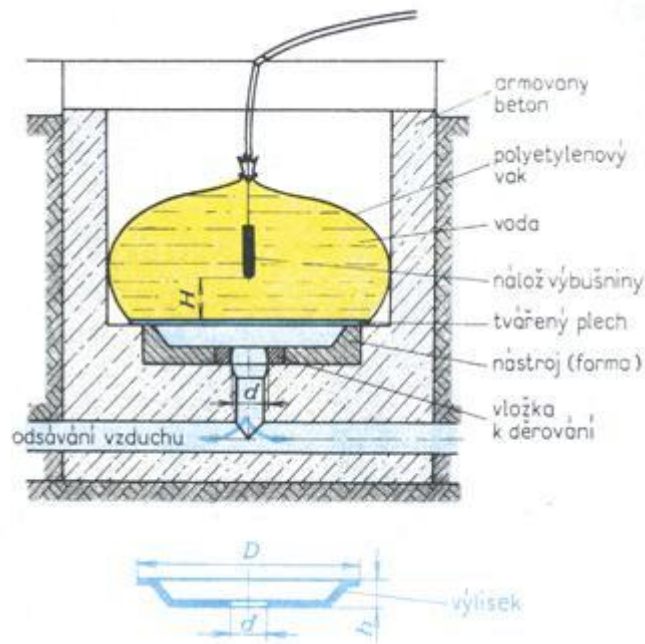
Kovotlačení, nebo také kroužení je způsob výroby rotačních nádob. Využívá se v případech, kdy se metoda tažení jeví jako nevhodná. Při kroužení se využívá rotačního modelu a přítlačného nástroje. Nástřih je umístěn mezi modelem a nástrojem a je postupně přetvářen do tvaru modelu. Přítlačné nástroje mají třecí, nebo valivá zakončení. [5]



Obr. 22. Metoda kroužení [5]

2.5 Zvláštní metody plošného tváření

- **Tváření výbuchem:** Podstata spočívá v nahrazení síly lisí tlakovou vlnou výbuchu. Dělí se na přímé, kdy je výbušnina přímo na materiálu, nebo na nepřímé, kdy je k přenosu síly výbuchu použito různého prostředí např. vody.



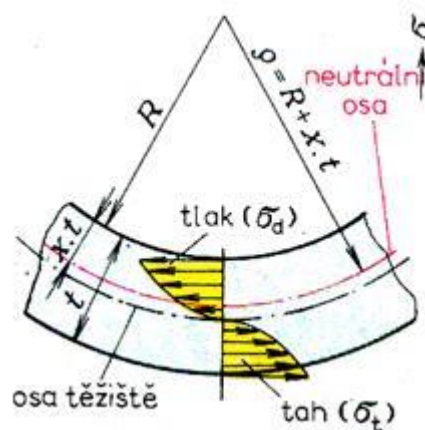
Obr. 23. Tváření výbuchem [5]

- **Tváření pryží:** Jedná se o tzv. metodu Guerin, kdy se k vytvoření přítlačného tlaku využívá pryže. Výhodou je to, že nezanechává na výrobku stopy.
- **Elektrohydraulické tváření:** Pomocí elektrického výboje v kapalině dojde ke vzniku rázové vlny, která přetvoří materiál.
- **Elektromagnetické tváření:** K tváření je využito odpudivých účinků dvou odlišných magnetických polí, díky čemuž dochází ke vzniku tlaku.
- **Frekvenční tváření:** Využívá kmitání o určité frekvenci, nejčastěji ultrazvuk.
- **Termální tváření:** Tváření při teplotách, kdy má materiál největší přírůstek přetvoření [5]

3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ

Technologický proces ohýbání používáme, pokud chceme materiál tvarovat pod různými úhly. Dochází k deformaci ohybem s větším, či menším zaoblením hran. Jako polotovar se používá plech, profil, drát, nebo třeba i trubka. Nástroji se říká ohýbadlo, která je složen z ohybníku a ohybnice.

Princip ohýbání spočívá v překročení meze kluzu a dosáhnutí plastické deformace. Ohýbáním dochází na vnější straně k natažení a na vnitřní straně ke stlačení. Přejedem mezi natažením a stlačením je oblast, kde na vlákna materiálu nepůsobí žádná napětí. Tomuto mezníku říkáme neutrální osa, ta se při ohybu neprodlužuje ani nezkracuje. Tato osa není při ohybu totožná s osou těžiště, ale posouvá se k vnitřní straně. Její znázornění a průběh napětí je ukázáno na (Obr. 25).



Obr. 24. Rozložení a velikost napětí v materiálu [5]

Neutrální osa slouží k určení rozvinuté délky, kterou bude mít polotovar před samotným ohýbáním. Důležité je to především u tlustých plechů, kde je rozdíl mezi neutrální osou a osou těžiště patrnější, nežli u tenkých plechů. Pro určení poloměru neutrální osy r se zavádí vzdálenost x , která v závislosti na poměru R/t určuje polohu osy. Hodnoty x jsou znázorněny v tabulce.

Tab. 3. Hodnoty součinitele x [1]

R/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

Výsledný vztah pro výpočet poloměru je

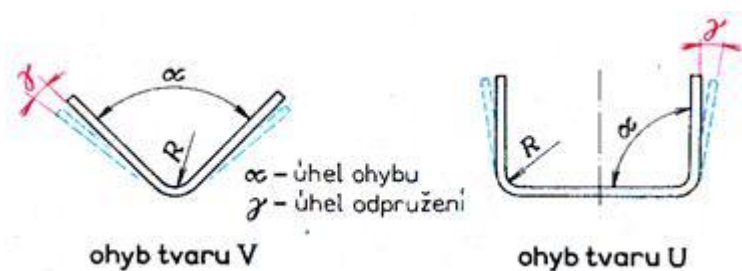
$$r = R + x \cdot t \quad (10)$$

kde R [mm] je vnitřní poloměr ohybu, x je součinitel posunutí neutrální osy a t [mm] je tloušťka materiálu.

Celkovou délku rozvinu L [mm] dostaneme jako součet dílčích délek l_n [mm]. [1], [5]

3.1 Odpružení

Důležitou věcí u ohýbání je tzv. zpětné odpružení. Jedná se o částečný posun materiálu směrem k výchozímu tvaru. Toto je zapříčiněno působením pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Odpružení, tedy odchylku od požadovaného úhlu značíme jako úhel γ .



Obr. 25. Odpružení materiálu při ohybu [3]

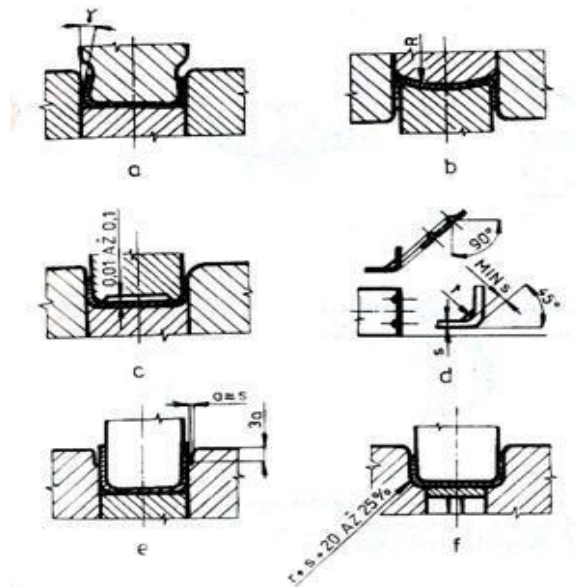
Velikost této odchylky závisí na materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Pro vybrané materiály můžeme sledovat hodnoty úhlu odpružení v tabulce (Tab. 4).

Tab. 4. Hodnoty úhlu odpružení pro různé materiály [5]

Materiál	R/t		
	0,8 až 2	>2	
Ocel σ_{pt}	< 320 Mpa	1°	3°
	300 až 400 Mpa	3°	5°
	< 400 Mpa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°	
Mosaz tvrdá	3°	5°	
Hliník	1°	3°	

Metody, kterými lze odpružení předejít jsou:

- Korekcí nástroje (nástroj se vyrobí tak, aby výsledný úhel byl zvětšen o úhel γ).
- Kalibrací (na konci lisovacího cyklu zvětšíme lisovací sílu, čímž dojde v ohybu k místní plastické deformaci a odpružení se sníží, nebo se úplně ztratí).
- Pomocí prolisů na výlisku
- Konstrukčními úpravami ohýbadel (Obr. 27) a) podbroušení o úhel γ , b) zaoblení čelisti a přidržovače, c) zpevnění rohů rázem, d) vylisováním opěrných žeber, e) postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu, f) zpevněním materiálu deformačním poloměrem. [1], [5]

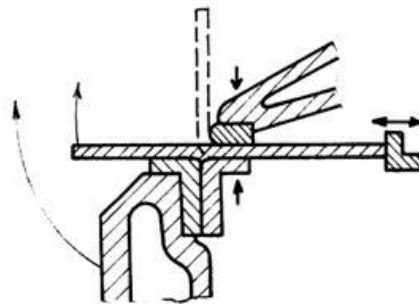


Obr. 26. Konstrukční úpravy čelistí ohýbadel proti odpružení materiálu [5]

3.2 Postupy ohýbání

3.2.1 Klasické ohýbání

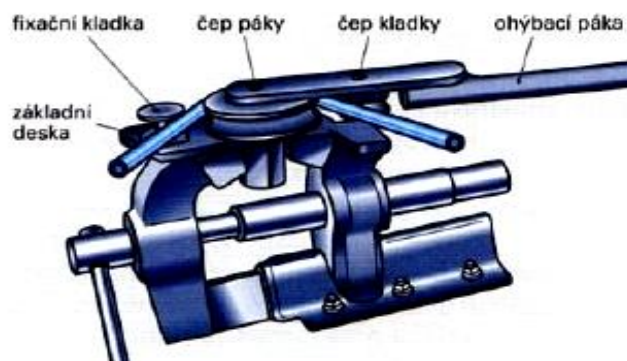
Jedná se o jednoduché ruční ohýbání, kdy je materiál upnut ke stolu ohýbačky pevnou čelistí a pohybem otočné čelisti dojde k samotnému ohybu. Díky zaoblení na pevné čelisti a pomocí nastavení vzdálenosti čel si určíme výsledný poloměr ohybu. Klasická ohýbačka je znázorněna na (Obr. 28). [3], [5]



Obr. 27. Ohýbací stroj s otočnou deskou [5]

3.2.2 Ohýbání trubek

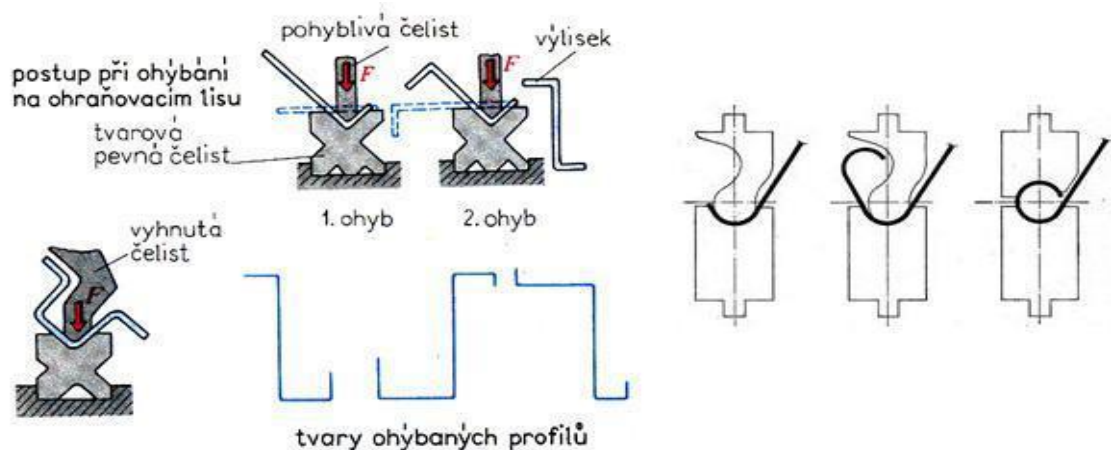
Této metody se využívá například u rozvodů tlakových kapalin v hydraulických systémech, kdy je zapotřebí rozvodnou trubku různě zprohýbat. Úkon se provádí na speciální ohýbačce s profilovými kladkami. Profil kladek je totožný s průměrem ohýbané trubky. Vnitřní průměr opěrné kladky odpovídá požadovanému oblouku trubky. [3], [5]



Obr. 28. Ohýbačka trubek [4]

3.2.3 Ohraňování

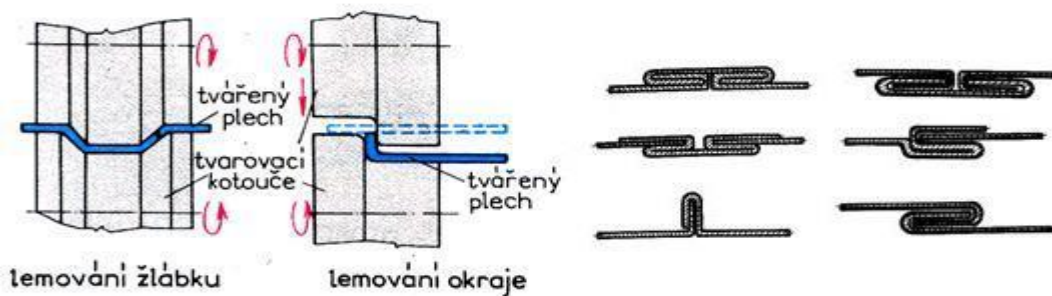
Při ohraňování dochází k vtlačení plechu profilovanou lištou do profilového nástroje. Ohraňovat je možno profily tenkostěnné, ale i o tloušťce 20 mm. Dále je možno ohraňováním získat profil o malém poloměru zaoblení. Pokud je výsledný tvar složen z více ohybů, pak se každá tvářecí operace provádí na jeden zdvih lisu a každý tvar profilu má své specifické nástroje, které se musí na lis upevnit samostatně. Výchozím polotovarem jsou pásy plechu, jejichž délka je omezena šířkou ohraňovacího lisu. [3], [5]



Obr. 29. Příklady technologie ohraňování [3]

3.2.4 Lemování

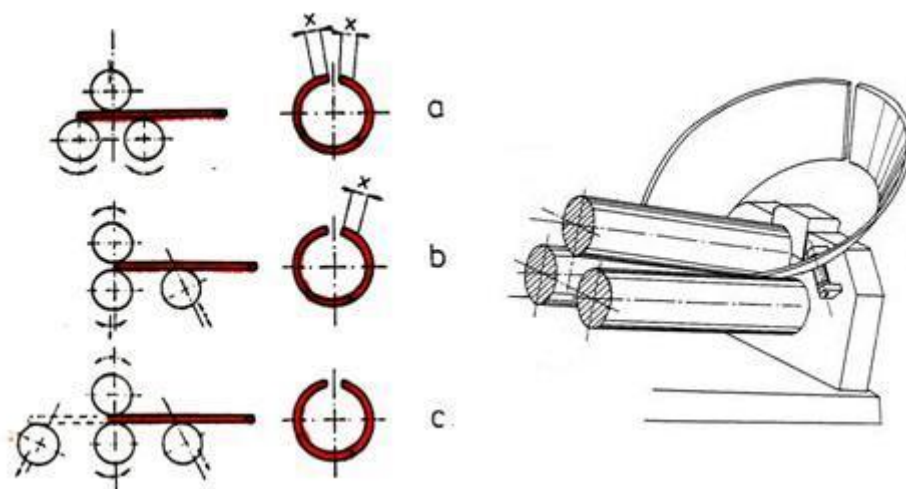
Lemování se uplatňuje při vyztužování okrajů, odstranění ostrých hran, zlepšení pohledových vlastností a při přípravě polotovaru pro následující spojení. Potřebu lemovat, mají především výrobky z tenkých materiálů. Pokud budeme lemovat nádobu, pak zvolíme vnější lem. Pro usnadnění vytvoření vnějšího lemu se při tažení nádoby nechává nedotažený okraj. Ten tvoří asi $\frac{1}{4}$ lemu. [3], [5]



Obr. 30. Technologie a příklady lemování [3]

3.2.5 Zakružování

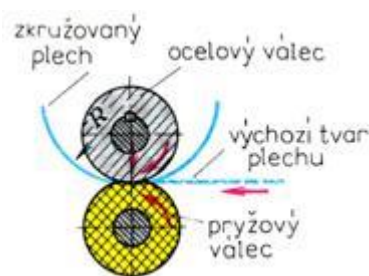
Zakružování se využívá při výrobě válcových, nebo kuželových plášťů a při výrobě trubek. Při zakružování je možné tvarovat i tlustší plechy, ty se však musí tvářet za tepla. Zakružovací stroje jsou uspořádány jako tříválcové, nebo jako víceválcové. O tom, jak budou válce zkonstruovány, rozhoduje tloušťka plechu a požadavky na zakroužení konců, jelikož u různých sestav válců nedochází k zakroužení konců. Na (Obr. 32) pak nedokroužení pozorujeme jako parametr x .



Obr. 31. Uspořádání zakružovaček

(a – tříválcová symetrická, b – tříválcová nesymetrická,
c – čtyřválcová) a detail zakružování kužele [5]

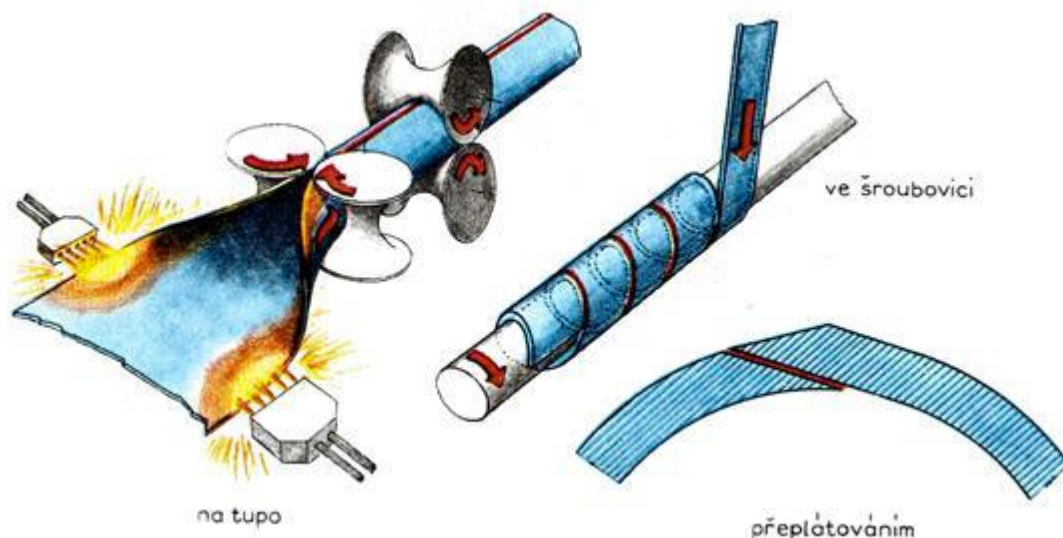
Pro zakroužení tenkostěnného materiálu zvolíme metodu ohýbání elastickým nástrojem, kdy na sebe vzájemně tlačí pryžový a ocelový válec a mezi nimi prochází zakružovaný plech. Jelikož je část přetvárné práce spotřebována deformací pryže, musíme používat větší výchozí sílu. Co se týče povrchu výlisku, tak dosahujeme výrazně lepší kvality.



Obr. 32. Zakružování

s pryžovým kotoučem [3]

Při výrobě trubek, tedy kruhového tvaru, využijeme metody válcování, profilování, nebo stáčení na lisech. Jedná se o postupné spojitě ohýbání pásů na profilových strojích. [3], [5]



Obr. 33. Výroba trubek profilováním, stáčením a přeplátováním [3]

3.3 Maximální a minimální poloměr ohybu

Při překročení kritické hodnoty poloměru ohybu dochází na vnější straně k praskání materiálu. Na vznik trhlin má vliv zpevnění materiálu, jeho úprava (žíhaný, tvářený za studena, apod.) a průběh vláken. Vlákná materiálu by měla být kolmá k ose ohybu. Abychom zabránili praskání materiálu, zjišťujeme nejmenší možný poloměr ohybu R_{min} .

$$R_{min} = c \cdot s \quad (11)$$

Kde s [mm] je tloušťka ohýbaného materiálu a c je koeficient dle (Tab. 5).

Tab. 5. Hodnoty koeficientu c pro různé materiály [8]

Materiál	c
měkká ocel	0,5 ÷ 0,6
měkká mosaz	0,3 ÷ 0,4
hliník	0,35
dural	3 ÷ 6
měkká měď	0,25

Aby ovšem vůbec došlo k plastické deformaci, tedy aby byla překročena mez kluzu, pak volíme maximální možný poloměr ohybu R_{max} .

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

Kde s [mm] je tloušťka ohýbaného materiálu, E [MPa] je modul pružnosti v tahu a Re [MPa] je mez kluzu. [7]

3.4 Výpočet síly a práce

3.4.1 Síla ohybu V a U

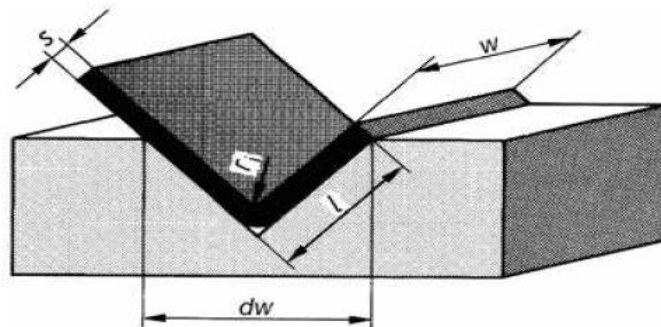
Pokud působí ohýbací síla na střed polotovaru, což je nejobvyklejší, pak k jejímu zjištění byl výpočet řešen jako u nosníku ležícím na dvou podporách. Výsledný vztah pak je

$$F_b = \frac{1,2 \cdot w \cdot s^2 \cdot Re}{dw} \quad (13)$$

Kde w [mm] je šířka ohýbané součásti, s [mm] je tloušťka ohýbaného materiálu, Re [MPa] je mez kluzu a dw [mm] je šířka lisovací formy.

$$r_i > R_{min} \dots\dots\dots dw = 5 \cdot r_i$$

$$r_i = R_{min} \dots\dots\dots dw = 7 \cdot r_i$$



Obr. 34. Parametry ohýbané součásti [8]

Pro ohyb tvaru U konáme současně dva ohyby tvaru V, proto výsledný vztah násobíme dvěma. [7]

3.4.2 Práce ohybu V a U

V:

$$A = F_b \cdot k_1 \cdot h \quad (14)$$

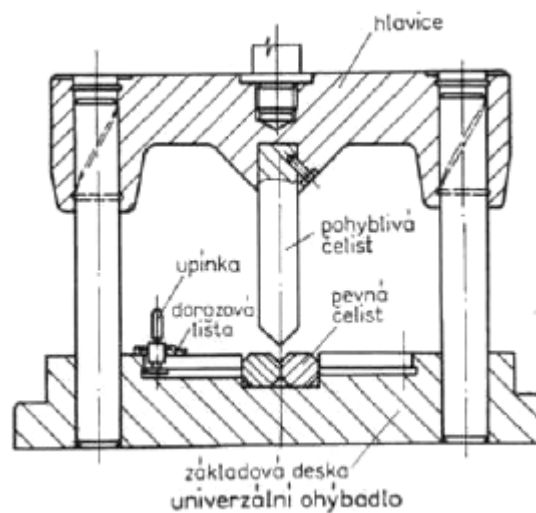
U:

$$A = F_b \cdot k_2 \cdot h \quad (15)$$

Kde F_b [N] je ohýbací síla, h [mm] je posunutí ohybového trnu, k je koeficient průběhu síly F ($k_1 = 1/3$) a ($k_2 = 2/3$).

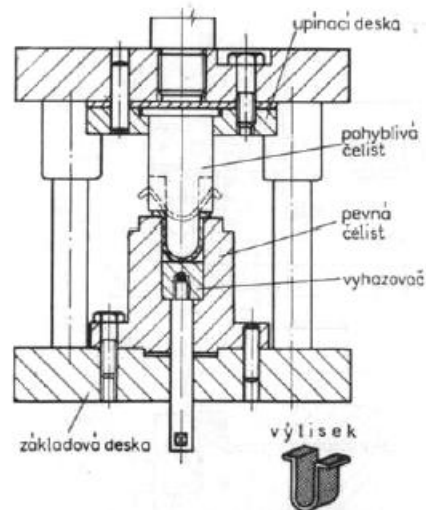
3.5 Ohýbací nástroje

Pohyblivá část ohýbacího nástroje je upevněna stopkou, nebo upínací deskou k beranu lisu. Pevná část je upevněna základovou deskou na stůl, nebo na stolní desku lisu. Pro menší série slouží tzv. univerzální ohýbadlo (Obr. 36) s jednoduše výměnnou pohyblivou čelistí. Pevné čelisti mají různě tvarované hrany, takže vhodným složením dostáváme několik kombinací úhlu ohnutí. Dorazová lišty jsou posuvné a v požadované poloze se upevní pomocí úpinek.



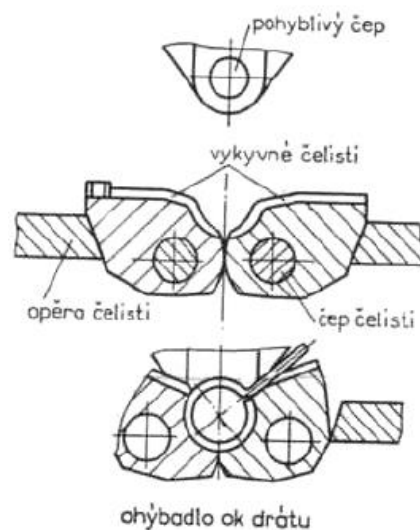
Obr. 35. Ohýbadlo pro malou sérii [6]

U ohýbadel pro středně velkou sérii vylisků (Obr. 37) je kladen větší nárok na jejich přesnost. Pohyblivá čelist je upevněna k upínací desce, pevná čelist k základové desce. K odstranění vylisku z pevné čelisti dochází pomocí vyhazovače.



Obr. 36. Ohýbadlo pro větší sérii [6]

Při ohýbání drátu s okem využijeme ohýbadlo s výkyvnými čelistmi (Obr. 38). Nejdříve dojde k ohnutí do tvaru U pomocí pohyblivého čepu a posléze k jeho otočení pomocí pohyblivých čelistí. [6]



Obr. 37. Ohýbadlo s pohyblivými čelistmi [6]

4 SHRNUÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

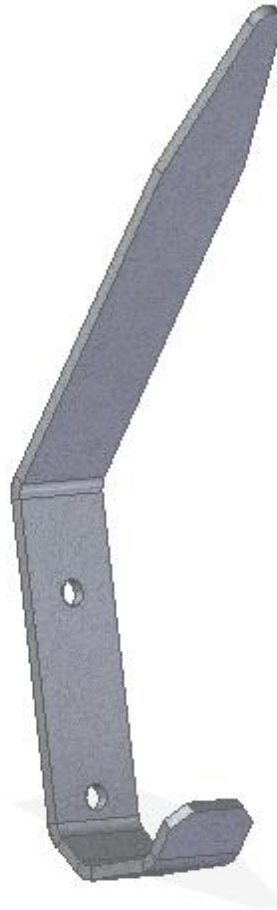
V teoretické části bakalářské práce jsem se zaměřil na metodu plošného tváření kovů. Byly popsány základní mechanismy a děje probíhající v materiálu a jeho struktuře, díky kterým dojde k jeho deformaci a přetvoření. Dále pak tato část obsahuje seznam a obecný popis technologických úkonů, jimiž lze plošně tvářet. Největší pozornost byla věnována střihání, tažení a v poslední řadě ohýbání, kterému je, z důvodu navázání na praktickou část, věnována jedna celá kapitola.

Cílem praktické části by mělo být zhotovení modelového příkladu, na kterém bude ukázán analytický propočet a využití CA metod pro jeho řešení. Dále bude práce obsahovat sadu řešených modelových příkladů zpracovaných formou videomanuálu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MODELOVÝ PŘÍKLAD

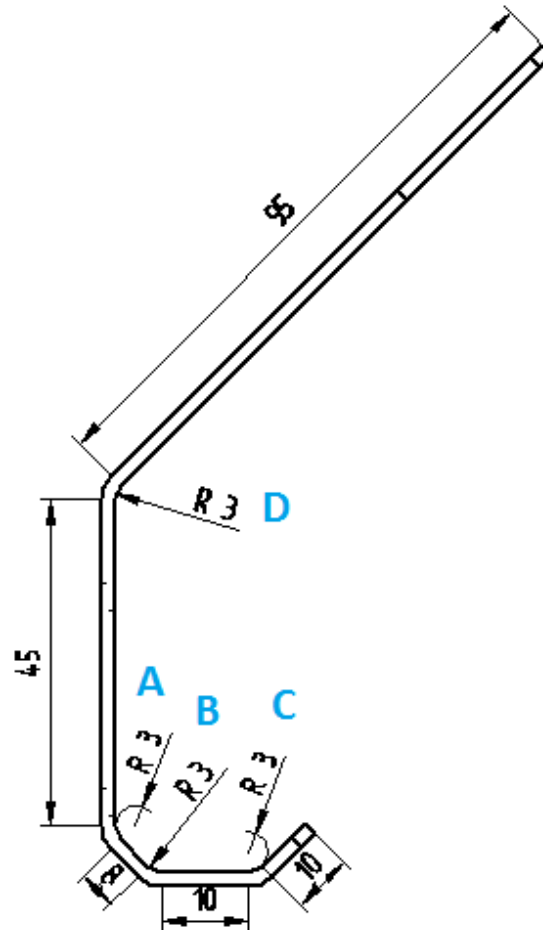
Jako modelový příklad slouží kovový věšák.



Obr. 38. Model

Počet požadovaných výrobků.....	10 000 ks
Materiál.....	11 320
Re.....	240 MPa
Rm.....	400 MPa
ρ	$7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Výchozí tabule.....	2000 x 1000 mm
E.....	$2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$
Tloušťka materiálu.....	2 mm

5.1 Analytický propočet ohybu



Obr. 39. Skica ohybku

Ohyby můžeme vytvářet například na ohýbacím lisu Trubend 7018, který je vhodnou volbou pro výrobky o menších rozměrech. Sled ohýbacích operací je zobrazen na (Obr. 39.) velkými písmeny abecedy, kde A je první operací a D poslední operací.

5.1.1 Výpočet rozvinuté délky

Pro budoucí výpočet výstřižku, budeme potřebovat znát rozvinutou délku ohýbané součásti. Tu zjistíme dle vzorce (16).

$$L_C = \sum_{i=1}^5 l_i + \sum_{j=1}^4 l_{0j} = 168 + 12 = 180 \text{ mm} \quad (16)$$

$$l_{0j} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 45}{180} \cdot (3 + 0,42 \cdot 2) = 3 \text{ mm} \quad (17)$$

Kde l_i [mm] je dílčí délka ohybu, l_0 [mm] je zkrácená délka oblouku, x [–] je posunutí neutrální plochy napětí (Tab. 3.) a s [mm] je tloušťka materiálu.

5.1.2 Výpočet maximálního a minimálního poloměru

Abychom se vyvarovali mezním hodnotám poloměrů, které doprovází deformace, vypočítáme dle vzorce (11) a (12) z teoretické části jejich minimální a maximální hodnotu.

$$R_{min} = c \cdot s = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ mm} \quad (18)$$

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{210000}{240} - 1 \right) = 874 \text{ mm} \quad (19)$$

Kde s [mm] je tloušťka materiálu, c je koeficient (0,5 – 0,6), E [MPa] je modul pružnosti v tahu, Re [MPa] je mez kluzu.

5.1.3 Výpočet odpružení ohybu tvaru V

Dle vzorce (20) zjistíme hodnoty potřebné velikosti přetažení ohybu, díky kterému získá ohyb po uvolnění požadovaný rozměr.

$$\tan \beta_1 = 0,375 \cdot \frac{l_1}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{95}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{240}{210000} \Rightarrow \beta_1 = 2^\circ \quad (20)$$

$$\tan \beta_2 = 0,375 \cdot \frac{l_3}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{8}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{240}{210000} \Rightarrow \beta_1 = 0,17^\circ$$

$$\tan \beta_{3,4} = 0,375 \cdot \frac{l_4}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{10}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{240}{210000} \Rightarrow \beta_1 = 0,21^\circ$$

Kde l [mm] je vzdálenost ohýbacích hran, k je součinitel ($k = 1-x$), E [MPa] je modul pružnosti v tahu, Re [MPa] je mez kluzu, s [mm] je tloušťka materiálu.

5.1.4 Šířka lisovací formy

Potřebnou šířku lisovací formy, znázorněnou na (Obr. 34) vy počteme dle vzorce (21).

$$d_w = 5 \cdot r_i = 5 \cdot 3 = 15 \text{ mm} \quad (21)$$

Kde r_i [mm] je poloměr ohybu.

5.1.5 Výpočet ohýbací síly ohybu tvaru V

Sílu potřebnou k dosažení požadovaného ohybu vypočteme dle vzorce (13) z teoretické části. Dosazením získáme výsledek.

$$F_b = \frac{1,2 \cdot w \cdot s^2 \cdot Re}{dw} = \frac{1,2 \cdot 15 \cdot 2^2 \cdot 240}{15} = 1152 \text{ N} \quad (22)$$

Kde w [mm] je šířka materiálu, dw [mm] je šířka lisovací formy, Re [MPa] je mez kluzu, s [mm] je tloušťka materiálu.

5.1.6 Výpočet ohýbací práce ohybu tvaru V

Vynaloženou práci pro získání ohybu zjistíme dle vzorce (14) z teoretické části.

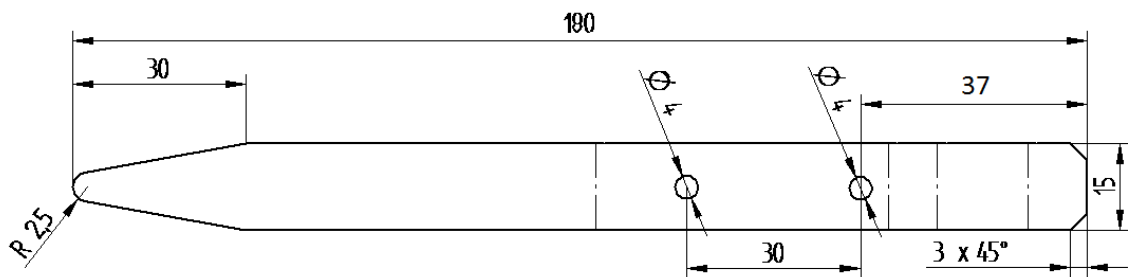
$$W = x_b \cdot F_b \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 1152 \cdot 0,018 = 6,95 \text{ Nm} \quad (23)$$

$$h = \frac{\frac{dw}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{15}{2}}{\operatorname{tg} \frac{45}{2}} = 18 \text{ mm} = 0,018 \text{ m} \quad (24)$$

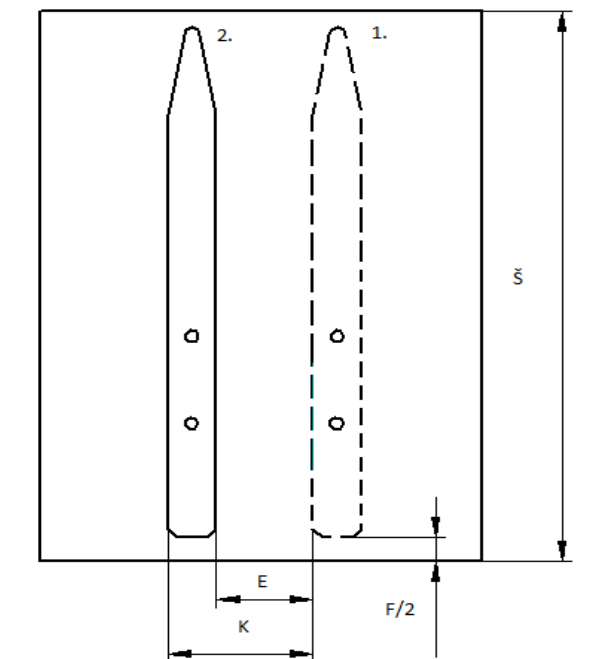
Kde x_b [–] je 1/3, dw [mm] je šířka lisovací formy, F_b [N] je ohybová síla, h [m] je posunutí ohybového trnu.

5.2 Analytický propočet stříhu

Při výrobě většího počtu kusů výrobků se již vyplatí výroba na střížném lisu. K vystřížení věšáku použijeme technologii postupového stříhu, kdy v prvním kroku dojde k vytvoření děr a v druhém kroku dojde k vystřížení rozvinutého tvaru věšáku. Při návrhu nástřihového plánu vycházíme z největší délky výrobku a tloušťky materiálu. Pomocí grafu (PIV) určíme potřebnou hodnotu můstku, tedy mezeru mezi jednotlivými výstřížky a hodnotu potřebných okrajů. Schéma nástřihového plánu je zobrazeno na (Obr. 41).



Obr. 40. Skica výstřížku



Obr. 41. Nástřihový plán

5.2.1 Výpočet součinitele využití materiálu

Velký vliv na hospodárnost výroby má správné rozložení výstřížku na ploše výchozího pásu. Dle vzorce (5) z teoretické části zjistíme hodnotu využitého materiálu. Hospodárné využití materiálu je od 70% a výše.

$$k_m = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{2513,3}{3895} \cdot 100 = 64,52\% \quad (25)$$

$$S_p = K \cdot \check{S} = 20,5 \cdot 190 = 3895 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

Kde S_v [mm^2] je plocha výstřížku, S_p [mm^2] je plocha pásu.

Jelikož je využití materiálu 64,5%, považujeme výslednou hodnotu za méně hospodárnou.

5.2.2 Výpočet střížné síly

Sílu potřebnou k vystřížení vypočteme dle vzorce (1) z teoretické části.

$$F_s = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 401,7 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 400 = 334,2 \text{ kN} \quad (27)$$

Kde n [–] je koeficient zahrnující opotřebenění nástroje (1,2 – 1,55), l [mm] je délka stříhu, R_m [MPa] je mez pevnosti, s [mm] je tloušťka materiálu.

5.2.3 Výpočet střížné vůle

K dosažení přesného stříhu je zapotřebí zjistit hodnotu střížné vůle.

$$v = (4\% \div 10\%) \cdot s = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ mm} \quad (28)$$

Kde s [mm] je tloušťka materiálu.

5.2.4 Výpočet šířky pásu plechu

Šířka pásu plechu je součtem maximální délky rozvinu a potřebné velikosti okraje. Hodnotu okraje získáme z grafu umístěného v příloze (PIV).

$$\check{S}_p = A + F = 180 + 10 = 190 \text{ mm} \quad (29)$$

Kde A [mm] je celková délka rozvinu, F [mm] je potřebný okraj.

5.2.5 Výpočet počtu pásů z tabule

Zjistíme maximální možný počet pásů o šířce 190 mm, které se vlezou do šířky výchozí tabule o hodnotě 2000 mm. Hodnota šířky tabule je dle normy od dodavatele.

$$P_p = \frac{\check{S}_T}{\check{S}_p} = \frac{2000}{190} \doteq 10 \text{ pásů} \quad (30)$$

Kde \check{S}_T [mm] je šířka tabule, \check{S}_p [mm] je šířka plechu.

5.2.6 Výpočet počtu výstřížků z jednoho pásu

Počet výstřížku získáme podělení výšky výchozího pásu bez hodnoty můstku krokem jednoho úkonu stříhu. Hodnotu můstku získáme z grafu umístěného v příloze (PIV).

$$P_V = \frac{(L_T - E)}{K} = \frac{1000 - 5,5}{20,5} = 48 \text{ kusů} \quad (31)$$

Kde L_T [mm] je délka plechu, E [mm] je můstek, K [mm] je krok.

5.2.7 Výpočet počtu výstřížků z jedné tabule

K zjištění potřebného počtu tabulí, které budeme objednávat, musíme nejdříve zjistit počet výstřížků z jedné tabule.

$$P_T = P_P \cdot P_V = 10 \cdot 48 = 480 \text{ kusů} \quad (32)$$

Kde P_P [ks] je počet pásů z tabule, P_V [ks] je počet výstřížků z pásu.

5.2.8 Výpočet potřebného počtu tabulí

Dle zadaného počtu požadovaných výrobků stanovíme výsledný počet tabulí.

$$T_{10000} = \frac{\text{požadovaných kusů}}{P_T} = \frac{10000}{480} = 20,8 \doteq 21 \text{ tabulí} \quad (33)$$

Kde P_T [ks] je počet výstřížků z tabule.

5.2.9 Výpočet procentuálního využití tabule

Toto využití tabule zahrnuje čistou plochu výstřížku, tedy mezi zbytkový (nevyužitý) materiál se počítá i plocha děr.

$$T_T = \frac{S_V' \cdot P_T}{S_T} \cdot 100 = \frac{2488,16 \cdot 480}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 59,7\% \quad (34)$$

Kde S_V' [mm^2] je plocha výstřížku bez děr, P_T [ks] je počet výstřížků z tabule, S_T [mm^2] je plocha tabule.

5.2.10 Výpočet hmotnosti výstřížků

Například pro určení budoucí manipulace s výstřížky, si určíme jejich celkovou hmotnost.

$$m_V = S_V' \cdot s \cdot \rho \cdot 10000 = 0,002488,17 \cdot 0,002 \cdot 7850 \cdot 10000 = 390,6 \text{ kg} \quad (35)$$

Kde S_V' [m^2] je plocha výstřížku bez děr, s [m] je tloušťka materiálu,

ρ [$kg \cdot m^{-3}$] je hustota materiálu.

5.2.11 Výpočet hmotnosti tabulí

Ze stejného důvodu jako u hmotnosti výstřížků, si určíme hmotnost všech tabulí.

$$m_T = 21 \cdot S_T \cdot s \cdot \rho = 21 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,002 \cdot 7850 = 659,4 \text{ kg} \quad (36)$$

Kde S_T [m^2] je plocha tabule, s [m] je tloušťka materiálu,

ρ [$kg \cdot m^{-3}$] je hustota materiálu.

5.2.12 Výpočet hmotnosti odpadu

Hmotnost odpadu získáme odečtením celkové hmotnosti výstřížků od celkové hmotnosti tabulí.

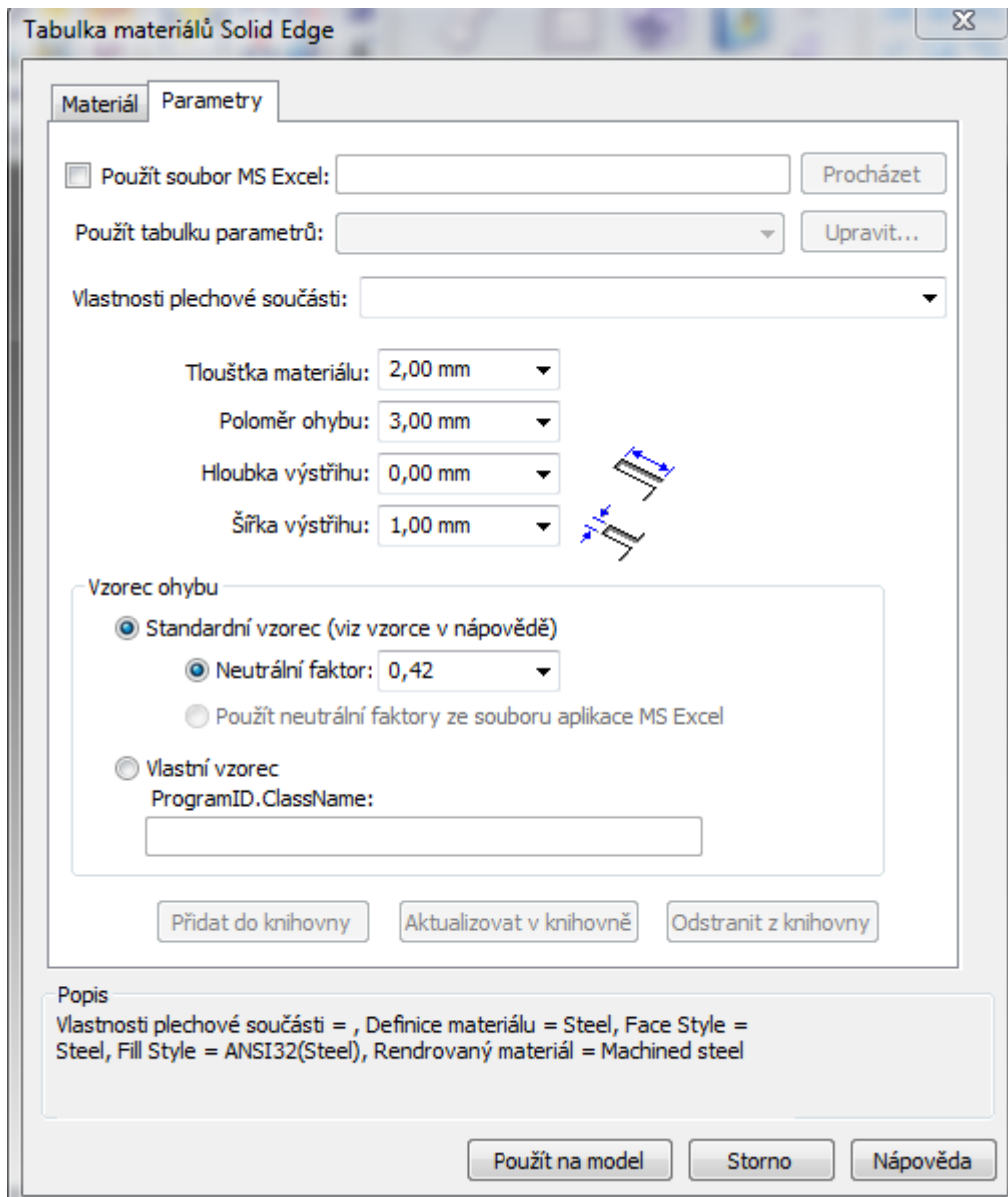
$$m_o = m_T - m_V = 659,4 - 390,6 = 268,7 \text{ kg} \quad (37)$$

Kde m_T [kg] je hmotnost tabulí, m_V [kg] je hmotnost výstřížků.

5.3 Využití programu Solid Edge a dalších CA metod

V modulu Sheet metal, se díky přednastaveným vzorcům vyhneme analytickým výpočtům a tím ušetříme velké množství času. Jediné co musíme udělat, je nadefinování vlastností používaného materiálu. Během modelování byl použit klasický skicář, ve kterém byl vytvořen náčrt výrobku. K vytvoření prostorového tělesa byla použita funkce profilový ohyb. Následovaly úpravy tělesa pomocí funkcí vyříznutí, přerušení rohu a funkce díra. V poslední řadě bylo využito funkce rozvin z karty nástroje.

Aplikace – Vlastnosti – Tabulka materiálů

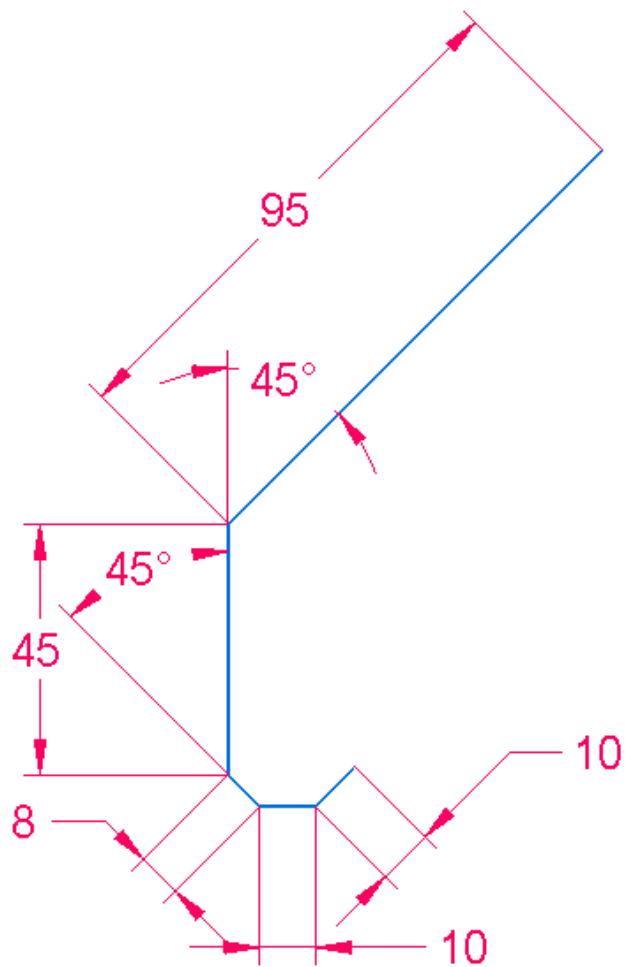


Obr. 42. Vlastnosti materiálu

Poté stačí pouze vytvořit požadovaný model výrobku.

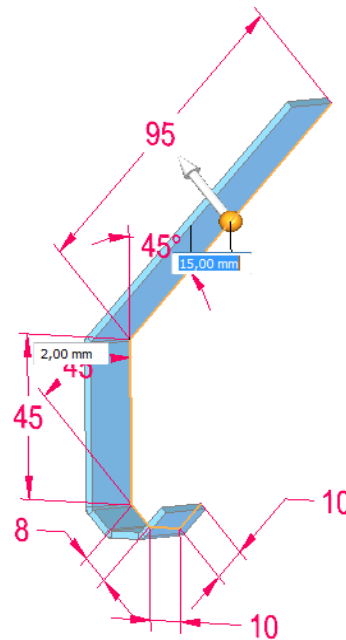
Na modelovém příkladu jsou použity pouze některé nástroje modulu Sheet metal. Ostatní nástroje, jejich použití a nastavení jsou uvedeny ve výukovém videu, které je k práci přiloženo.

Vytvoříme náčrt dle obrázku. Povšimněme si toho, že nejsou zadány rádiusy ohybů. Modul Sheet metal si je na základě předem definovaných vlastností materiálu vytvoří sám.



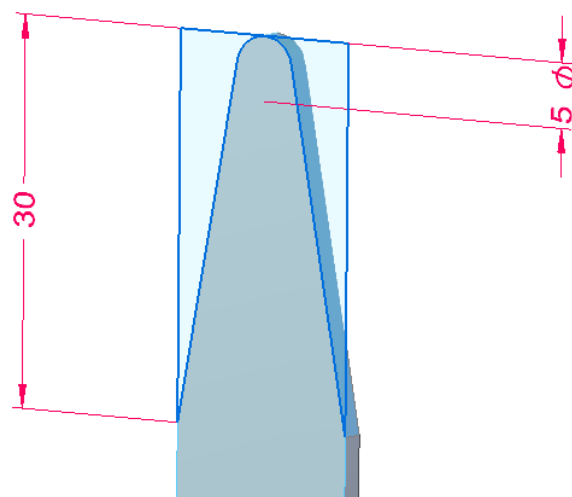
Obr. 43. Skica

Pomocí funkce profilový ohyb, vytvoříme objemové těleso. Zvolíme nástroj profilový ohyb. Vybereme předem načrtnutou skicu. Klikneme na kruhový ovladač a zadáme požadovanou délku vysunutí, v našem případě 15 mm.



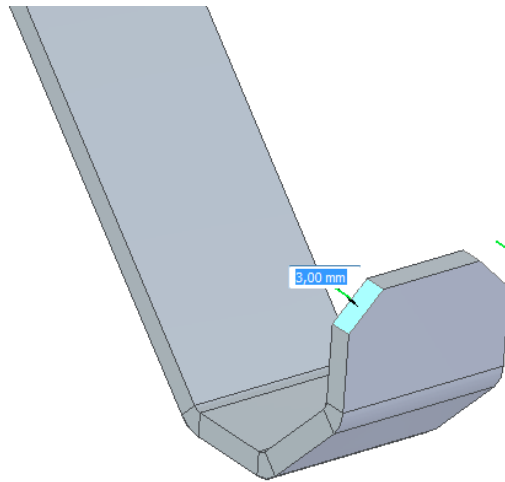
Obr. 44. Profilový ohyb

V dalším kroku vytvoříme zkosení na horní straně věšáku. Vytvoříme náčrt dle obrázku a použijeme funkci vyříznutí. Spustíme nástroj. Vybereme náčrt a tahem provedeme hloubku řezu. Kliknutím levého tlačítka myši potvrdíme.



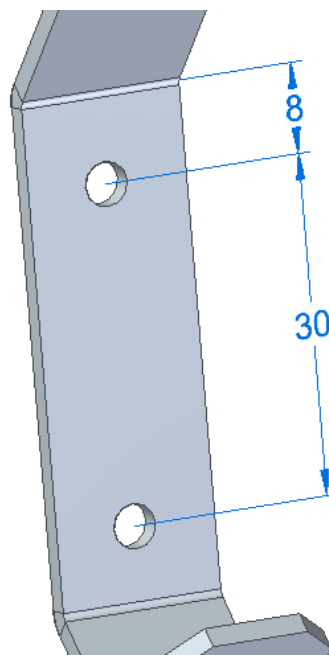
Obr. 45. Skica oříznutí

Ke zkosení hran spodní části věšáku využijeme funkci zkosení. Po vybrání hrany rohu zadáme 3 mm a pravým tlačítkem myši potvrdíme.



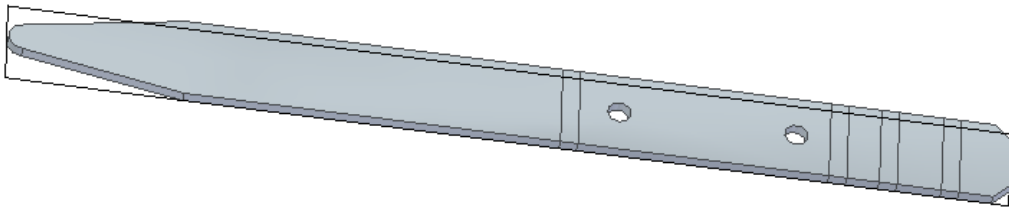
Obr. 46. Zkosení hran

Jako poslední vytvoříme pomocí funkce díra dva otvory, kterými se věšák připevní. Zvolíme funkci díra, ve vlastnostech nastavíme její parametry a tahem myši je umístíme v prostoru.



Obr. 47. Tvorba děr

Nyní máme výrobek hotov. Abychom jej dále mohli využít, uložíme si jej jako rozvin. To provedeme v kartě nástroje, kde zvolíme rozvin. Nástroj rozvin po nás bude požadovat vybrání základní plochy, do které se ostatní plochy rozvinou a dále vybrání jedné hrany, do které se zorientuje osa x.



Obr. 48. Rozvin

Hotový rozvin uložíme ve formátu dxf, pomocí kterého bude zajištěna kompatibilita s dalšími programy. Například program TruTops, do kterého takto uložený rozvin vložíme a dále s ním pracujeme. Samozřejmostí je také možnost vytvoření výkresu s rozvinem.

ZÁVĚR

V bakalářské práci je shrnuta problematika plošného tváření s využitím programu Solid Edge v modulu Sheet metal.

Teoretická část obsahuje popis mechanických vlastností a prostorových změn krystalické mřížky, ke kterým při tváření dochází. Popisuje základní postupy a metody, kterými dochází k přetváření ploch materiálu a to jak tváření deformační, tak tváření se změnou objemu. U deformační metody, kterou je stříhání, je popsán princip stříhání, potřebné deformační síly, a nástřihové plány. U metody se změnou objemu shrnuji proces tváření, jsou uvedeny výpočty, kterými zjistíme velikost potřebné síly a práce. Dále je uvedena problematika vzniku vln a potřeba mazání při procesu tažení. Pouze velmi stručně popisují rovnání, kovotlačení a zvláštní metody tváření. Samostatnou kapitolou je problematika ohýbání. Jsou zde popsány postupy ohýbání. Výpočty, díky kterým získáme hodnotu odpružení ohýbaného materiálu, maximální a minimální poloměr ohybu a hodnoty velikosti síly a práce, jež k ohybu potřebujeme.

Praktická část je především zaměřena na popis ovládání programu Solid Edge modulu Sheet metal. Jako doplněk práce je vytvořeno výukové video (PI), popisující základní nástroje, sloužící k zhotovení plechové součásti. Je zde ukázána výhoda programu, kterou je možnost nadefinování vlastností ohýbaného výrobku, díky kterým se nemusíme po zbytek modelování zabývat množstvím úkonů. Dále videomanuál tvorby modelového příkladu (PII). Písemná složka praktické části ukazuje analytické řešení ohybu a výstřižku na modelovém příkladu a dále tvorbu modelového příkladu v programu Solid edge modulu Sheet metal.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SRP, Karel. *Základy lisování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 247 s.
- [2] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I. 2.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 159 s. ISBN 978-80-01-04867-2.
- [3] HLUCHÝ, M. A KOL.: *Strojírenská technologie 2*. SNTL Praha, 1979.
- [4] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [5] Petr Lenfeld. Katedra tváření kovů – Skripta. *Katedra strojírenské technologie TU v Liberci*. [online]. 6.1.2014 [cit. 2014-01-06]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
- [6] AUGUSTIN, F. A KOL.: *Strojírenská technologie 4*. SNTL Praha, 1978.
- [7] RUDOLF, Bedřich; KOPECKÝ, Miloslav. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. Vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n p., 1979. 408 s.
- [8] TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Springer, c2006, xii, 405 s. ISBN 35-403-3216-2.
- [9] FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I*. Brno:[s.n.], 2002. 75s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/rocnikovy_projekt_I_forejt.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD Computer aided design – počítačem podporované konstruování

CA Computer aided – počítačová podpora

DXF Drawing Exchange Format – formát umožňující výměnu dat

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Mechanický buchar</i>	12
<i>Obr. 2. Diagram tahové zkoušky</i>	13
<i>Obr. 3. Normální struktura</i>	14
<i>Obr. 4. Struktura po stlačení</i>	14
<i>Obr. 5. Vliv velikosti zrna na kvalitu stříhu</i>	15
<i>Obr. 6. Vlákňitost materiálu</i>	16
<i>Obr. 7. Oblast tvářecích teplot</i>	16
<i>Obr. 8. Rozdělení dislokací</i>	18
<i>Obr. 9. Fáze stříhání</i>	20
<i>Obr. 10. Porovnání délek stříhu</i>	23
<i>Obr. 11. Kotoučové nůžky</i>	23
<i>Obr. 12. Profilové nože</i>	23
<i>Obr. 13. Kvalita stříhů</i>	24
<i>Obr. 14. Reversní stříhání</i>	24
<i>Obr. 15. Nástřihový plán</i>	25
<i>Obr. 16. Technologické způsoby tažení</i>	26
<i>Obr. 17. Tažení válcového tvaru</i>	26
<i>Obr. 18. Tažení bez a s přidržovačem</i>	27
<i>Obr. 19. Rovnání tlakem mezi rovnými deskami</i>	29
<i>Obr. 20. Válcová sestava</i>	29
<i>Obr. 21. Rovnání bodové a bradavkové</i>	29
<i>Obr. 22. Metoda kroužení</i>	30
<i>Obr. 23. Tváření výbuchem</i>	31
<i>Obr. 24. Rozložení a velikost napětí v materiálu</i>	32
<i>Obr. 25. Odpružení materiálu při ohybu</i>	33
<i>Obr. 26. Konstrukční úpravy čelistí ohýbadel proti odpružení materiálu</i>	34
<i>Obr. 27. Ohýbací stroj s otočnou deskou</i>	35
<i>Obr. 28. Ohýbačka trubek</i>	35
<i>Obr. 29. Příklady technologie ohraňování</i>	36
<i>Obr. 30. Technologie a příklady lemování</i>	36
<i>Obr. 31. Uspořádání zakružovaček</i>	37
<i>Obr. 32. Zakružování</i>	37

<i>Obr. 33. Výroba trubek profilováním, stáčením a přeplátováním</i>	38
<i>Obr. 34. Parametry ohýbané součásti</i>	39
<i>Obr. 35. Ohýbadlo pro malou sérii</i>	40
<i>Obr. 36. Ohýbadlo pro větší sérii</i>	41
<i>Obr. 37. Ohýbadlo s pohyblivými čelistmi</i>	41
<i>Obr. 38. Model</i>	44
<i>Obr. 39. Skica ohybku</i>	45
<i>Obr. 40. Skica výstřižku</i>	49
<i>Obr. 41. Nástřihový plán</i>	49
<i>Obr. 42. Vlastnosti materiálu</i>	55
<i>Obr. 43. Skica</i>	56
<i>Obr. 44. Profilový ohyb</i>	57
<i>Obr. 45. Skica oříznutí</i>	57
<i>Obr. 46. Zkosení hran</i>	58
<i>Obr. 47. Tvorba děr</i>	58
<i>Obr. 48. Rozvin</i>	59

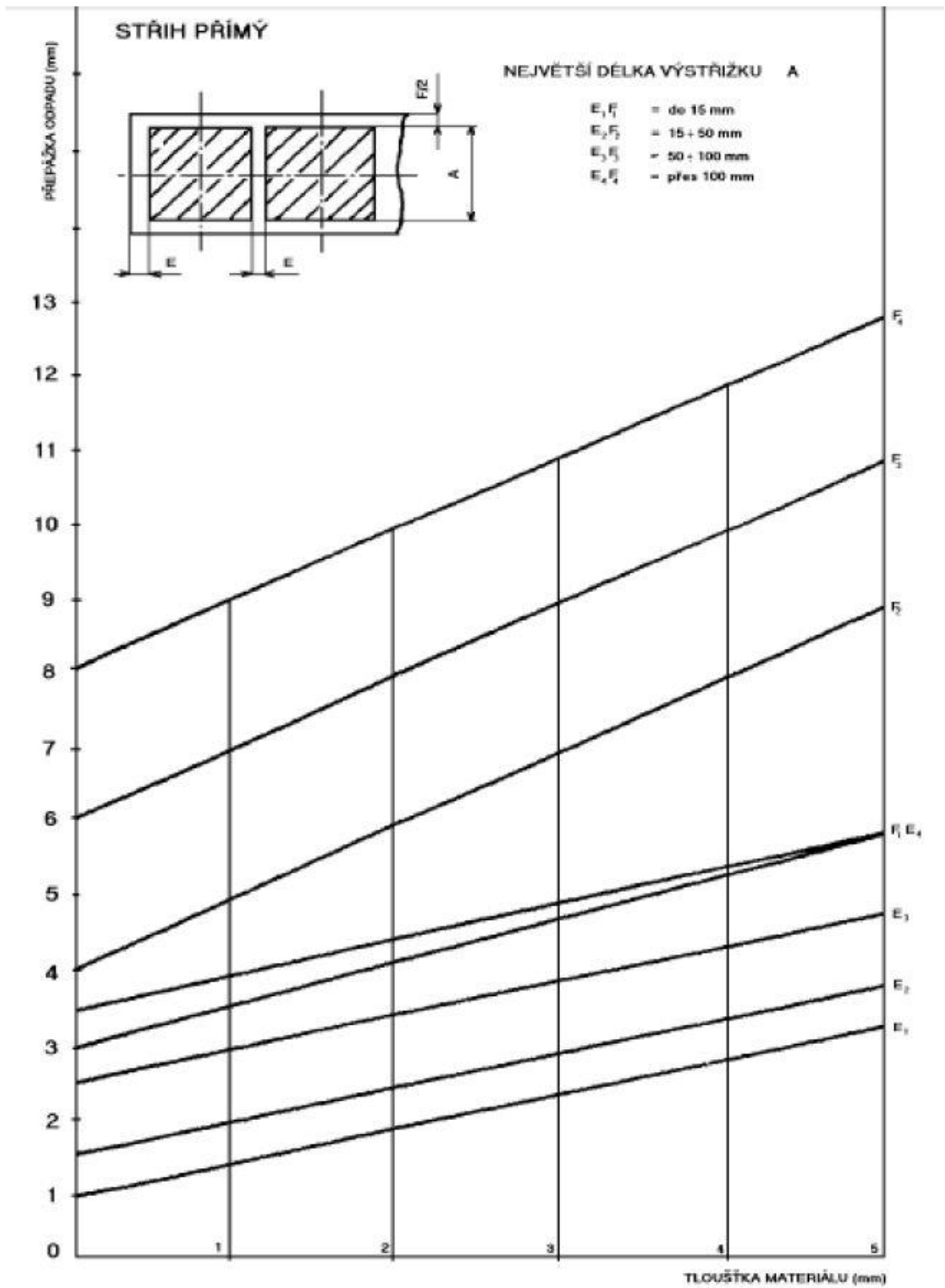
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Ostatní tvářecí teploty</i>	17
<i>Tab. 2. Střížné operace</i>	21
<i>Tab. 3. Hodnoty součinitele x</i>	33
<i>Tab. 4. Hodnoty úhlu odpružení pro různé materiály</i>	33
<i>Tab. 5. Hodnoty koeficientu c pro různé materiály</i>	38

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Videomanuál dostupný na <https://www.youtube.com/watch?v=X0tQQnPvs9U>
- PII Tvorba modelového příkladu dostupná na
<https://www.youtube.com/watch?v=D0yIMbXSMws>
- PIII CD s elektronickou verzí práce
- PIV Graf pro stříh přímý
- PV Fotografie hotového výrobku
- PVI Výkres výlisku
- PVII Výkres nástřihového plánu

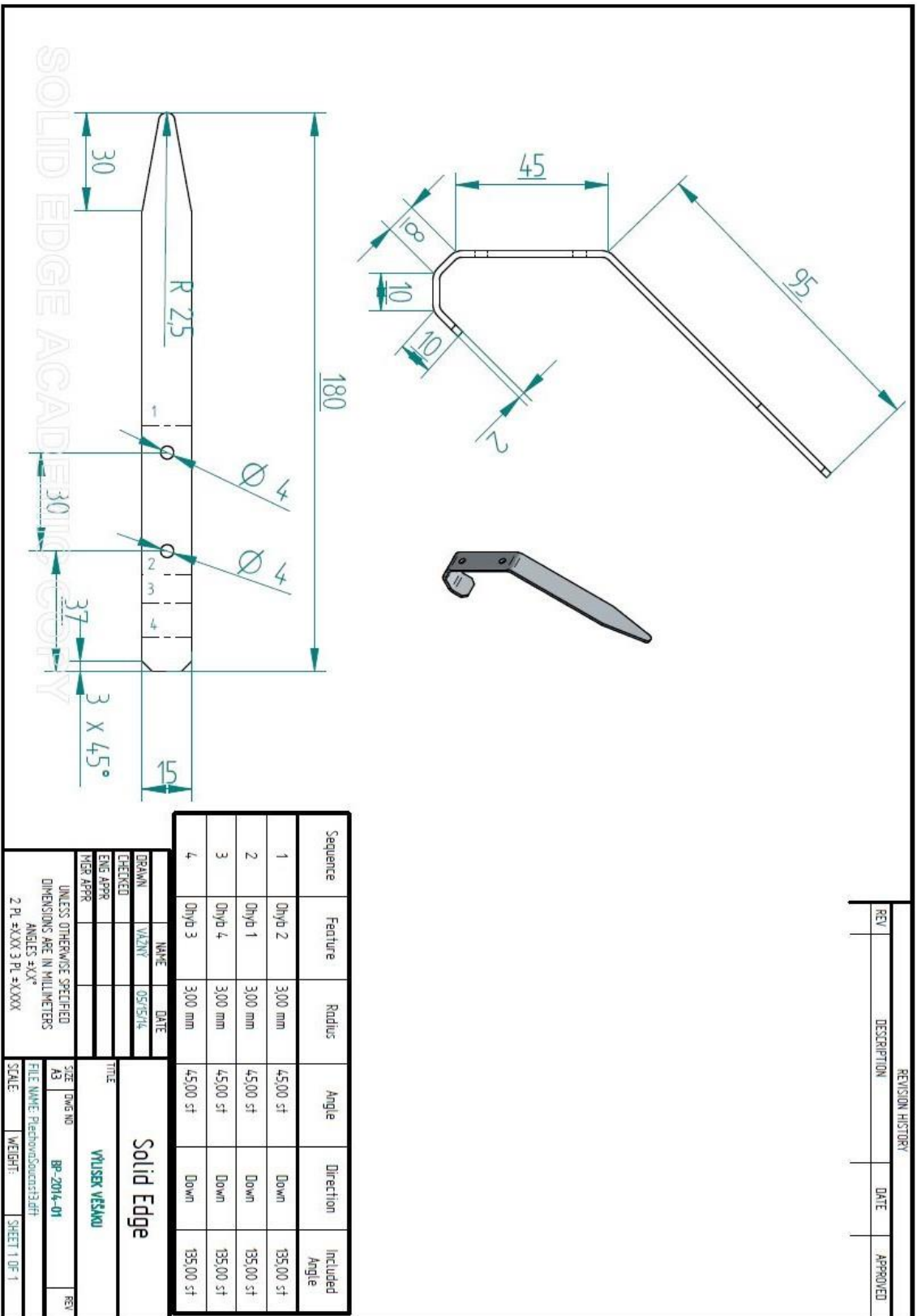
PŘÍLOHA P IV: GRAF PRO STŘIH PŘÍMÝ [9]



PŘÍLOHA P V: FOTOGRAFIE HOTOVÉHO VÝROBKU



PŘÍLOHA P VI: VÝKRES VÝLISKU



PŘÍLOHA P VII: VÝKRES NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU

