

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Automatická ohýbačka trubek – přípravek pro ohýbání

Autor: **Martin Šedivý**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok 2015/2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat všem těm, kteří mi pomáhali s přípravou a vypracováním mé bakalářské práce. Zejména mé díky patří panu Ing. Jakubovi Havlovi ze společnosti EvoBus s.r.o. Česká Republika za cenné rady a připomínky při řešení bakalářské práce a kolegům, kteří pomohli ke zhotovení bakalářské práce a panu Doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za odborné vedení a předání důležitých podkladů při řešení této bakalářské práce. V poslední řadě děkuji své rodině za nekonečnou podporu při mém studiu.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šedivý	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	23-35-8 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Automatická ohýbačka trubek – přípravek pro ohýbání		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	66	TEXTOVÁ ČÁST	50	GRAFICKÁ ČÁST	5
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce seznamuje čtenáře s teorií tváření kovů, zejména tvářením za studena. V další části je zaměřena na praktickou část, kde se zabývá konkrétním návrhem ohýbacího přípravku pro ohýbání ocelových profilů. Součástí je vypracovaná výkresová dokumentace v požadovaném rozsahu a modely zpracované v CAD systémech</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Automatická ohýbačka, tváření, ohýbání, výkresy</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Šedivý	Name Martin	
FIELD OF STUDY	23-35-8 "Transport and handling machinery"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Bending machine – tool for bend		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	66	TEXT PART	50	GRAPHICAL PART	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The Bachelor thesis show reader the Theory of metal forming, especially by cold forming. The next section is focused to the practical part which introduce specific design of bending steel profiles. Drawing materials and models created in CAD software are enclosed
KEY WORDS	Automatic bending, forming, bending, drawing

Obsah

Úvod.....	4
1. O společnosti EvoBus Česká republika	5
2. Tváření	6
2.1. Technologie tváření kovů [1], [6], [7], [8]	6
2.2. Fyzikální povaha a mechanismy plastické deformace [7], [8]	7
2.3. Tvařitelnost kovových materiálů [7], [8].....	8
2.3.1. Tvařitelnost	8
2.3.2. Rekrytalizace [7],[8].....	9
2.3.3. Vliv tváření na strukturu a vlastnosti tvářených součástí [7].....	11
2.4. Kovy a slitiny vhodné k tváření [7]	13
2.5. Napětové a deformační poměry při tváření [7], [8]	13
2.5.1. Napětí v tvářeném tělese [7], [8].....	13
2.5.2. Deformace ve tvářeném tělese [8].....	15
2.6. Základní zákony plastické deformace [7], [8]	17
2.7. Síly a práce potřebné k tváření	19
2.8. Deformační práce (přetvárná práce) [7,8]	24
3. Tváření za studena a za tepla – charakteristika a rozdělení metod [7,8].....	25
3.1. Tváření za studena – charakteristika a podstata metod objemového tváření [7].....	26
3.1.1. Výroba tenkých plechů válcováním za studena [7]	27
3.2. Tváření za studena [8]	27
3.2.1. Tažení trubek, profilů a tyčí [7]	28
3.3. Technologie tažení – základy [7].....	29
3.4. Ohýbání [7], [8]	30
4. Tvářecí stroje.....	32
4.1. Základní dělení tvářecích strojů	32
4.2. Buchary.....	33
4.3. Lisy [1], [6].....	34
4.3.1. Hydraulické lisy [1].....	34
4.4. Válcovací stolice [1].....	35
4.5. Stroje na dělení materiálu	37
5. Konstrukční návrh	38

5.1. Varianta č. 1.....	39
5.2. Varianta č. 2.....	40
5.3. Varianta č. 3.....	42
5.4. Varianta č. 4 – vybraná varianta.....	43
5.4.1. Průběh výroby přípravku.....	47
Závěr a zhodnocení	52
Seznam použitých pramenů a literatury	53
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek	56

Výkresová dokumentace

Tabulka 1 Výkresová dokumentace

Název výkresu	Druh výkresu	Číslo výkresu	Formát výkresu
Přípravek R230	Sestava	01-01/3	A3
Podložka 30x140x80	Výkres	01-02/3	A4
Nástroj pro R230	Výkres	01-03/3	A3

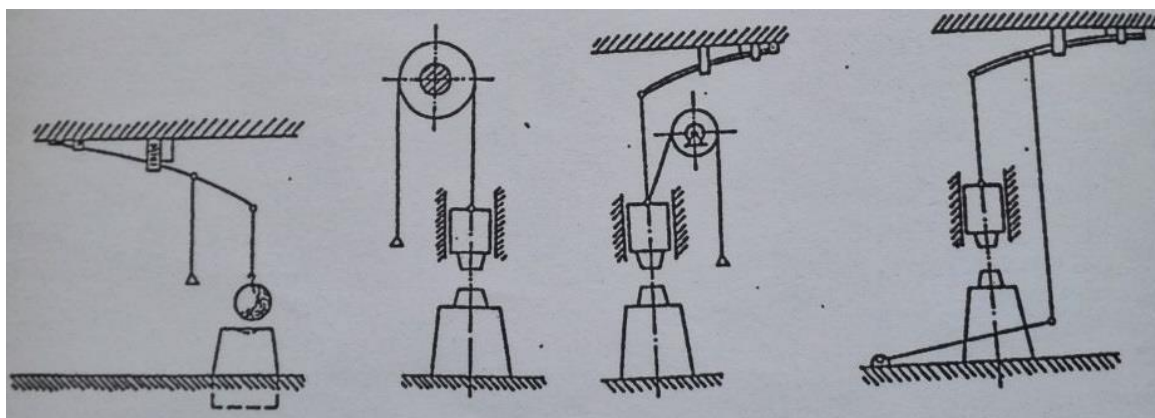
Soubory na CD

Tabulka 2 Data na CD

Název souboru	Typ souboru	Obsah
Podložka_30x140x80	UG součást (.prt)	CAD model
Přípravek R230	UG součást (.prt)	CAD model
Prostřední příložka L	UG součást (.prt)	CAD model
Prostřední příložka P	UG součást (.prt)	CAD model
Spodní a prostřední díl	UG součást (.prt)	CAD model
Spodní příložka L	UG součást (.prt)	CAD model
Spodní příložka P	UG součást (.prt)	CAD model
Šrouby M12x132x1,75	UG součást (.prt)	CAD model
BP Šedivý Martin	PDF	BP
Nástroj pro R230	PDF	Výkres
Podložka 30x140x80	PDF	Výkres
Přípravek R230	PDF	Výkres
Zadání BP	PDF	Zadání BP

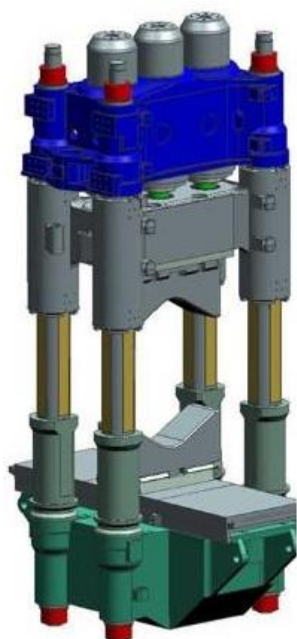
Úvod

Prvním způsobem, jakým byl kov zpracován, bylo jeho tváření. Kov byl ručně kován mezi kovadlinou a kladivem o čemž se ve svém díle zmiňuje Homér. Nejprve docházelo k primitivnímu ručnímu zpracování kovů, dále člověk začal využívat síly zvířat a posléze, ve středověku, začíná využívat energie vody a větru. Postupným vývojem od vřetenového lisu vzniklého před naším letopočtem, přes jednoduchá mechanizovaná kladiva v období 9. století.



Obrázek 1 Jednoduchá mechanizovaná kladiva určená ke kování [1]

Nadále přes využití primitivních bucharů poháněných vodou, parních bucharů až po v dnešní době nejhojněji využívané hydraulické lisu [6].



Obrázek 2 Model moderního Hydraulického lisu [2]

Ve strojírenském světě došlo k výrazné revoluci v odvětví výroby jednotlivých plechových dílů. Kdy se na počátku zrození automobilů veškerá výroba prováděla jen výhradně ručně za použití v dnešní době již běžných nástrojů a každý kus byl ve své podstatě originál, protože bylo velmi obtížné vytvořit dvakrát tentýž výrobek o stejných parametrech. Dnes se výroba posunula o veliký kus dopředu, veškerou náročnou práci při tváření plechu koná stroj a každý kus je stejný a je udáno i rychlejší tempo výroby a tím se vyrobí více výrobků.

V dnešním moderním automobilovém průmyslu je snahou výrobců si práci pokud možno v největší míře zjednodušit, zefektivnit, zkrátit čas zpracování a především zlevnit daný produkt, jelikož konkurence je neúprosná a kdo nasadí na svůj produkt nižší cenu má větší šanci uspět na trhu. Proto hraje velkou roli na procentuálním podílu výroby tváření dílů.

Současné trendy v designu automobilů dokazují, že už se téměř nedá nalézt nepřetvořený plechový díl.

1. O společnosti EvoBus Česká republika

Společnost EvoBus Česká republika je členem divize Daimler AG. Daimler AG je německá společnost a jeden z největších výrobců automobilů na světě. Společně s výrobou osobních automobilů Mercedes-Benz, Daimler vyrábí nákladní automobily a autobusy a také provádí finanční služby prostřednictvím své firmy Daimler Financial Services. Společnost také vlastní majoritní podíly ve skupině EADS, F1 týmu Vodafone McLaren Mercedes a v japonském výrobcu nákladních automobilů Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corporation. Daimler vyrábí automobily, nákladní vozidla a autobusy pod značkami Mercedes-Benz, Maybach, AMG, Smart, Setra, Orion, Freightliner, MitsubishiFuso, Detroit Diesel, Western Star, Sterling Trucks, Thomas Built Buses[3]. Společnost EvoBus vznikla v roce 1998 a jako taková je odpovědná za prodej a servis autobusů Mercedes-Benz a Setra v České republice. V roce 2001 byl otevřen nový výrobní závod v Holýšově (cca. 30 km od Plzně směrem na Horšovský Týn). V roce 2014 došlo k přejmenování na: „EvoBus Česká republika s.r.o.“. Výrobní závod v Holýšově prošel rozvojem během svého působení a byla zde postavena nová hala a závod se dále rozrůstá, nyní má lehce přes 600 zaměstnanců a kapacita výroby čítá na 6800 segmentů/rok. Vyrábí se zde segmenty pro karoserie autobusů Mercedes-Benz, Setra a díly pro nákladní a speciální vozy s označením Unimog. Sídlo firmy v Praze má na starost servis a prodej autobusů.



Obrázek 3 Mercedes-Benz Citaro G C2 Euro VI [4]

2. Tváření

2.1. Technologie tváření kovů [1], [6], [7], [8]

Tváření může být:

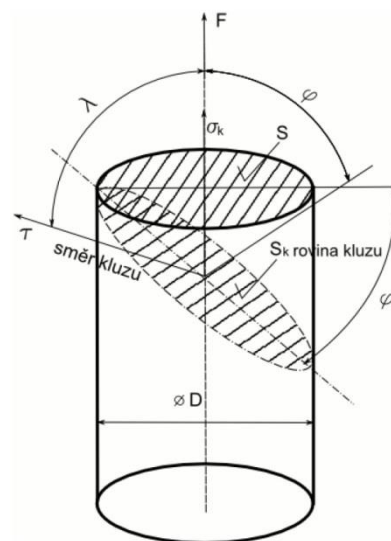
- 1) Objemové:
 - a) Volné kování
 - b) Zápustkové kování
 - c) Válcování
 - d) Tažení/ Vytlačování/ Protlačování
 - e) Rovnání výkovek
- 2) Plošné:
 - Ohraňování/ Rovnání/ Ohýbání/ Tažení plechu
- 3) Dělení materiálu:
 - a) Stříhání
 - b) Lámání
 - c) Drcení

Tvářením kovů rozumíme technologický či výrobní proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, případně vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru materiálu za pomoci tvářecího nástroje a stroje. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu (respektive její překročení) pro daný materiál, ale zároveň nesmí být překročena mez pevnosti (vyjímaje dělení materiálu). Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu a mění uspořádání vláken v materiálu (mění se relativní poloha částic v krystalové mřížce). Ke tváření jsou vhodné tvárné materiály, tj. takové materiály, které mají tyto meze od sebe dostatečně vzdálené. Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku.

2.2. Fyzikální povaha a mechanismy plastické deformace [7], [8]

Při působení vnějších sil, působí uvnitř tělesa síly vnitřní. „Těmito vnitřními silami se brání kov proti svému přetvoření. Výsledný tvářecí efekt závisí proto nejen na charakteru vnějších sil, ale také na stavbě tvářeného materiálu [7]“ a faktorech, které mohou ovlivnit vnitřní síly, např. teplota. Rozdíl mezi pružnou a plastickou deformací je v trvalém posuvu atomů o vzdálenost větší než činí mřížková konstanta. Plastická deformace obsahuje pouze smykové napětí τ . Mezi nejčastější mechanismy přemísťování atomů patří prostý skluz případně dvojčatění. „Trvalý posuv atomů nastává až po překročení hodnoty kritického smykového napětí τ_k (krystalografická mez kluzu)[8]“.

$$\tau_k = \frac{F}{S} \cos\varphi \cos\lambda$$



Obrázek 4 Vztah mezi normálním a smykovým napětím při jednoosém tahovém namáhání zkušební vzorku [8]

„Hodnota kritického smykového napětí je ještě závislá na teplotě, rychlosti deformace, a zda byl krystal již předtím deformován. Kluz vzniká nejdříve v těch rovinách, kde je tangenciální smykové napětí vyvolané vnější silou a dosáhne τ_k [8]“. Průběh deformace u polykrystalického materiálu je ztížen řadou faktorů, jako jsou hranice a velikost zrn (které mají vliv na tvrdost materiálu), jejich orientace uvnitř mřížky a přítomnost různých fází apod. Polykrystalický materiál má obvykle větší odpor proti deformaci, než monokrystal a deformace před porušením je u nich mnohem menší než u monokrystalů. Na vznik plastické deformace má rozhodující vliv atomová stavba krystalové mřížky, jelikož díky různému druhu mřížek mají i různý charakter, tzn., že mají různý počet možných kluzných rovin (ty které jsou nejhustěji obsazené atomy) a projevuje se u nich odlišná schopnost ke vzniku translace. Z hlediska uspořádání atomů jsou vhodné kovy, které mají kubickou prostorově i plošně centrovanou mřížku. „At' mají zrna jakoukoliv polohu ke směru deformační síly, vždy mají některé roviny vhodnou orientaci takovou, že na nich kluz snadněji vznikne. Výsledkem toho je, že tyto kovy jsou velmi dobře plastické a deformace zasahuje brzy všechna zrna[7].“ „Naopak kovy a slitiny s hexagonální mřížkou mají sklon ke křehkým lomům z důvodu velmi obtížného skluzu v kluzných rovinách [7], [8].“

Dvojčatění [8]

Za velmi nízkých teplot a velkých deformačních rychlostí dochází k plastické deformaci mechanismem tzv. dvojčatění. „Při tomto mechanismu se přesunou atomy v části krystalu pouze o část mezi atomární vzdálenosti tak, že kluzem vznikne oblast mřížky zrcadlově souměrná s neposunutou mřížkou podle roviny dvojčatění – tzv. dvojče [8]“. Při dvojčatění nedochází k velkým plastickým deformacím. Největší výskyt dvojčatění je u slitin mědi a feritické základní struktury, které jsou tvářené velkou deformační rychlostí za nízkých teplot [8].

2.3. Tvařitelnost kovových materiálů [7], [8]

Plastičnost

- můžeme definovat jako schopnost materiálu plastickým změnám tvaru tělesa působením vnějších sil. „U kovových materiálů jsou tyto změny provázány změnami struktury [8]“.

Křehkost

- vlastnost látky, kdy za působení vnějších sil se poruší její soudržnost a to bez výrazné předešlé trvalé deformace.

2.3.1. Tvařitelnost

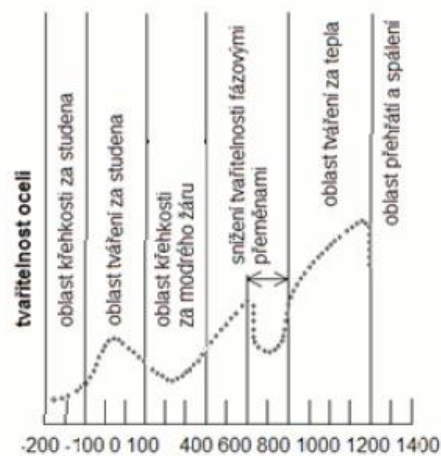
„V technické praxi vyjadřuje způsobilost či upotřebitelnost kovového materiálu pro zpracování tvářením [7].“ Technologickou tvařitelnost pak lze chápat jako způsobilost k velkým plastickým deformacím bez porušení soudržnosti, respektive „se plasticky deformovat bez makroskopického porušení v konkrétním tvářecím procesu [8]“. Od kovu je vyžadováno při daných podmínkách tvářením určité plastické vlastnosti, aby kov snesl bez porušení tvarové a rozměrové změny, které jsou upřesněny v podmínkách o tvářecím pochodu. „Plastické vlastnosti určující tvařitelnost kovu jsou závislé na mechanických vlastnostech, stupni a rychlosti deformace, stavu napjatosti, teplotě tvářením, chemickém a strukturním složení, co nejmenší deformační energii na změnu tvaru [7]“ a především jestli byl materiál v minulosti tepelně zpracován či deformován. Pro určení technologické tvařitelnosti se hojně využívá základních mechanických zkoušek jako: zkoušky tahem, tlakem, krutem a ohybem za vyšších teplot. „I když samy o sobě nemohou vyjádřit vliv složitých stavů napjatosti, v souhrnu umožňují získat názor o plastických vlastnostech při různých teplotách, rychlostech deformace a základních stavech napjatosti [7].“

Struktura [7]

Do značné míry ovlivňuje plastické vlastnosti a průběh deformace. Rozhodující je velikost zrn, jejich stejnorodost a mezikrystalická hmota. „Čím je struktura kovu jemnozrnější, tím více se vyrovnávají vlastnosti jednotlivých zrn. Sklesající velikostí zrna se nejen zvyšuje deformační odpor, ale často se zhoršuje též plastičnost materiálu [7]“. První příznaky plastické deformace pozorujeme právě na povrchu, který je větší než jádro. Další roli hraje pravidelnost uspořádání atomové mřížky, kdy v případě nepravidelnosti uspořádání styku dvou krystalů je základem pro vznik plastické deformace, než je tomu u uspořádání pravidelného. Pro plastické vlastnosti má význam jak stejnorodost strukturální tak mechanická a chemická. Odlišná velikost zrn je příčinou zhoršení plastických vlastností a současně s tím je spojený odpor proti deformaci, jenž má také různou velikost a který má za následek místní zvýšení deformačního odporu a tím je bráněno rovnoměrnému postupu deformace. „Stejnorodost respektive nestejnorodost mechanických vlastností kromě jiného souvisí s chemickým složením [7].“ Tento jev je zjevný zejména u struktur tvořených několika fázemi, je možno říci, že fáze se zhoršenou tvařitelností, zhoršuje tvařitelnost obecně v celém objemu. Když tato fáze má ještě malou pevnost, vznikají v těchto místech snadno povrchové a vnitřní trhliny, což vede k brzkému vyčerpání celkové plastičnosti.

Teplota [7]

S rostoucí teplotou se podstatně mění plastická deformace. Nachází-li se ve struktuře jedna fáze, je pravidlem, že se plastické vlastnosti se stoupající teplotou zlepšují. U ocelí se tvárnost snižuje v oblastech její křehkosti za modrého žáru. Za teplot blízkých teplotě tání se znovu tvárnost zhoršuje vlivem přehřátí (zrno značně hrubne). „Vysoká tvárnost v oblasti tvářecích teplot se zdůvodňuje tím, že se jednak zvyšují počty kmitů atomů a také značně vzrůstá tvárnost mezikrystalických vrstev, tato vrstva s větším množstvím přímisenin má nižší teplotu tavení než zrno, proto pokles pevnosti při zvyšující se teplotě je rychlejší než u zrn [7]“. Zároveň se zmenšuje křehkost vrstvy a tím se zmenšuje její náchylnost k tvoření trhlin.

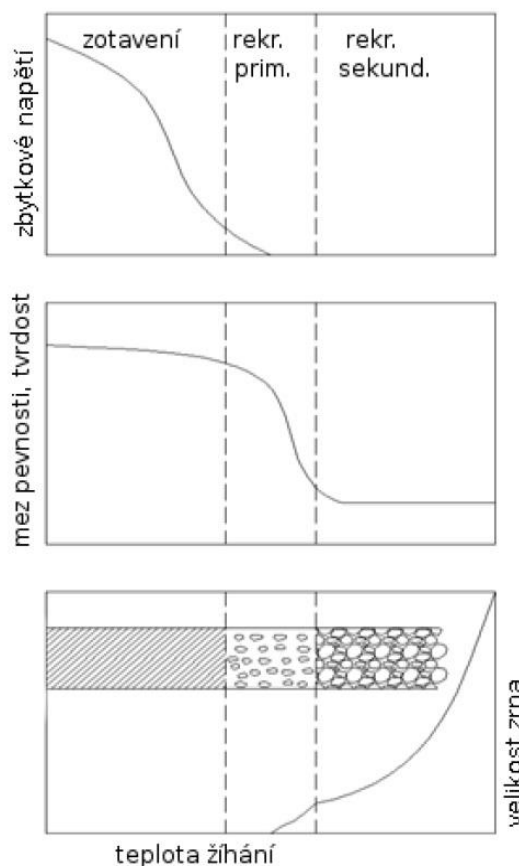


Obrázek 5 Změna tvařitelnosti oceli v závislosti na teplotě [8]

Při velkých plastických deformacích za studena dochází k rozrušení krystalové mřížky jednotlivých zrn a jejich trvalou deformaci spolu s usměrněním rozrušené struktury. „Tento pochod je doprovázen zvyšováním odporu proti dalšímu přetváření a zároveň vyčerpáváním schopnosti materiálu k další plastické deformaci [7].“ Důsledkem postupného oslabení plastických vlastností jsou poruchy vznikající v krystalové mřížce, které nakonec vedou ke vzniku mikro a makro trhlin. Následkem nestejnomyšernosti přetvoření způsobené tím, že plochy kluzu v jednotlivých rovinách mají odlišný směr, se liší jednotlivá tvářená zrna jak tvarem, tak velikostí a vlastnostmi.

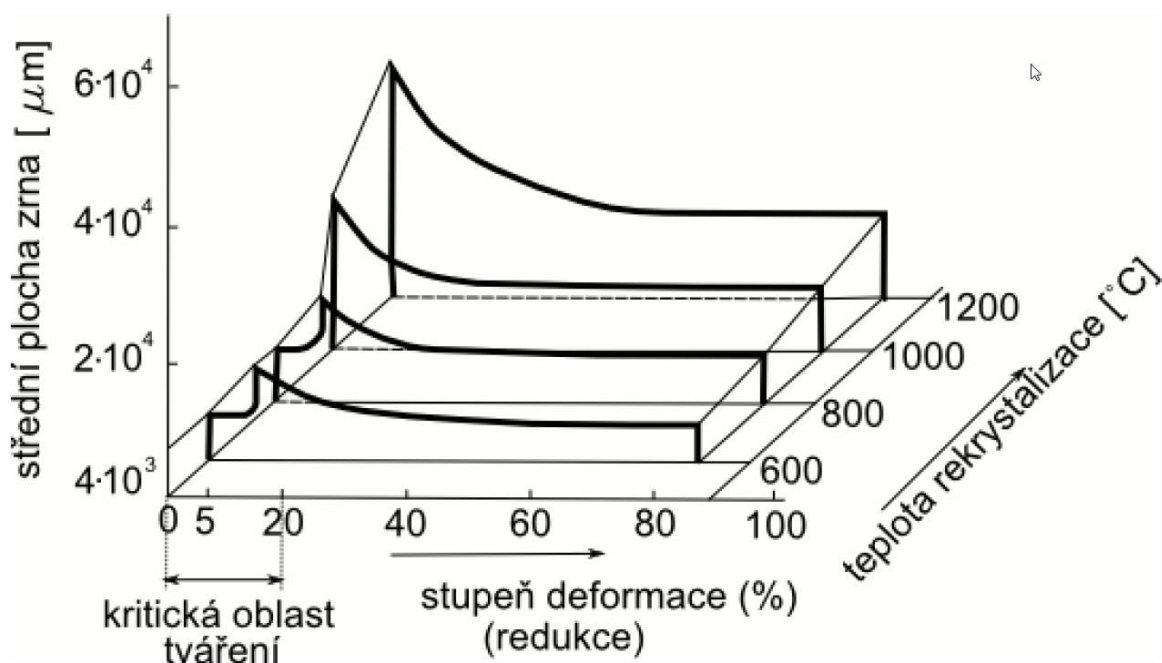
2.3.2. Rekrystalizace [7],[8]

Po ukončeném tváření dochází ke vzniku zbytkových napětí v důsledku hromadění dislokací uvnitř zrn a vzniku poruch v mřížce. Při tváření tento jev lze pozorovat jako zvýšení meze kluzu, meze pevnosti v tahu, snížením tažnosti a postupnou degradací plastických vlastností a změnou fyzikálních, elektrických a magnetických vlastností a nazýváme ho zpevňováním. Defekty mřížky vzniklé deformací se ve značné míře vyrovnávají a tak se mřížka regeneruje, což způsobuje snižování zbylých napětí a tento jev se nazývá



Obrázek 6 Vliv zotavení, primární a sekundární rekrystalizace [8]

zotavení. Charakterem je pouze změna uspořádání dislokací a nemá vliv na změnu rozměrů a přeměnu tvaru zrn. „Průběh zotavování je přímo závislý na teplotě a době ohřevu [7].“ Zotavení zvyšuje odolnost materiálu tvářeného za studena proti korozi a snižuje sklon k samovolnému porušení. U některých materiálů může dojít při teplotách zotavování ke stárnutí, jež má za následek opačný efekt na mechanické vlastnosti než samotný proces zotavení. Při dalším zvyšování teploty až na hodnotu tváření materiálu za studena dochází k jeho rekrystalizaci. „Při rekrystalizaci dochází v deformované struktuře ke vzniku zárodků a růstu nových zrn na úkor dříve deformovaných. Množství dislokací se přitom zmenšuje. Vznik rekrystalizace je v podstatě podmíněn tím, že vysoká teplota tvářeného kovu zvyšuje energetický potenciál atomů tak, že je umožněno jejich přeskupení [7].“ Vzhledem k rovnoměrnému růstu nových zrn do libovolných směrů, vznikají tak zrna velmi blízka rovnoosým. Rekrystalizace probíhá určitou rychlostí, která je podřízena teplotou a stupněm deformace. Když jsou tyto dvě veličiny větší, tím probíhá rekrystalizace rychleji. Velikost zrn po rekrystalizaci tvářeného kovu závisí na stupni deformace, na teplotě rekrystalizace a setrvání na této teplotě. Tváření za tepla je typické tím, že schopnost rekrystalizace je tak velká, že spolu s deformací probíhá i uzdravování mřížky – tzv. odpevňování. Pokud je rychlost rekrystalizace vyšší než rychlost jakou se kov deformuje, je výsledná struktura složena z nedeformovaných zrn, které jsou bez známek zpevnění a tak si kov zachovává při tváření plastické vlastnosti, díky kterým je možné docílit velkých stupňů deformace a v podstatě se ani nemění mechanické nebo fyzikální vlastnosti. V případě tváření lité struktury se dosažením stejnorodosti struktury a zhutněním kovu se mechanické vlastnosti zlepšují. Velikost zrn v materiálu, který byl deformován za tepla, závisí na teplotě, při které deformace probíhá a na stupni deformace. Závislost mezi velikostí zrna po deformaci a rekrystalizaci při určitém stupni deformace je znázorněna na rekrystalizačním diagramu.



Obrázek 7 Rekrystalizační diagram [8]

Největší význam pro tváření má v diagramech znalost tzv. kritické oblasti deformace a to se souvislostí na velké zvětšení rozměrů rekrystalizovaných zrn při některých stupních deformace. Při malé deformaci je množství rekrystalizačních zárodků malé, avšak rozrušením mezikrystalické vrstvy se umožní spojení atomů sousedních zrn v nová zrna, což vede ke zvětšení jejich rozměrů. Při větší deformaci vyvolá zvětšení počtu zárodků a následkem toho také zvětšení počtu zrn a tím i jejich menší rozměry. U vybraných druhů ocelí se objevuje navíc další kritický stupeň při vyšších stupních deformace. „*Význam velikosti zrna tvářeného materiálu pro získání optimálních mechanických vlastností spočívá též v tom, že jeho velikost po rekrystalizaci závisí také na době prodlevy nad rekrystalizační teplotou [7].*“ Zvětšením velikosti zrn se zmenší jejich celkový povrch a následkem toho se zmenší nashromážděná potenciální energie, obzvláště intenzivně k tomu dochází při teplotách, které citelně překračují teplotu počátku rekrystalizace. Materiály s hrubozrnnou strukturou mají při tváření sklon ke zdrsnění povrchu, což může ovlivnit další technologii zpracování nebo konečný vzhled výrobku. Cizí fáze, které nalezneme v polykrystalickém materiálu, omezují hrubnutí zrna. Přísady nacházející se v tuhém roztoku zvyšují rekrystalizační teploty, kdežto nečistoty (vměstky), které nejsou rozpustné v tuhém roztoku, nemají žádný vliv na rekrystalizace, ale brzdí mechanický růst zrn. Jestliže při rekrystalizaci vznikne hrubé zrno, pak jej lze odstranit u kovů, které neprocházejí fázovými přeměnami, ale pouze větší deformací spojenou s vhodnějším režimem rekrystalizace.

Rekrystalizační teplota u různých kovů a slitin je různá. Pro čisté kovy lze uvést přibližný Bočvarův vztah:

$T_{rek} \cong 0,4 * T_{tav}$, kde:

T_{rek} - rekrystalizační teplota[K], T_{tav} - teplota tavení kovu [K]

Procesy tváření za studena se uskutečňují v praxi při teplotách nižších než $0,3 * T_{tav}$.

Procesy tváření za tepla se uskutečňují v praxi při teplotách vyšších než $0,7 * T_{tav}$.

„*Většina kovů a slitin používaných pro konstrukční a strojní části má rekrystalizační teplotu značně vyšší, než je teplota pokojová [7].*“ Je obecně možné říct, že teplota rekrystalizace klesá se stoupajícím přetvořením, obsahem nečistot a také u slitin bývá nižší. Účinek deformační rychlosti je možné akceptovat, že se stoupající rychlostí deformace se tvárnost zmenšuje a roste odpor proti deformaci. Kovy, které mají nízkou teplotu tání, vykazují vyšší růst odporu proti deformaci než kovy s vyšší teplotou tání. Působení tvářecí rychlosti je větší při tváření za tepla než za studena, tzn. že deformační odpor při kování pod bucharem je zhruba 2,5x větší než při kování pod lisem. Při vysoké deformační rychlosti nestačí rekrystalizace zcela zrušit nepříznivé účinky tváření a tak deformační odpor stoupá. Zvýšením deformační rychlosti na extrémní hodnoty způsobí toto zvýšení podstatnou změnu v chování tvářeného materiálu. Tyto změny se projevují zřetelným zvýšením tažnosti a meze kluzu.

2.3.3. Vliv tváření na strukturu a vlastnosti tvářených součástí [7]

Záměrem tváření je získat z jednoduchého polotovaru (ingotu) požadovaný tvar součástí a často také získat lepší mechanické vlastnosti. Zlepšení vlastností je závislé hlavně na těchto činitelích: svařením trhlin a dutin tlakem ve výchozím odlitém materiálu, zjemněním výchozí krystalické lité struktury. Mechanickým tlakem lze řediny, dutiny a trhliny, které vznikly

v odlitém materiálu vylučováním plynů v důsledku smršťování tekutého a tuhého kovu svařit. Není-li povrch těchto vad zoxidován nebo jinak znehodnocen a materiál je tlakem svařitelný, je možné kováním dokonalé svaření a tím zlepšení mechanických vlastností. Nejlepších výsledků se dosáhne u nízkouhlíkatých svařitelných ocelí a lze z nich získat dobré tvářené výrobky, i když byla jakost ingotu méně kvalitní. Řediny, které jsou blízko povrchu ingotu, jsou většinou způsobeny nepatřičnými licími podmínkami (nedostatečným odplyněním kovu, nevhodným formovacím materiálem, apod.). Oxidace ředin umístěných hlouběji pod povrchem je zapříčiněno obvykle silným okujením. Tvářením se řediny protáhnou, ale nesvaří se. Oxidované povrchové dutiny se obvykle zvětšují při následujícím tepelném zpracování. Jakostní výrobky proto před tvářením vyžadují odstranění povrchových vad ingotů vysekáním, vybroušením či ohrubováním nekvalitní povrchové vrstvy. „*Tvářením se dosahuje kromě změny tvaru jednotlivých krystalických zrn nové rozložení oblastí s různým chemickým složením a nové rozložení inkluzí, které se nalézají na hranicích zrn [7].*“ Výsledné změny struktury závisí na zvoleném postupu tváření, avšak tváření ani tepelné zpracování nijak neovlivňují např. segregaci uvnitř ingotu.

I když se tedy tvářením mechanické vlastnosti zlepšují (obzvláště odstraněním vnitřních metalurgických vad a zlepšením krystalické struktury), je důležité brát v úvahu u důležitých součástí uvedenou orientaci inkluzí, která bude závislá na velikosti použitého stupně deformace a způsobu tváření. Z důvodu odlišných vlastností v různých směrech je třeba při kování důležitých součástí postupovat tak, aby po tváření byla vlákna vhodně orientována vzhledem k největšímu provoznímu namáhání. Podmínka je splněna, jestliže, provozní tahová a ohybová napětí jsou rovnoběžná a napětí smyková kolmá ke směru vláken.

U lité oceli, která je složena z poměrně velkých krystalických zrn, mezi nimiž jsou rozprostřeny prvky s malou difuzní rychlostí, která tvářením za tepla může tvořit řádky s rozdílným složením.

U tvářené oceli se mohou proto rozlišit tři druhy struktury:

- a) vláknitá, způsobená rozdělením nemetalických inkluzí
- b) řádková, vytvořená z oblastí různého chemického složení
- c) mikrostruktura, složená nad kritickými teplotami z austenitu a pod nimi z feritu, perlitu a cementitu.

Anizotropie tvářené oceli je způsobena prvními dvěma strukturami, které určují její makrostrukturu. Jelikož při tváření za tepla probíhá rekrytalizace, vysoká teplota a dlouhá doba ohřevu podporují slučování jednotlivých krystalů do větších celků, je výsledná velikost krystalů určena rozsahem deformace v dané době. Po ukončení tváření už nevznikne nová generace krystalů, takže se během ochlazení, které rychle klesá s klesající teplotou, nerušeně rozrůstají. Primární austenitické zrno se zvětšuje, čím déle je výkovek udržován nad nejnižší teplotou, při níž je narůstání již bezvýznamné. To značí, že dosažení jemné primární struktury je podmíněno dokováním při co nejnižších přípustných teplotách a po tváření následuje ochlazení největší přípustnou rychlostí. Při nízkých teplotách jsou deformační odpory vysoké a může tak docházet ke zpevňování. Z tohoto důvodu mají menší výkovky primární strukturu jemnozrnější než výkovky hmotnější.

2.4. Kovy a slitiny vhodné k tváření [7]

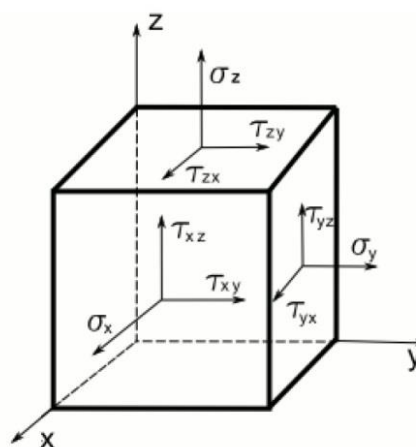
Nejvíce používaným a nejvíce znám materiálem k tváření je ocel. Především pro kování je vhodná ocel vyrobená v S-M pecích (Siemens-Martinská pec) pro její minimální obsah nečistot včetně dusíku a vodíku, jako další vhodný kandidát se jeví ocel vyrobená v elektrických pecích a kyslíkových konvertorech. Ingoty z S-M oceli mají převážně čisté povrchy a nemají sklon k tvorbě rohových a jiných trhlin. Dusík vyvolává náchylnost ke stárnutí a snižuje dynamické hodnoty oceli, vodík způsobuje sklon k tvoření tzv. vloček při zpracování tváření. Výrazného snížení obsahu plynů se dosahuje litím oceli do vakua, kromě toho tento způsob umožňuje vznik příznivější formy vycezenin a snížení vměstků jako jsou sirníky a oxidy. Při běžné metalurgii je nejpříznivější výroba nebo dokončení tavby v pecích s kyselou vyzdívkou, kde je dezoxidace a odplynění dokonalejší. V podstatě jsou menší ingoty výhodnější, protože rychleji tuhnou a tím probíhá krystalizace rovnoměrněji a krystaly jsou jemnější. Velké ingoty se nedoporučuje používat také proto, že při potřebném velkém pro tváření může u předvalků nebo zápustkových výkovků vzniknout snadno vláknitý až dřevitý lom. Neuklidněné oceli vždy obsahují větší množství plynových bublin, které se většinou při válcování svaří tlakem, ale mohou také vést k dřevitým lomům. Bubliny těsně pod povrchem způsobují natrhávání materiálu a tím nejakostní povrch vývalků. Pro důležité výkovky se proto neuklidněná ocel nehodí. V ČSN existuje velké množství ocelí k tváření, které mají schopnost k plastické deformaci ovlivněnou chemickým složením, strukturou a podmínkami tváření. Z dalších slitin běžně zpracovávaných tváření jsou především slitiny hliníku (Al), hořčíku (Mg) a mědi (Cu). Vlastnosti hliníku jsou ovlivněny kromě čistoty také způsobem předchozího zpracování, jehož výsledkem je různá velikost zrna. Slitiny hliníku vhodné k tváření bývají obvykle ty, které jsou za vyšších teplot tvořeny homogenním tuhým roztokem. Tvářené slitiny se obvykle dělí podle možnosti následného tepleného zpracování na tvářené a tvářené s následujícím vytvrzováním, které podmiňuje jejich další využití.

2.5. Napěťové a deformační poměry při tváření [7], [8]

2.5.1. Napětí v tvářeném tělese [7], [8]

„Napětí vyjadřujeme jako sílu $[F]$ působící na průřez $[S]$, tedy $\sigma = F/S$. Vzhledem k vesměs nerovnoměrnému rozdělení síly na ploše je vhodné vyjádřit napětí v diferenciálním tvaru $\sigma = dF/dS$. V nejčastěji používaném pravouhlém souřadnicovém systému na hmotný bod v tělese působí obecně tři normálová napětí, které jsou kolmá na stěny krychlového elementu a šest smykových napětí, působících na stěnách elementu. Stav napjatosti je dán 9 složkami a jeho tvar se zapisuje v maticovém tvaru:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}$$



Obrázek 8 Schéma napětí na hmotný bod (prostorový element) [8]

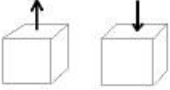
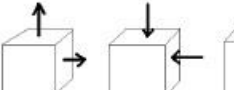
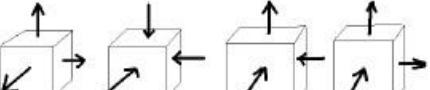
Pro smyková napětí platí zákon sdružených smykových napětí, tedy $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$.

Při výpočtu napětí a sil při tváření s výhodou použijeme hlavní souřadnicový systém, tzn., že ve stěnách elementu budou působit pouze normálová napětí => hlavní napětí: σ_1 , σ_2 , σ_3 [8].“

V důsledku nehomogenitně rozloženého napětí je v různých částech objemu různý stav napjatosti, jsou i různá schémata hlavních napětí. Tento projev je velmi důležitý obzvláště na povrchu tvářeného objemu, kde velká tahová napětí mohou překročit mez pevnosti materiálu a způsobit vznik trhlin. Napětí mají buď kladnou, zápornou nebo nulovou hodnotu.

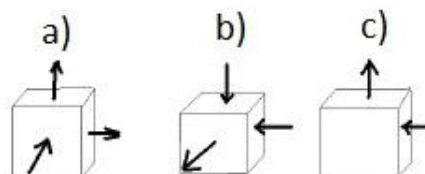
Existuje 9 možných schémat:

- 1) Jednoosý stav napjatosti: $(+,0,0)$ -> jedno tahové napětí, ostatní nulová
 $(-,0,0)$ -> jedno tlakové napětí, ostatní nulová.
- 2) Rovinný stav napjatosti: $(+,0,-)$, $(+,+,0)$, $(-,-,0)$
- 3) Prostorový stav napjatosti: $(+,+,+)$, $(-,-,-)$, $(+,+,-)$, $(+,-,-)$

		
$(+,0,0)$ $(-,0,0)$	$(+,+,0)$ $(-,-,0)$ $(+,-,0)$	$(+,+,+)$ $(-,-,-)$ $(+,+,-)$ $(+,-,-)$
Jednoosý stav napjatosti	Rovinný stav napjatosti	Prostorový stav napjatosti

Obrázek 9 Schémata hlavních napětí [8]

- 1) Jednoosý stav napjatosti se vyskytuje pouze v laboratorních podmínkách u zkoušky tahem před vznikem krčku nebo jednoosým tlakem bez tření
- 2) Rovinný stav napjatosti je typický pro plošné tváření – typicky tváření plechu
 - Příčné ohýbání plechů a pásů
 - Zakružování svařovaných trubek
 - Hluboké tažení plechu
- 3) Prostorový stav napjatosti se uplatňuje při objemovém tváření s tím, že
 - a) Nelze využít schémat s všestranným tahem
 - b) Třísosý tlak existuje při protlačování
 - c) Ostatní schémata jsou běžná při kování, válcování, tažení, atd.



Obrázek 10 Reálné znázornění deformací [8]

Tváření je spojeno se stavem napjatosti a stavem deformace a proto se přiřazují ke schématům hlavních napětí, schémata hlavních deformací, která vyjadřují průběh deformace v uvedeném bodě. Normálními tahovými ev. tlakovými napětími mohou být vyvolány

jen lineární deformace (smykové jsou vyvolány tangenciálními). Průběh lineární deformace, tzn. prodloužení nebo zkrácování lineárních rozměrů tělesa lze znázornit schémata hlavních deformací. Za předpokladu konstantního objemu tvářeného tělesa existují 3 reálné kombinace těchto deformací (z celkového počtu 9):

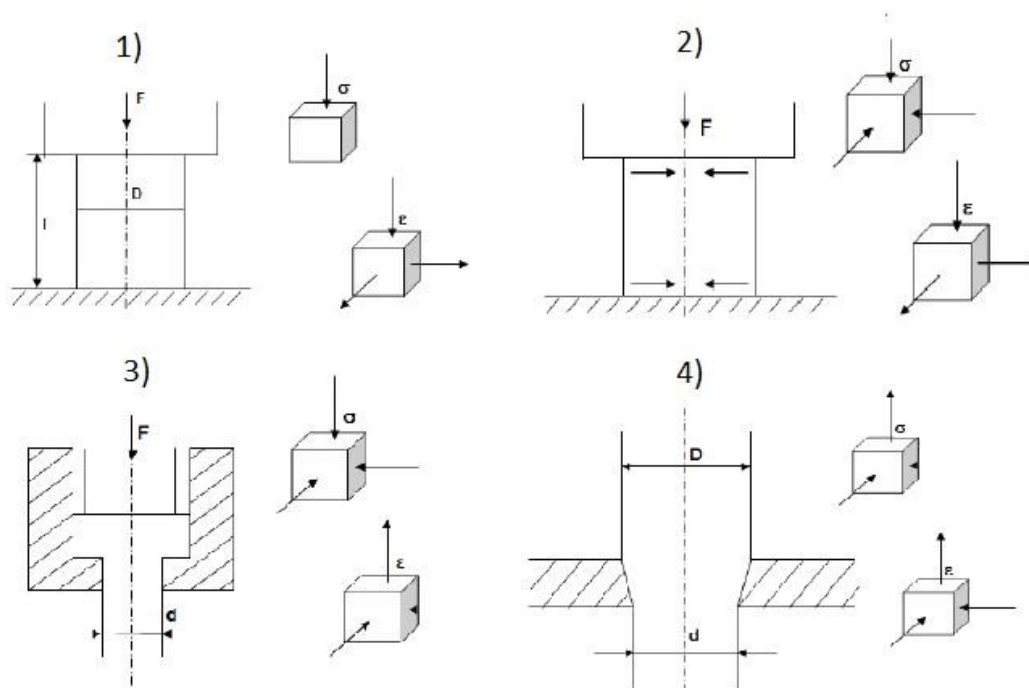
1) Prostorová deformace

- a) Kladná deformace (prodloužení) ve dvou směrech a záporná ve směru třetím (+,+,-) => Kovářské operace, válcování předvalků
- b) Záporná deformace (zkrácení) ve dvou směrech a kladná ve směru třetím (-,-,+) => Tváření v průvlaku, protlačování, tažení

2) Rovinná deformace

- c) Kladná deformace v jednom směru, záporná ve druhém směru a třetí nulová deformace (+,-,0) => Válcování plechů a širokých pásů

Souhrn schémat hlavních napětí a deformací se nazývá „mechanické schéma deformací“. Z kombinace obou druhů schémat vyplývá celkem 27 mechanických schémat (MSD). Vzhledem k omezenějšímu počtu schémat hlavních napětí při tváření se ani těchto 27 schémat nepoužije. Příklad některých MSD pro tvářecí operace.



Obrázek 10 Mechanická schémata tvářecích operací: 1) Pěchování bez tření, 2) Pěchování se třením, 3) Protlačování, 4) Tažení v průvlaku [8]

2.5.2. Deformace ve tvářeném tělese [8]

Těleso vlivem vnější síly mění svůj tvar- tváří se. Pokud těleso po odlehčení získá opět původní tvar, jedná se o pružnou (vratnou) deformaci, nestane-li se tak, je to plastická (nevratná) deformace.

Deformaci, ať už pružnou nebo plastickou můžeme vyjádřit těmito způsoby:

Absolutní deformace je rozdíl rozměrů před deformací a po ní. Pěchujeme-li hranol o výchozích rozměrech h_0, b_0, l_0 na konečné rozměry h_1, b_1, l_1 , potom absolutní deformace je:

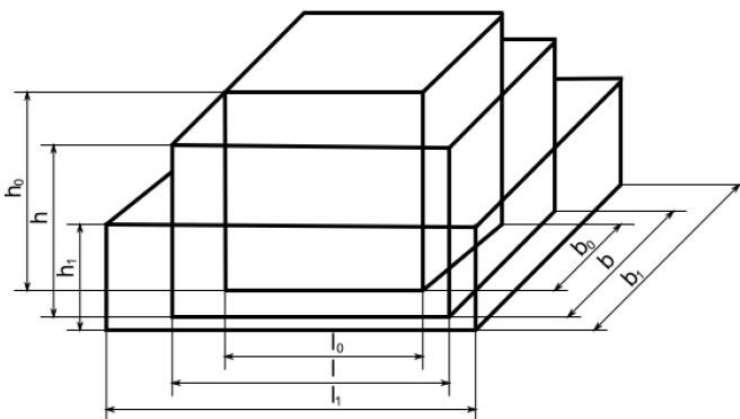
$$\Delta h = h_0 - h_1$$

$$\Delta b = b_0 - b_1$$

$$\Delta l = l_0 - l_1$$

Z praktického hlediska počítáme absolutní deformaci tak, aby byla vyjádřena kladným číslem.

V praxi se takto vyjadřuje např. úběr při válcování – rozdíl mezi vstupní a výstupní tloušťkou válcovaného polotovaru, vyjádřený v mm. Poměrná lineární deformace je definována jako podíl změny rozměru k původnímu rozměru:



Obrázek 11 Schéma tvarové a rozměrové změny hranolu při pěchování [8]

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} - \text{stlačování}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta b}{b_0} - \text{šíření}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta l}{l_0} - \text{prodlužování}$$

Skutečná neboli logaritmická deformace je odvozená na základě matematických zákonitostí, kdy se uvažuje nekonečně malá změna rozměru:

$$\lim_{\Delta l \rightarrow \infty} \frac{\Delta l}{l} = \frac{dl}{l} = d\varphi$$

Pro obecné vyjádření použijeme vztah:

$$\varphi_{1/2/3} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x} = [\ln x]_{x_0}^{x_1} = \ln \frac{x_1}{x_0},$$

kde za proměnou x dosazujeme hodnotu výšky/šířky/délky ($h/b/l$).

Skutečná neboli logaritmická deformace má obecnou platnost a je vhodná pro malé i velké deformace. V technické praxi se také vžilo vyjádření deformace prostřednictvím součinitelů deformace:

- $\gamma = \frac{h_1}{h_0}$ – součinitel stlačení
- $\beta = \frac{b_1}{b_0}$ – součinitel šíření
- $\lambda = \frac{l_1}{l_0}$ – součinitel prodloužení

Vztah mezi skutečnou deformací a poměrnou lineární deformací lze také vyjádřit takto:

$$\varphi = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = \ln(1 + \epsilon)$$

2.6. Základní zákony plastické deformace [7], [8]

1) Zákon stálosti objemu [7], [8]

Při velkých plastických deformacích je změna objemu zanedbatelná. Ke změně objemu může dojít pouze z důvodu uzavírání dutin, obzvláště při tváření lité struktury, dochází tedy ke zvýšení hustoty materiálu. Matematicky lze tento zákon vyjádřit vztahem:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0,$$

Kde $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ jsou skutečné hlavní poměrné deformace, které jsou dány vztahem:

$$\varphi_1 = \ln(1 + \epsilon_1), \text{ obdobně tak pro } \varphi_2, \varphi_3$$

A jsou definovány jako integrální součet poměrů nekonečně malých přírůstků rozměrů k základním rozměrům deformovaného tělesa v průběhu deformace:

$$\varphi_1 = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = \ln(1 + \epsilon), \text{ obdobně pro } \varphi_2, \varphi_3.$$

Shora uvedené matematické vyjádření značí, že součet skutečných (logaritmičkových) deformací ve třech hlavních směrech, kde existují pouze lineární deformace, je roven 0.

2) Zákon podobnosti [7], [8]

Při experimentálním zkoumání v modelové technice musí být splněna kromě geometrické také podobnost mechanická a fyzikální.

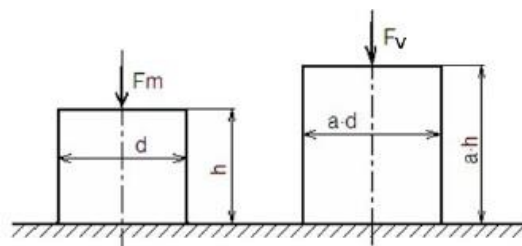
Mechanická podobnost vyžaduje

- Aby se poměry působících sil rovnaly druhé mocnině délkových rozměrů tělesa a příslušné specifické tlaky byly stejně veliké
- Součinitele tření na styčných plochách si byly rovny
- Stejnou velikost a znaménko hlavních napětí a stejné směry hlavních napěťových os v odpovídajících bodech obou těles

Fyzikální podobnost předpokládá, aby

- Obě tělesa měla stejné chemické a strukturní složení a fázový stav
- Byla stejná deformační rychlost a teplota při deformaci
- Napětí u obou těles byla rozložena obdobně

Všechny uvedené podmínky nelze v praxi zcela dodržet.



Obrázek 12 Geometrická podobnost těles [8]

Tváříme dvě geometricky podobná tělesa a lze stanovit poměr sil a prací jednoduše za předpokladu pomalého stlačování při zanedbání tření a známe-li sílu F_m ke stlačení jednoho tělesa.

$$\frac{F_v}{F_m} = a^2, \frac{A_v}{A_m} = a^3$$

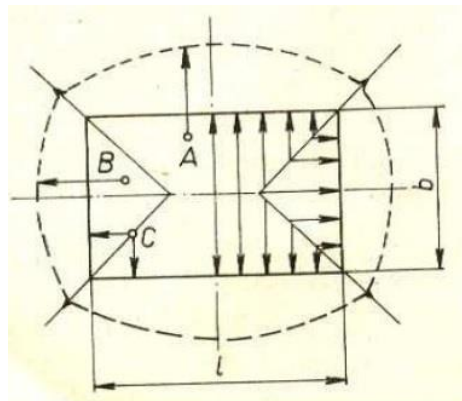
a... lineární součinitel zvětšení

F_v, F_m, A_v, A_m ... síla a práce na deformaci velkého a malého tělesa

Skutečné poměry jsou však složitější a zkoušky prokazují, že síly k lisování většího tělesa bývají poměrně nižší (působí méně ochlazovací efekt), poněvadž odpor proti přetvoření vzrůstá se zmenšováním rozměrů tělesa. Při zatěžování materiálu nad mez kluzu není závislost deformace na napětí lineární.

3) Zákon nejmenšího odporu [7], [8]

Částice materiálu se při plastické deformaci přemísťuje ve směru nejmenšího odporu. Příkladem platnosti tohoto zákona může být sledování změny tvaru pěchovaného hranolu při uvažování tření na styčných plochách nástroje a tělesa. Původně obdélníková základna hranolu má po napěchování tvar znázorněný čárkovaně. Z energetických podmínek deformace vyplývá, že energie vynaložená na trvalou deformaci se rovná práci konané podél dráhy této částice. Poněvadž tato energie je vlastně měřítkem deformačního odporu, jeho velikost závisí přímo na délce dráhy, kterou částice musí projít při přemístění tvářeného objemu. Jestliže zákon nejmenšího odporu platí, musí být příslušná energie minimální. K tomu dojde tehdy, když se bude částice přemísťovat do nové polohy



po nejkratší dráze směrem k vnějšímu obrysu tělesa. Budou to vždy směry kolmé na tento

obrys. Uvedený jev a podmínka minima energie vynaložené na přemístění částice mají za následek, že obrys příslušného řezu tělesa nabývá při určité velikosti průřezové plochy nejmenší velikost

4) Zákon nezávislosti potenciální deformační energie na mechanických schématech deformace [7], [8]

Během deformace pohlcuje těleso potenciální deformační energii, která je číselně rovna deformační práci vnějších sil působících na těleso. Měrná polohová energie na změnu tvaru je nevratná a při daných podmínkách deformace (teplota, rychlost deformace) je veličinou trvalou, nezávislou na schématu deformace.

5) Zákon pružného odlehčení plasticky deformovaného tělesa [7], [8]

Při přerušení plastické deformace odlehčením a opětným zatížením, aniž se mění charakter a způsob zatížení, diagram závislosti deformace na napětí si zachovává svůj původní tvar. V praxi to znamená, že po plastické deformaci tělesa a jeho odlehčení dochází k pružné deformaci. Proto se rozměry výkovku přesně neshodují s rozměry dutin zápusťky.

6) Zákon smykového napětí [7], [8]

Plastická deformace může nastat pouze v případě, když smykové napětí v tělese dosáhne určité hodnoty, závislé na povaze tělesa a podmínkách deformace (teplota, rychlost, stupeň deformace a schéma hlavních napětí).

7) Zákon přídavných napětí [7], [8]

Složité tvar výrobku vyžaduje při tváření určité podmínky a deformace způsobují zpravidla vznik nerovnoměrné napjatosti a následkem toho jsou nerovnoměrné deformace. Při libovolné plastické změně tvaru ve vrstvách a částicích tělesa, které směřují ke zvětšení rozměrů tělesa, vznikají přídavná napětí, která se snaží o zmenšení jeho rozměrů (tj. vznikají přídavná tlaková napětí). Ve vrstvách a částicích tělesa směřujících ke zmenšení jeho rozměrů vznikají naopak přídavná napětí, která způsobují zvětšování jeho rozměrů (tj. napětí tahová). Tato přídavná napětí nemohou být určena schématem napjatosti. Přídavná napětí zhoršují podmínky při plastické deformaci zvětšením odporu proti deformaci a snížením tvárnosti kovu. Způsobují též změnu schématu napjatosti.

Přídavná napětí mohou:

- Zůstat ve tvářeném tělese po odlehčení vnější síly v podobě zbytkových pnutí (snížení únavových a korozních vlastností, příp. problémy při obrábění)
- Uvolnit se v podobě nežádoucí plastické deformace
- Uvolnit se v podobě porušení tvářeného tělesa (trhliny, lomy)

2.7. Síly a práce potřebné k tváření

Deformační rychlost [7], [8]

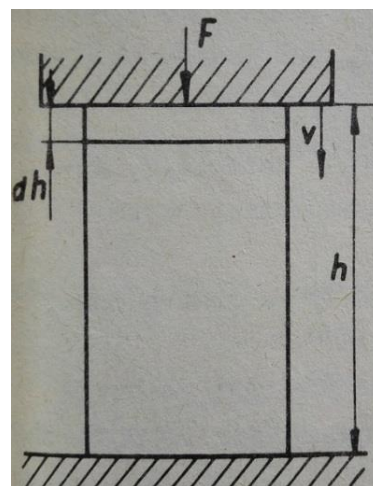
Rychlost pohybu tvářecího nástroje v je určena druhem tvářecího stroje. U bucharů činí dopadová rychlost beranu běžně 5-7 m/s, u kovací klikových lisů 0,4-0,6 m/s, u vřetenových lisů do 0,5 m/s. Tato rychlost není totožná s rychlostí, jakou se deformuje vlastní těleso. Rychlost závisí také na jeho rozměrech, jestliže se stupeň deformace vyjádří poměrnou deformací dh/h , pak poměr tohoto stupně a doby deformace dt udává deformační rychlost:

$$w = \frac{dh}{h} * \frac{1}{dt} = \frac{dh}{dt} * \frac{1}{h} = \frac{v}{s} [s^{-1}]$$

Deformační rychlost se ve skutečnosti vyjadřuje, jakou rychlostí se k sobě přibližují dva příčné průřezy. Především při tváření za tepla ovlivňuje deformační rychlost velikost deformačního odporu.

Přetvárná pevnost [7], [8]

V provozní praxi tváření napětí, kterým se dosáhne plastické deformace bez pasivních odporů je nazýváno dosud nejednotně „přetvárná pevnost“ či „přirozený přetvárný odpor“ a také se různě označuje - p , K , k_d . Toto napětí je základní jednotkou pro určení sil a prací potřebných k tváření. Jeho hodnota závisí nejen na druhu materiálu a teplotě tváření,



Obrázek 14 Deformační rychlost [7]

ale také na deformační rychlosti a stupni deformace. Pro jednoosou napjatost je totožná s mezí kluzu materiálu σ_k . Diagramy, které udávají vztah mezi tímto napětím a stupněm deformace při určité rychlosti deformace jsou křivky zpevnění a poskytují názor o plastických vlastnostech různých kovů. Experimentálně bylo potvrzeno, že křivky zpevnění sledují mocninový zákon

$p = a * \varphi^n$, kde značí: $\varphi = \ln \frac{h_0}{h}$ stupeň deformace, a – přetvárnou pevnosti při $\varphi=1$.

Deformační odpor [7], [8]

Při tváření je materiál deformován vnějšími silami prostřednictvím tvářecího nástroje. Tyto síly vyvolají v materiálu hlavní normálové napětí σ_1 . Protože je tok materiálu při deformaci usměrňován nástrojem, ve směru nejmenšího odporu vzniká hlavní napětí normální σ_3 a ve směru největšího odporu p_0 , které je rovno napětí σ_1 . Toto napětí p_0 působí proti napětí hlavnímu a proto je nazýváno deformačním odporem. Lze říci, že deformační odpor je vlastně součtem přetvárné pevnosti a třetího hlavního normálového napětí.

Odpor kovu proti plastické deformaci je proto důležitou mechanickou vlastností a je v určitém vztahu k napětím vyvolaným vnějšími silami. U monokrystalů stanovuje velikost deformačního odporu kritické smykové napětí, které vyvolá translaci nebo dvojčatění. Deformační odpor se zde shoduje s krystalografickou mezí kluzu. U polykrystalických látek je jeho měřítkem především napětí na přechodu pružného a plastického stavu tělesa. Při daných podmínkách deformace má určitou velikost, která je závislá na fyzikálních vlastnostech materiálu. Deformační odpor závisí na těchto hlavních činitelích:

- Teplotě a rychlosti deformace
- Vyvolaném stavu napjatosti
- Chemickém složení a fyzikálním stavu materiálu
- Stupni deformace, je-li tato provázena zpevňováním
- Vnější třením mezi plochami deformovaného materiálu a tvářecího nástroje

Při tváření za studena, kdy dochází během deformace ke zpevňování materiálu, stoupá deformační odpor. Při výpočtech proto uvažujeme jeho průměrnou hodnotu z počátku a konce deformace.

Při tváření za tepla, kdy ke zpevňování nedochází, předpokládáme, že se jeho hodnota při menších stupních deformace nemění.

K experimentálnímu zjišťování hodnot deformačního odporu slouží nejčastěji pýchovací zkoušky, nebo jiné zkoušky technologicky přizpůsobené podmínkám tvářecích pochodů, které zahrnují také vliv vnějšího tření. Deformační odpor se vyjadřuje nejčastěji velikostí tzv. specifického deformačního odporu [MPa]. Při zkouškách kování na bucharu velikostí poměrné deformace, nebo tvrdosti zkoušeného materiálu.

Specifický deformační odpor se zjišťuje měřením sil buď na výrobních, nebo vhodně upravených zkušebních zařízeních. Snahou je, aby se zaznamenaly také specifické podmínky tvářecího pochodu. Odpor je pak dán vztahem naměřené tvářecí síly a průmětu dotykové plochy nástroje kolmého na výslednici tvářecích sil- tím se získá vlastní průměrný tlak p_0 :

$p_0 = \frac{F}{S}$ [MPa], kde značí: F – tvářecí sílu, S- dotykovou plochu.

Deformační odpor je závislý na stavu napjatosti a na vzájemném poměru hlavních napětí. Za předpokladu, že mezi složkami hlavních normálových napětí platí vztah $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, je největší hlavní smykové napětí dáno vztahem:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Toto vyvolá plastickou deformaci, jestliže dle hypotézy stálosti maximálního smykového napětí platí podmínka plastičnosti: $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_k$, nebo dle energetické podmínky $\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k = 1,155 * \sigma_k$. Největší normální napětí σ_1 je tlakovým napětím na dotykových plochách nástroje a materiálu. Uvažujeme-li namísto σ_1 , které je v různých místech různě velké jeho průměrnou hodnotu, získáme průměrný měrný tlak, jehož velikost je rovna specifickému deformačnímu odporu p_0 :

$p_0 = k_\sigma * \sigma_k + \sigma_3$, kde k_σ je ukazatel stavu napjatosti, jehož maximální hodnota je 1,155.

Dle hypotézy stálosti maximálních smykových napětí, kde $k_\sigma=1$, má rovnice tvar $p_0 = \sigma_k + \sigma_3$.

Z těchto rovnic je patrné, že při obecném stavu napjatosti je velikost specifického deformačního odporu vyjádřena v závislosti na mezi kluzu a na absolutně nejmenším hlavním napětí σ_3 , které zachycuje vliv tření.

Největší vliv na velikost deformačního odporu má tvářecí teplota. Důvodem rychlého poklesu deformačního odporu se stoupající teplotou je zvětšování pohyblivosti atomů, které se pak snadněji vychylují ze svých rovnovážných poloh. Křivky závislosti nemají však zcela monotónní průběh, především v oblasti fázových přeměn. Pro široký interval teplot vyhovuje exponenciální závislost, podobná jakou udává Kornakovův teplotní zákon pro mechanické vlastnosti:

$M = M_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$, kde značí: M, M_0 – mechanické vlastnosti při teplotách t , ev. t_0
 α – teplotní koeficient (závisí na chemickém složení, fyzikálních vlastnostech a podmínkách deformace)

Pro zjištění velikosti deformačního odporu při tváření za tepla je možno uvést vztah:

$$p_0 = p_{0t} * e^{\beta*(1-\tau)},$$

kde značí: p_0 – deformační odpor při homologické teplotě $\tau = \frac{T_0}{T_t}$

p_{0t} – deformační odpor při teplotě tavení T_t [°K]

β – teplotní koeficient $\beta = -b * T_t$, $b = \alpha$

Pro obvyklý rozsah tvářecích teplot ocelí (1340° - 900°C) se používá deformačního odporu rovnice:

$$p_0 = p_{0t} * \left[1 + \alpha(0,9T_t - T) + \frac{\alpha^2 * (0,95T_t - T^2)}{2} \right],$$

když za hodnoty p_{0t} se dosazují hodnoty pevnosti v tahu při teplotě $0,95T_t$.

Hodnoty součinitele: pro čisté kovy $\alpha=0,008$

pro jedno a více fázové slitiny $\alpha=0,0085$

pro tuhé roztoky $\alpha=0,008-0,012$

Každý materiál má při dané tvářecí teplotě zaručenou kritickou rychlost deformace, která tvoří rozhraní, od kterého se začne projevovat vliv deformační rychlosti na hodnotu deformačního odporu. Od této rychlosti odpor s rychlostí stoupá. Výsledný účinek však ještě závisí na současně probíhajících dějích jako je difuze, relaxace, změna mechanických vlastností apod.

Největší vliv má rychlost deformace při teplotách, kdy dochází k úplné rekrytalizaci tvářeného kovu, tedy kdy se neprojevuje zpevňování kovu. Účinek rychlosti na odpor se zpravidla se stoupající teplotou zvyšuje. Při značně vysokých rychlostech je odvod tepla do okolí malý. Značná jeho část se využije na zvýšení teploty tvářeného kovu, což má za následek snížení deformačního odporu (řádově při $w \approx 10^4 - 10^5 \text{ s}^{-1}$). Obdobně je tomu při tváření za studena, kdy dochází ke zpevňování materiálu. Deformační odpor stoupá, ale ohřátí kovu akumulovaným teplem způsobuje naopak snížení odporu. Proto je při tomto způsobu tváření zvýšení deformačního odporu malé. Značné zvýšení odporu lze pozorovat při dynamickém účinku tvářecí síly, kdy rychlost rázu dosahuje hodnot vyšších jak 10^2 m/s .

Při obvyklých tvářecích pochodech splňuje pro velmi široký rozsah deformačních rychlostí ($10^{-6} - 10^2 \text{ s}^{-1}$) dobře vztah:

$$\frac{p_0}{p_{00}} = \left(\frac{w}{w_0} \right)^\beta,$$

Kde značí: p_0 – deformační odpor při rychlosti w

p_{00} – deformační odpor při rychlosti w_0

β – rychlostní koeficient (vzrůstá se stupněm deformace, závisí na fyzikálních vlastnostech materiálu a míře jeho zpevňování, nezávisí na rychlosti při tváření za studena, na homologické teplotě závisí přibližně lineárně)

Při tváření za studena, kdy je deformační pochod provázen zpevňováním, se používá vztah:

$$p_0 = p_{00} + z * \ln \frac{w}{w_0}, \text{ kde značí: } z - \text{koeficient zpevňování, určený experimentálně}$$

Tvářecí teplota, deformační rychlost a stupeň deformace působí však na velikost deformačního odporu současně. Jejich společné působení je velmi složité a tím i příslušné matematické vztahy. Základní mírou přirozeného deformačního odporu je mez pevnosti z tahové zkoušky.

Deformační odpor lze vypočítat s ohledem na uvažované vlivy ze vztahu:

$$p_0 = R_m * n_T * n_c * n_d ,$$

kde značí: R_m – mez pevnosti při statické zkoušce tahem a rychlosti deformace $w_0 \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, extrapolovaná na teplotu tavení T_1 [°K]. Lze za ni dosazovat tyto hodnoty:

3,0 MPa u chemicky čistých kovů

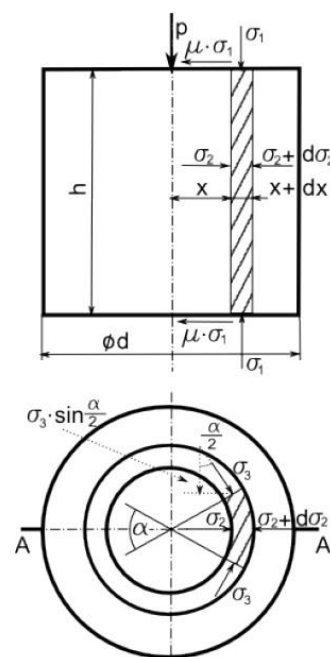
3(1+2C) MPa u uhlíkových ocelí s obsahem C%

3(1+2C)*M MPa u slitinových ocelí, kde hodnota M je součinitel vyjadřující souhrnný vliv legur

n_T , n_c , n_d – koeficienty, vyjadřující vliv teploty, rychlosti a stupně deformace. Nejsou to konstanty, ale jsou závislé na činitelích, které zachycují.

Velikost deformačního odporu ovlivňuje také tření, které vzniká mezi plochami tvářecího nástroje a tvářeného polotovaru. Tím je také ovlivněna celková tvářecí síla. Vliv tření lze objasnit na příkladu přibližného zjišťování tlaků na plochách při pěchování válce mezi rovnými kovádky.

„V praxi se technologie pěchování využívá jako základní tvářecí operace volného kování při výrobě kruhů a pouzder a jako mezioperační pěchování pro zvýšení prokování nebo zmenšení anizotropie mechanických hodnot. Při výpočtu se využívá přibližných rovnic rovnováhy a podmínky plasticity. Vnější síly od tvářecího nástroje (kovadel) – dáváme do rovnováhy se silami vnitřními. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení napětí a deformace v tělese je nutné těleso charakterizovat pomocí vytknutého prostorového elementu o nekonečně malé tloušťce. V našem případě válcové těleso reprezentuje element ve tvaru dutého válce o tloušťce dx a šířce vymezené středovým úhlem α . Na element o tloušťce dx , poloměru x a výšce h působí napětí σ_1 , vyvolané tvářecím nástrojem. V radiálním směru působí na element napětí σ_2 . Toto napětí je dáno odporem materiálu, který „se brání“ plastické deformaci, směřující ke zvětšení průměru tělesa. V tangenciálním směru působí napětí σ_3 . Vzhledem k osové symetrii válce dále platí, že radiální a tangenciální napětí jsou co do velikosti shodná: $\sigma_2 = \sigma_3$ [8].“

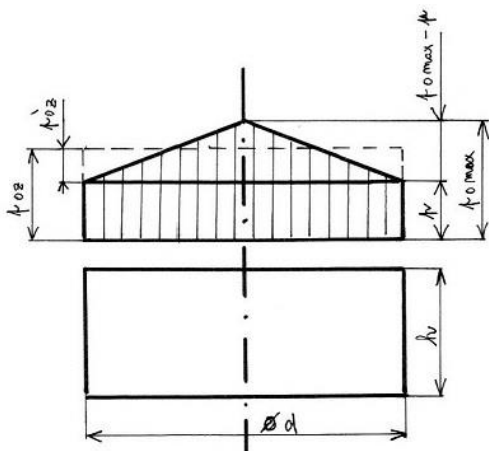


Obrázek 15 Pěchování kruhové desky mezi rovnými kovádky [8]

Z rovnováhy sil na zvolený vyšrafovaný element a podmínky plasticity lze přibližně určit měrný tlak v místě o hodnotu x a od středu válce – průmět sil do roviny A-A:

$$\sigma_2 * x * \alpha * h - (\sigma_2 + d\sigma_2)(x + dx) * \alpha * h + 2 * \sigma_3 * \sin \frac{\alpha}{2} * h * dx = 2 * p * \mu * x * \alpha * dx$$

Jelikož úhel α je malý, lze psán $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$ a dále proto, že jde o osově symetrickou deformaci, je napětí $\sigma_2 = \sigma_3$. Touto úpravou získáme:



$$-d\sigma_3 * x * \alpha * h = 2 * p * \mu * x * \alpha * dx \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -d\sigma_3 = \frac{2 * p * \mu * dx}{h}$$

Po úpravách dostaneme konečný tvar: $-d\sigma_3 = \frac{2 * p * \mu}{h} * \left(\frac{d}{2} - x\right)$.

Při podmínce plasticity $\sigma_1 - \sigma_3 = p$, je σ_1 deformační odpor, působící na plochu kovadla a lze psát $p_0 = p + \sigma_3$ a po dosazení:

$$p_0 = p * \left[1 + \frac{2 * \mu}{h} * \left(\frac{d}{2} - x\right)\right],$$

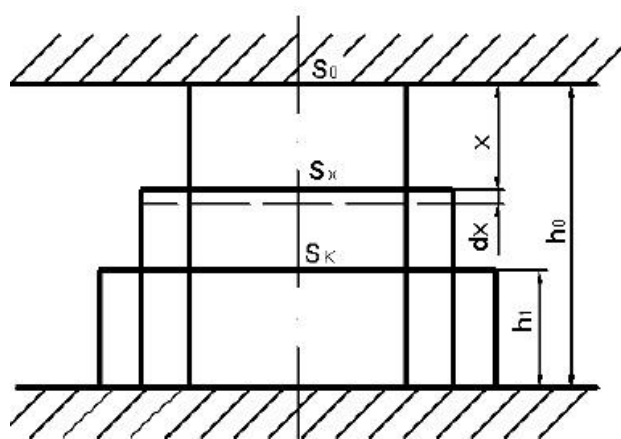
Obrázek 16 Zdánlivě rovnoměrně rozložený tlak při pěchování [8]

Upravením: $p_{0z} = p \left(1 + \frac{\mu * d}{3 * h}\right)$.
 Tento Sieblův vztah je pro svou jednoduchost a pro rychlou orientaci nejčastěji v praxi používán (při kování pěchováním) pro výpočet síly, potřebné na vykonání operace pěchováním. Skutečné rozdělení napětí se zřetelem na působící tření je však podstatně složitější. Velikost deformační síly je dána v podstatě součinem přetvárného odporu a průmětu plochy polotovaru do roviny kolmé ke směru působící na vnější sil:

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} * p * \left(1 + \frac{\mu * d}{3 * h}\right),$$

součinitel tření μ se volí při tváření za tepla cca 0,3.

2.8. Deformační práce (přetvárná práce) [7,8]



Obrázek 17 Práce při pěchování tělesa [8]

Obecný vztah pro práci, která je potřeba k tváření, lze odvodit z jednoduchého případu, pěchování polotovaru mezi plochými rovnoběžnými kovadly. Za předpokladu menšího stupně přetvoření, kdy se deformační odpor výrazně nemění a můžeme počítat s určitou jeho střední hodnotou a konečný tvar bude opět válcového tvaru, je možno vypočítat ideální deformační práci podle obrázku touto úvahou:

Elementární práce dA při stlačení polotovaru ve vzdálenosti x od počátku pýchování o hodnotu dx :

$$dA = F_x * dx = S_x * p_0 * dx$$

kde značí: S_x – průřez ve vzdálenosti x

p_0 – přetvárný odpor

Velikost průřezu S_x v kterékoliv poloze lze vyjádřit z podmínky stálosti objemu pýchovaného polotovaru

$$S_x = \frac{V}{h_0 - x}, \text{ dosazením za } S_x : dA = p_0 * \frac{V}{h_0 - x} * dx .$$

Integrací v mezích $x=0$ a $x=h_0-h$ získáme vztah pro deformační práci při pýchování polotovaru z původní výšky h_0 na konečnou výšku h , za předpokladu, že přetvárný odpor se nemění a má proto střední hodnotu p_{0s} :

$$A_{id} = p_{0s} * V * \ln \frac{h_0}{h} = p_{0s} * V * \varphi - \text{ tento vztah v podstatě platí pro všechny způsoby tváření}$$

Poměr ideální deformační práce A_{id} ke skutečné A_{sk} se nazývá deformační účinnost a značí se η_d : $\eta_d = \frac{A_{id}}{A_{sk}}$

Ke stanovení deformační práce s ohledem na proměnný přetvárný odpor, lze také použít empirické vztahy, např.: dle Storoževa, kde h_0 , d_0 , h , d jsou rozměry tělesa před a po pýchování.

3. Tváření za studena a za tepla – charakteristika a rozdělení metod [7,8]

Odlíšné tvářecí pochody se obvykle člení podle svých charakteristických znaků a podmínek tváření. Nejčastěji se dělí podle:

- 1) Teploty tváření a tepelného efektu tvářecího pochodu
- 2) Dosažitelného stupně deformace
- 3) Jak působí vnější síly na tvářený materiál, ev. jaký je tvar výchozího polotovaru

Ad 1) Plastické vlastnosti a odpor proti deformaci se značně mění s teplotou.

Tváření za studena zahrnuje válcování, lisování, tažení, ohýbání, ražení a kalibraci, atd.

Tváření za tepla se uskutečňuje především válcováním, lisováním, kování a protlačováním.

Množství tepla, které se vytvoří přeměnou části energie vynaložené na deformační proces, záleží na rychlosti deformace a velikosti deformačního odporu. Toto teplo se většinou zčásti hromadí ve tvářeném kovu a zvýší jeho teplotu a zčásti odvede do okolí. Podle toho, jaké množství vyvinutého tepla se vyčerpá na zvýšení teploty kovu, lze mluvit o tvářecím procesu izotermickém (kdy se všechno teplo odvede do okolí), adiabatickém (všechno vyvinuté teplo se spotřebuje na zvýšení teploty tvářeného materiálu) a polytropickém (je nejčastější – část tepla se spotřebuje na zvýšení teploty kovu a část se odvede do okolí).

Ad 2) Kvalitativní metoda, která by umožnila hodnotit různé tvářecí pochody z hlediska racionálnosti po stránce technické a ekonomické, v praxi neexistuje. Toto kvalitativní

hodnocení je však důležité hlavně při tváření za tepla, kde je třeba přihlížet kromě k dosažitelnému stupni deformace, specifickým tlakům, také k energetické účinnosti procesu. Poněvadž řadu výrobků lze vyrábět různým způsobem (válcováním, kování, apod.) je např. vhodným společným znakem správnosti různých způsobů tváření za tepla poměr velikosti volné plochy tvářeného tělesa k ploše, která je v dotyku s pracovní plochou nástroje (=objem, který je v pásmu deformace). Tento poměr umožňuje zachytit největší stupeň deformace omezený vznikem prvních trhlin, které vznikají především na volném povrchu tělesa. Podle toho lze rozdělit metody tváření za tepla do tří skupin:

- Způsoby tváření kde volný povrch je větší než povrch v dotyku s nástrojem. Střední specifický tlak mezi nástrojem a materiálem je ve srovnání s velikostí vybraných napětí malý. I když k deformaci není třeba velkých sil, je stupeň deformace omezen nebezpečím vzniku trhlin jako důsledek toho, že normálová tahová napětí na volném povrchu dosáhla hodnot meze pevnosti materiálu (např. volné kování mezi plochými kovádky)
- Způsoby tváření, u nichž je volný povrch tvářeného objemu stejně velký jako povrch ve styku s nástrojem. Normální tahová napětí na povrchu nedosahují velkých hodnot a střední specifický tlak ve srovnání s vyvolanými napětími je velký, proto potřebné tvářecí síly musí být větší (volné kování v tvarových kovádlech, kování v otevřených zápustkách)
- Způsoby tváření, kde volný povrch tvářeného objemu je menší než povrch, který je v dotyku s plochou nástroje, jsou charakteristické vysokými středními specifickými tlaky. Vzniklá malá tahová pnutí na volném povrchu nebývají původem trhlin. Tvářecí síly jsou velmi vysoké (kování v uzavřených zápustkách, válcování v uzavřených kalibrech, protlačování, tažení průvlakem). Dosažený stupeň deformace je vysoký.

Ad 3) Podle toho, jakým způsobem působí vnější síly na tvářený materiál, se rozeznává válcování podélné a příčné, tažení průvlakem, protlačování, kování a lisování volné a zápustkové, ohýbání, kalibrování, tváření vysokými energiemi atd.

Dle tvaru výchozího polotovaru a z toho také vyplývajícího stavu napjatosti a deformace se dělí tváření na plošné a objemové.

3.1. Tváření za studena – charakteristika a podstata metod objemového tváření [7]

Tváření za studena je charakteristické tím, že probíhá v podstatě pod rekrystalizační teplotou tvářeného materiálu s doprovodným jevem zpevňování.

Převážně působící tlak na materiál je vyvozen válcovacím, tažným zařízením nebo lisem.

Válcování za studena se soustřeďuje především na výrobu tenkých plechů a tažení na výrobu drátů, tyčí, trubek a profilů konečných rozměrů.

Další metody tváření, které zahrnují převážně zpracování plechů ve formě pásů, svitků, tabulí na hotové výrobky se dělí dle ČSN do 5 skupin:

- Stříhání
- Ohýbání

- Tažení
- Ražení
- Protlačování

Kromě těchto základních způsobů existuje řada různých kombinací a obměn uvedených metod. Součásti vyrobené tvářením za studena se vyznačují z hlediska technického rozměrovou přesností, kvalitním povrchem, dobrými mechanickými vlastnostmi, složitostí dosahovaného tvaru a z hlediska ekonomického umožňuje tvářením za studena vysoké využití materiálu, velkou výrobnost zařízení při využití mechanizace a automatizace a nízkém podílu pracovních sil. Optimální tvary součástí z technologického hlediska vyžadují však úzkou spolupráci konstruktéra a technologa, což je důležité především ve velkosériové a hromadné výrobě.

3.1.1. Výroba tenkých plechů válcováním za studena [7]

Tento způsob tvářením umožňuje vyrábět plechy o tloušťce 2,5 do 0,1 mm i tenčích, s kvalitním povrchem, přesnými rozměry a zlepšenými mechanickými vlastnostmi. Technologický pochod je závislý na druhu materiálu, finálním výrobku a jeho povrchové úpravě.

Polotovarem jsou pásy válcované za tepla, z nichž se mořením odstraní okuje. Válcování probíhá buď na reverzních válcovacích stolicích, nebo spojitých tratích, které mají 4 nebo 5 kvarto stolic. Po válcování se svitky plechů buď chemicky nebo elektrochemicky čistí od zbytků oleje a nečistot (např. pro pocínování), nebo se žíhají bez čištění (auto plechy) k odstranění vnitřních pnutí a docílení požadované struktury. Vyžiháný plech dále jde do hladicí stolice a dělicího agregátu, kde je dělen na potřebné rozměry, nebo je v různých zařízeních povrchově upravován. Podle druhu použité trati činí válcovací rychlost až 35 m/s. Zvláštním výrobkem při válcování za studena jsou folie s (tloušťkou menší jak 0,1mm), které se především uplatňují v elektrochemickém průmyslu, obalové technice apod. Většina folií se v současné době válcuje z hliníku, s tloušťkou do 0,005 mm. Výchozím polotovarem je odlitá hliníková deska o tloušťce asi 90 mm, která se po žihání (450°C) redukuje válcováním určitým počtem úběrů na tloušťku 10 mm. Po následném opětovném žihání a redukcí na tloušťku 1 mm se opět žihá. Po oříznutí okrajů se válcováním na speciálním duu s leštěnými válci získá tloušťka 0,03 mm a pás se navíjí na buben. Po odstranění nečistot a oleje promýváním v benzínové lázni se válcují 2 folie na sobě opět na tloušťku 0,02 mm (tzv. dublování). Získaná folie o tloušťce 0,1 mm se žihá. Takto se dalším „dublováním“ získá folie až 0,005 mm. Konečnou operací po žihání je leštění na válcovací stolicí a navíjení folie spolu s tenkým papírem proti poškození.

3.2. Tvářením za studena [8]

Pro procesy tvářením za studena je charakteristické zpevnování. U oceli se děje zpravidla za teplot nižších než 0,2 až 0,3 $T_{tav.}$, tj. pod teplotami uzdravovacích procesů. Při tvářením za studena, kdy základním mechanismem plastické deformace je dislokační skluz, dochází při pohybu dislokací ve skluzových rovinách k jejich interakci s překážkami v mřížce, zejména se substitučními atomy, vakancemi a jinými dislokacemi. Také přítomnost jiných fází ovlivňuje zásadním způsobem dislokační skluz, přičemž závisí na velikosti, tvaru a rozložení těchto fází.

Ze začátku zatěžování (tváření) probíhá deformace skluzem jen v zrnech s nejnvhodnější

orientací vzhledem ke směru zatížení. Během interakce dislokací s překážkami dochází ke vzniku dislokačních zdrojů, z kterých vznikají další dislokace. Hustota dislokací (celková délka dislokací v jednotce objemu - mm/mm^3) roste, přičemž smykové napětí, potřebné pro pohyb dislokací v mřížce s takto zvýšenou hustotou dislokací je nutno zvyšovat. Účinkem rostoucího napětí se i v zrnech s méně příznivou orientací začnou aktivovat další skluzové systémy, takže každé zrno se deformuje do tvaru určeného deformací jeho sousedů.

Dislokační skluz se postupně stává obtížným, odpor proti skluzu roste,

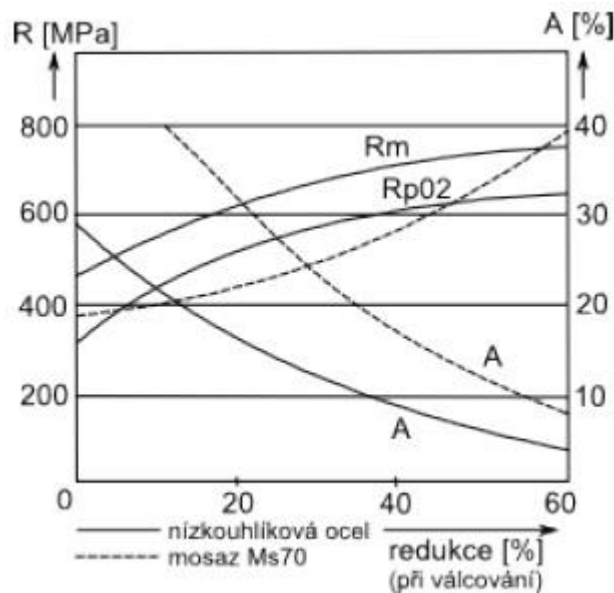
až do doby, kdy žádné další dislokace nejsou schopny mřížkou projít a začnou se hromadit před překážkami, nejčastěji na hranicích zrna nebo u hrubých fází. Takto vzniká zárodek trhliny a materiál se jeví jako křehký. Existuje řada modelů, které popisují chování dislokací v reálné krystalické mřížce (viz. fyzikální metalurgie). Výsledkem těchto procesů je zpevňování materiálu, které se projevuje:

- zvýšením meze kluzu a meze pevnosti v tahu, přičemž mez kluzu roste rychleji než mez pevnosti
- snížením tažnosti
- změnou fyzikálních, elektrických a magnetických vlastností.

Úplné vyčerpání plastických vlastností je charakterizováno tím, že mez kluzu a mez pevnosti jsou totožné při nulové tažnosti. Mez pevnosti (a tedy i kluzu) jsou i několikanásobně vyšší než před tvářením (až o cca 300%), oblast pružných deformací je značně široká. Další tváření není možné, pro obnovení plastických vlastností je nutné žíhání (rekrytalizační). Tváření za studena je často závěrečnou tvářecí technologií, kdy získáváme přesné výrobky s dobrou úrovní mechanických vlastností (pevnost, pružnost, houževnatost, odolnost proti únavě a korozi). Příklad změny mechanických vlastností (meze pevnosti a tažnosti) nízkouhlíkové oceli a mosazi po tváření za studena je vidět na obrázku.

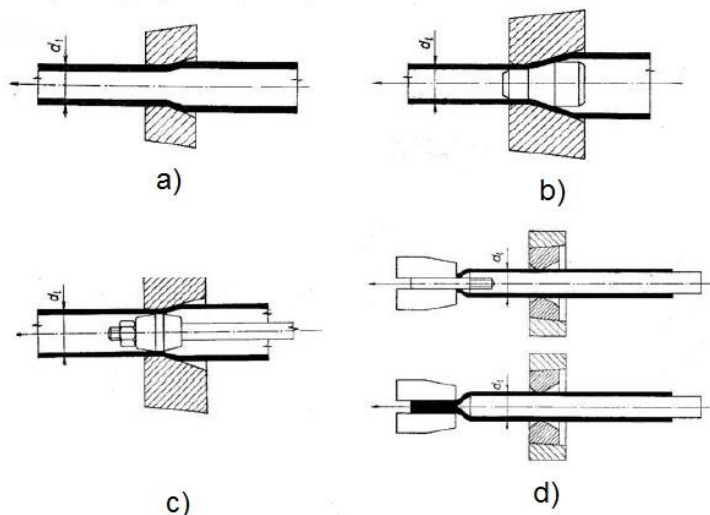
3.2.1. Tažení trubek, profilů a tyčí [7]

Pro tažení bezešvých trubek a profilů, které se na rozdíl od drátu táhnou v konečné délce, se používá přetržitý proces. Válcováním a tažením za studena lze získat tenkostěnné trubky o průměru 1-250 mm s tloušťkou stěny 0,1-3mm, ve speciálních případech válcováním za studena průměru až 250-400 mm a tažením do průměru 0,3mm.



Obrázek 18 Změna mechanických vlastností po válcování za studena [8]

Polotovarem jsou za tepla vyrobené trubky, které se žíhají, moří a po odstranění vad se hrotují, mastí nebo fosfátují ke snížení tření. Trubky se běžně vyrábějí kombinovaně válcováním a tažením. Po válcování se trubky žíhají a rovnají na lise nebo v rovnačce a upravují se jejich konce. Nejvíce se používá dvouválcová stolice (používají se však také válečkové s plovoucími válci nebo planetové stolice) s periodickým režimem pohybu odvozeného od klikového mechanismu. Proces válcování se děje na pevném trnu, který je uložen v zářezu kalibru válců, které mají proměnný průřez. Výchozí rozměr kalibru je roven vnějšímu průměru trubky. Stolice se konstrukčně liší od normální stolice pracující za tepla tím, že se válce pohybují s rámem a trn je pevný. Výhoda válcování spočívá v možnosti užití velkého stupně deformace při jednom průchodu kovu válci a odpadá tím proces mezižhání, moření a další nutné operace.



Obrázek 19 Způsoby tažení trubek [8]

Tažení trubek za studena na tažných stolicích se provádí různými způsoby.

- a) Průvlečné tažení
- b) Tažení na uchyceném trnu
- c) Tažení na volném trnu
- d) Tažení na tyči

3.3. Technologie tažení – základy [7]

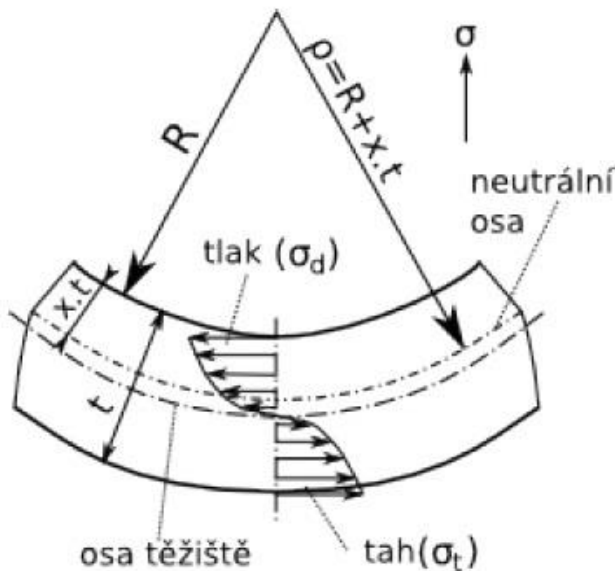
Tažení drátu

Ocelový drát se před vlastním tažením zbaví okují mořením, mechanickými kartáči, hydraulickým proudem nebo otryskáním, elektrochemickým mořením. Po moření následuje upravení povrchu nanesením speciální vrstvy jako podkladu pro mazivo (pasivace povrchu poměděním a fosfátováním) a vrstvy z vápence, tekutého skla nebo boraxu.

Ke zmenšení značného tření, zábraně zadírání a poškození průvlatky, ke zlepšení kvality povrchu výrobku je třeba užít vhodných mazacích prostředků. Používá se směsi tuků živočišného a rostlinného původu, minerálních tuků, různých druhů mýdel, anorganických maziv. Lze také použít měkkých kovů jako mazadla. Upravený válcovaný drát se táhne na drátotazích jednoduchých, vícenásobných, které umožňují tažení drátu několika za sebou uspořádanými průvlatky současně (až 25 průvlatků) s redukcí plastického materiálu až 96%, bubnových, s protitahem různého provedení a konstrukce. Tato zařízení jsou doplněna řadou pomocných zařízení (hrubovačky, navíječky, převíječky, odporové svářečky drátu, rovnačky, balící stroje apod.).

Činná část tažného nástroje – průvlaku se skládá z mazacího kužele (40-80°), tažného pracovního kužele (10-15°), kalibračního válce a výstupního kužele (60-85°). Průvlaky se zhotovují z nástrojových ocelí, slinutých karbidů a diamantu.

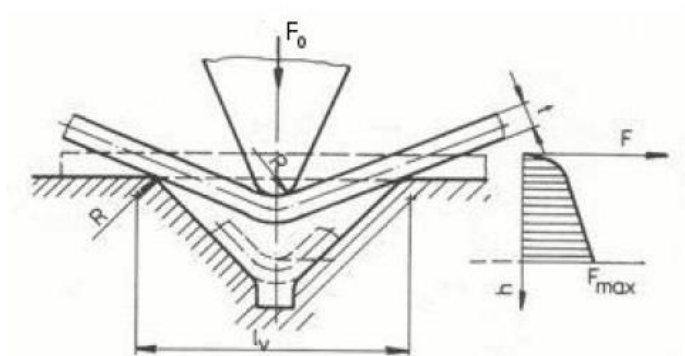
3.4. Ohýbání [7], [8]



Obrázek 20 Rozložení napětí při ohybu [8]

Ohýbání je pružně plastická deformace, která je způsobená momenty vnějších sil. Při tomto procesu tváření je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran. Zasahuje poměrně malý objem polotovaru, v němž napětí a přetvoření mění silně velikost a směr. Vzniklé tvary jsou rozvinutelné. Vrstvy (vlákna) kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány a zkracovány a roztahovány ve směru příčném. Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se roztahují a prodlužují v podélném a stlačují v příčném směru. Mezi prodlouženými a zkrácenými vrstvami je vrstva neutrální, jejíž délka se během ohýbání nemění. Neutrální vrstva neprochází středem průřezu (viz. Obrázek).

Ohyb do tvaru V [7], [8]



Obrázek 21 Síly při ohybu do tvaru "V" [8]

Ohýbaný výrobek se zjednodušeně považuje za nosník na dvou podporách a je zatížen silou uprostřed obou podpor. Průřez materiálu je ve vzdálenosti x od podpory namáhán ohybovým momentem $M_o = F_o \frac{x}{2}$. Kde F_o je působící síla. Vzroste-li moment tak, že v krajních vláknech dosáhne napětí na mez kluzu, začne trvalá deformace součásti. Tento stav nastane v místě maximálního

momentu pod působištem síly F_o , která dosáhne hodnoty:

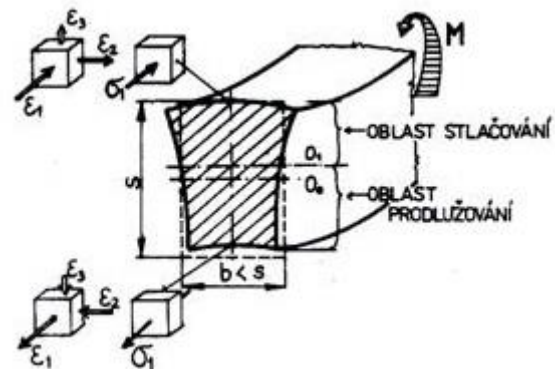
$$F_o = \frac{4 \cdot W}{l_v} \cdot R_e.$$

Kde značí: W... průřezový modul, l_v ... závislost podpor, R_e ... mez kluzu materiálu

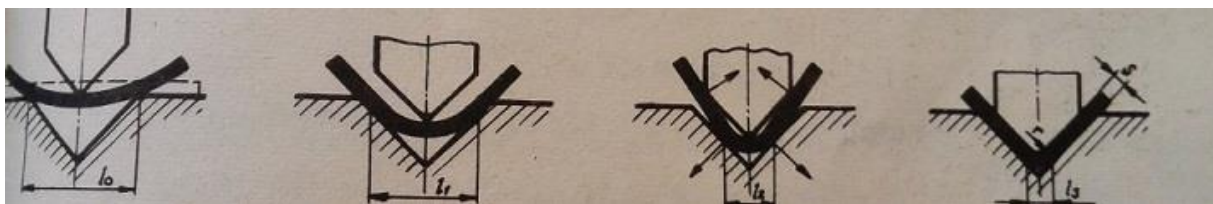
Další zvětšování síly F_o způsobuje rozšiřování trvale přetvořené oblasti jak do hloubky, tak směrem k podporám. V místě ohybu vykazuje průřez tři pásma:

- a) Pásma pružných deformací (kolem neutrální osy) m které je příčinou tzv. dopružování ohýbané součásti
- b) Vnější pásma s trvalým prodloužením
- c) Vnitřní pásma s trvalým spěchováním

U úzkých pásů jde o prostorové přetvoření, poněvadž se kromě uvedených rovinných deformací objevuje deformace průřezu. U širokých pásů k tomuto nedochází, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. Na velikost napětí a deformace má také vliv typ ohybu – zda jde o malý poloměr zakřivení při velkém stupni přetvoření nebo opačně. Příklad průběhu ohýbání je zobrazen na obrázku.



Obrázek 22 Deformace průřezu ohýbané součásti [9]



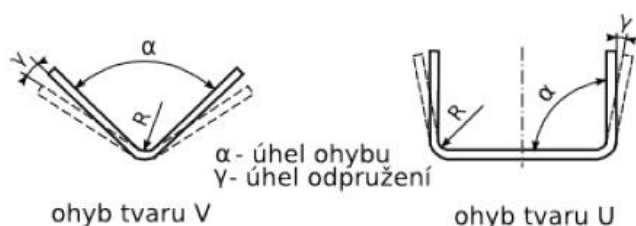
Obrázek 23 Schéma průběhu ohýbání [7]

Při výpočtu ohýbací síly je potřeba vycházet z podmínky, že moment napětí vzhledem k neutrální ose se rovná ohybovému momentu vnějších sil. Avšak v praxi je velmi obtížné stanovit přesně moment, poněvadž se neuvažují např. skutečné průběhy napětí, posuv osy atd. V praxi se tak používá zjednodušených empirických vztahů:

$$F_o = K * \frac{b * s^2}{L} * R_m$$

- Kde značí: F_o ... ohýbací síla působící uprostřed podpor
 b ... šířka plechu, s ... tloušťka plechu, L ... vzdálenost podpor
 R_m ... mez pevnosti materiálu

Odpružení ohnuté části [7], [8]



Obrázek 24 Odpružení materiálu pro ohyb do tvaru "V" a "U" [8]

Tvar ohnutého výrobku nesouhlasí v důsledku pružné deformace s tvarem ohýbacího nástroje, jelikož pominou vnější síly na ohýbané těleso, rozměry tělesa se částečně vrátí do původních – těleso odpruží. Odpružení se vyjadřuje jako úhlová odchylka „ γ “, její význam roste s délkou ohýbaných ramen. Je závislé v podstatě na druhu

materiálu, tvaru ohybu, tloušťce materiálu, poloměru ohybu a na síle působící na konci pracovního zdvihu.

4. Tvářecí stroje

Tvářecí stroje zpracovávají materiál tvářením a to za tepla i za studena. Tvářecí stroje mají v porovnání s obráběcími stroji: robustnější a tužší konstrukci, menší odpad materiálu, nízkou univerzálnost. Jejich pořízení se vyplatí pouze v hromadné výrobě. Energie potřebná k vykonání tvářecích pochodů se přivádí od motoru do pracovního prostoru ústrojím přenosu energie. Ústrojí pro přenos energie tvoří různé mechanismy, např. pákové, šroubové, ozubené, hydraulické atd. Pohonné ústrojí pak tvoří motor, ústrojí pro přenos energie („převodovka“) a pracovní prostor. Rozlišujeme uspořádání pohonu na: pohon přímý a nepřímý (akumulátorový). Podle časového působení vnějších sil na tvářené těleso lze rozlišit tvářecí stroje na:

- Lisy: rychlost nástroje $v = 0,25$ [m/s]

Deformační rychlost $v_d = 0,01 \div 25$ [s^{-1}]

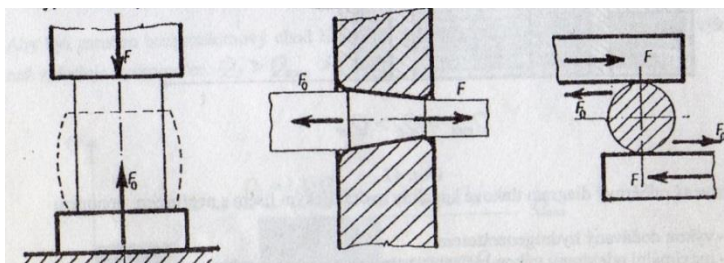
- Buchary: rychlost nástroje $v \geq 5$ [ms^{-1}]

deformační rychlost $v_d = 40 \div 160$ [s^{-1}], [5].

4.1. Základní dělení tvářecích strojů

1. Podle druhu relativního pohybu výstupního členu tvářecího stroje

1.1. Tvářecí stroje s přímočarým relativním pohybem výstupního členu (nástroje) – lisy, tažné stroje, válcovací stroje, buchary

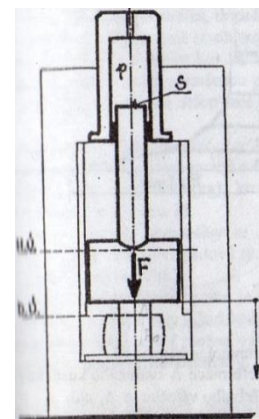


Obrázek 25 Tvářecí stroje s přímočarým pohybem výstupního členu: lisy, tažné stroje, válcovací stroje [1]

1.2. Tvářecí stroje s nepřímým relativním pohybem výstupního členu (nástroje) – zakružovací stroj, válcovací stroj, stroj přizpůsobený pro tah a ohyb. Podle způsobu realizace silových a energetických veličin stroje (Podle druhu použitého mechanismu k přenosu energie)

- Stroje silové, zdvihové a energetické

2. Podle charakteristiky tvářecího pochodu, [1]



Obrázek 26 Silový stroj - Hydraulický lis [1]

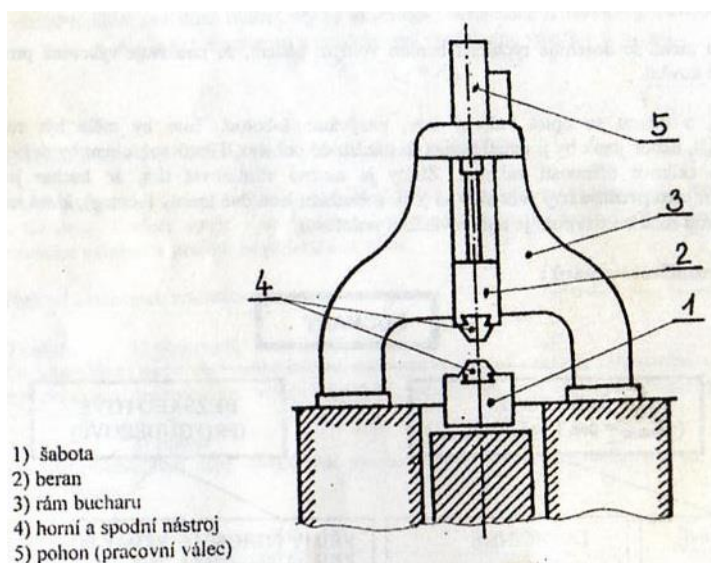
4.2. Buchary

Nejstarší kovářské stroje. K překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu využívají zcela nebo převážně kinetickou energii beranu. Tato energie se v pracovním prostoru přeměňuje v přetvárnou práci. Na tvářený polotovar dopadá beran o určité hmotnosti, který padá z určité výšky a pohybuje se rovnoměrně zrychleným pohybem až do okamžiku, kdy kovádklo upevněné na beranu dopadne na tvářený kov, v ten okamžik dochází k tváření polotovaru. „Beran po svém dopadu deformuje polotovar a koná tak přetvárnou práci. Kovadlinu, o kterou se opírá tvářený kov nazýváme šabotovou, ta by měla být nejhmotnější, aby nedocházelo k jejímu pohybu po úderu beranu“ [1].

Základní rozdělení bucharů [1]:

1) Šabotové:

- jednočinné (padací) – pohon je v činnosti pouze při zvedání beranu
- dvojčinné (s urychlením beranu) – pohon je v činnosti v obou fázích pracovního cyklu zvedání i urychlování beranu při jeho pracovním zdvihu



Obrázek 27 Šabotový buchar pro volné a zápusťkové kování [1]

2) Bezšabotové (protiúderové):

- přímý pohon (jednoho beranu)
- přímý pohon (obou beranů)

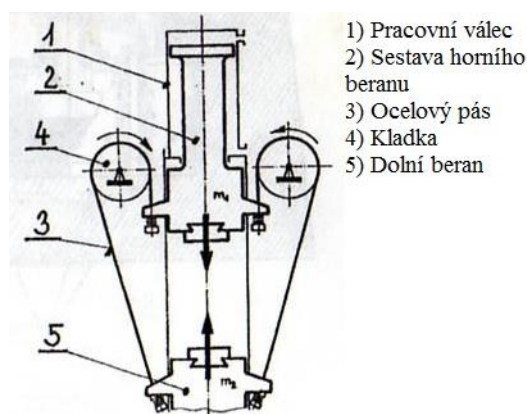
Další možnosti dělení bucharů:

3) Dle způsobu technologického použití:

- buchary pro volné kování
- buchary pro zápusťkové kování

4) Dle způsobu použitého pohonu:

- mechanické – řemenové, řetězové, lanové, deskové, pružinové
- pneumatické – jednočinné, dvojčinné
- parní a vzdušní – jednočinné, dvojčinné



Obrázek 28 Bez šabotový buchar (protiúderový) [1]

- hydraulické
- plynové
- elektromagnetické

4.3. Lisy [1], [6]

Pro překonání přetvárného odporu materiálu používají zcela, nebo převážně klidného tlaku. Tvářecí síla mezi nástroji se přenáší rámem lisu. Rychlost výstupních členů bývá zpravidla do 1 m/s.

Rozdělení lisů:

1) Dle technického použití:

- pro volné kování (hydraulické)
- pro zápusťkové kování: ohýbací, kalibrovací, kovací, razicí
- pro rovnání
- pro paketování
- pro vytlačování
- a další

2) Dle tvaru stojanu (rámu)

- Jedno stojanové otevřené „C“
- Dvou stojanové otevřené „CC“
- Dvou stojanové uzavřené „O“, „A“
- Sloupové rámy
- Skříňové
- A další

3) Dle způsobu vyvozování síly

2.1. Mechanické: vřetenové, klikové, výstředníkové, kloubové

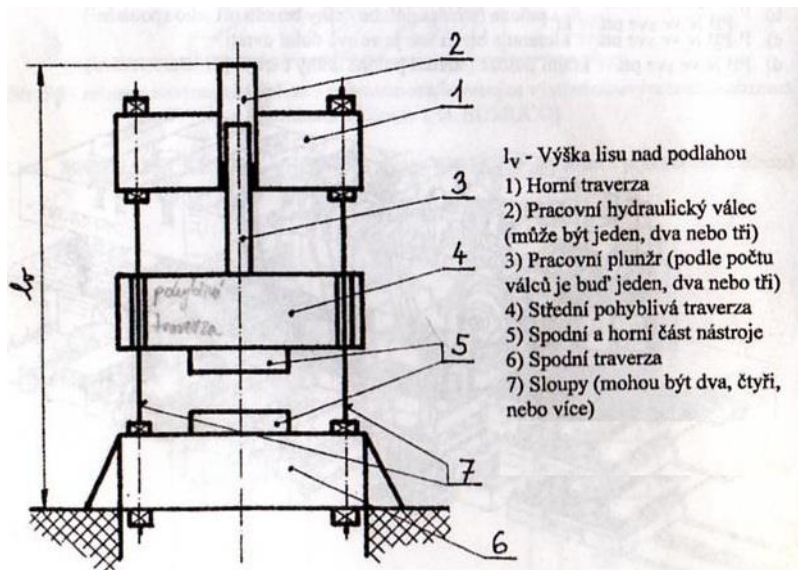
2.2. Mechanicko-hydraulické

2.3. Hydraulické lisy:

- s akumulátorovým pohonem
- s multiplikátorovým pohonem
- s přímým pohonem

4.3.1. Hydraulické lisy [1]

„Lis, u něhož je pracovní síla na beranu nebo pohyblivé traverze vyvozována hydraulickým převodem tlakové energie pracovní kapaliny z energetického zdroje“ [1].



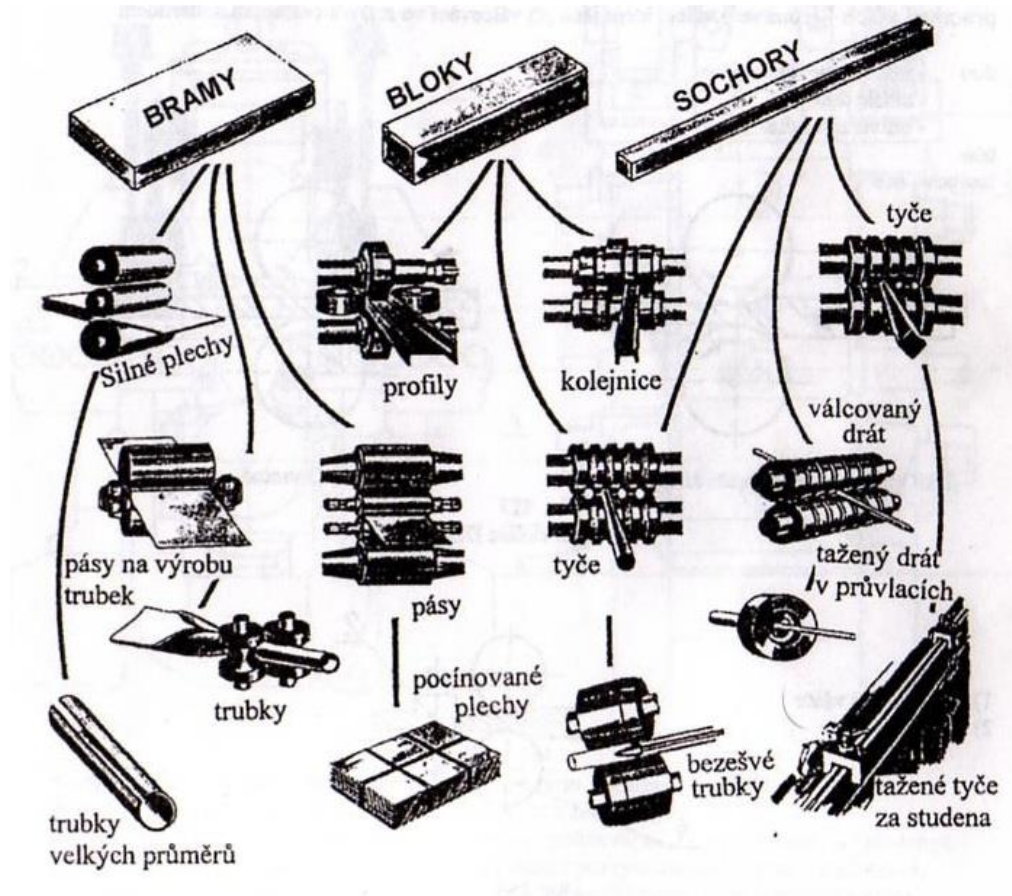
Obrázek 29 Schéma vertikálního hydraulického kovacího lisu s horním pohonem [1]

Rozdělení:

- 1) Dle celkového uspořádání: vertikální/ horizontální konstrukce
- 2) Dle použitého pohonu
- 3) Dle technického použití: kovací, tažné, vytlačovací, protlačovací, razičí
- 4) Dle konstrukce rámu (stojanu): s otevřeným „O“ rámem, s uzavřeným „C“ rámem

4.4. Válcovací stolice [1]

„Stroje, které zpracovávají materiál válcováním (za tepla nebo za studena)“. Při této technologické operaci koná nástroj rotační pohyb a vždy se jedná o dvojici pracovních válců, které mají rovnoběžné osy. Vstupním materiálem je ingot, který je vytvořen po odlití tekutého kovu a následně zpracován na bramy, bloky nebo sochory. „Válcovací stolice slouží k nastavení pracovních válců do polohy, ve které probíhá tváření a k zachycování silových účinků vznikajících při válcování mezi materiálem a nástrojem. Podle směru otáčení rozeznáváme stolice jednosměrné nebo stolice vratné“.



Obrázek 30 Základní druhy válcovacích operací [1]

Základní rozdělení válcovacích stolic [1]:

- 1) **Válcovací stolice, u které jsou pouze pracovní válce**
 - Duo: vodorovné, svislé, univerzální
 - Trio
 - Lauthovo trio
- 2) **Válcovací stolice u které jsou pracovní a opěrné válce**
 - Kvarto
 - Sexto
 - Decento
 - Dvanáctiválec, dvacetiválec

4.5. Stroje na dělení materiálu

Dělíme na dva způsoby [1]:

- 1) Stříháním – materiál je oddělen působením dvou nožů tak, že vlákna v materiálu jsou vnikáním nožů prodlužována až do meze pevnosti materiálu až dojde k jeho utržení
- 2) Lámáním

Zařízení, kterým je možné materiál dělit [1]:

- 1) Nůžky
- 2) Lisy

„Nůžky jsou poháněny buď mechanicky pomocí klikového mechanismu, nebo hydraulicky“ [1]. V posledních letech jsou dnes k vidění tyto stroje za pomoci CNC řízení, kde je možné naprogramovat například pod jakým úhlem se má stříhat, jak velká má být mezera mezi noži a jak velká má být síla.

Základní dělení nůžek [1]:

- a) Stříhání plechu
- b) Stříhání profilového materiálu
- c) Stříhání hutnických polotovarů

1. Nůžky na stříhání plechu

- S rovnými noži: tabulové nůžky (rovnoběžné či šikmé nože), pákové nůžky
- S kotoučovými noži – jedno/ dvou/ více kotoučové provedení

2. Nůžky pro stříhání hutních polotovarů

5. Konstrukční návrh

Úkolem bylo vypracovat návrh ohýbacího přípravku pro ohýbání tyčových profilů s vnějším rádiusem 230 mm pro ohýbací stroj s označením „UNICORN XOTH 80TB“.



Obrázek 31 Ohýbací stroj UNICORN XOTH-80TB [10]

Úlohou bylo vyrobit přípravek, který se bude používat na stávajícím prostředním díle (dále válci) s vnějším rádiusem 200 mm, které vede k významné úspoře financí v porovnání s nákupem nového celého válce se zvětšeným rádiusem o 30 mm. Přípravek měl být jednoduchý na výrobu a umožnit rychlou variabilitu.

Ve fázi příprav jsem se seznámil s funkcemi a díly stroje a naměřil potřebné rozměry (uvedeny v tabulce č. 3), které nebyly k dispozici, abych mohl začít pracovat na konstrukčních návrzích.

Tabulka 3 Rozměry dílů

Název	Šířka/průměr [mm]	Výška [mm]	Hloubka [mm]
Spodní podložka	140	40	35
Prostřední podložka	140	120	35
Horní díl	Ø235	30	---
Prostřední díl (válec)	Ø200	100	---
Spodní díl	Ø250	40	---

5.1. Varianta č. 1

Tato varianta byla již v minulosti principiálně použita pro ohýbání jiných rozměrů a tak jsem vycházel z ní. Varianta se skládá ze 2 nových dílů – označeny modře, zeleně. Označený červený díl je stávající vroubkovaná podložka (rozměry uvedeny u varianty č.4). Zelený díl je podložka pro vymezení vůle mezi válcem a drážkovanou podložkou o rozměrech:

Tabulka 4 Rozměry podložky, varianta č. 1

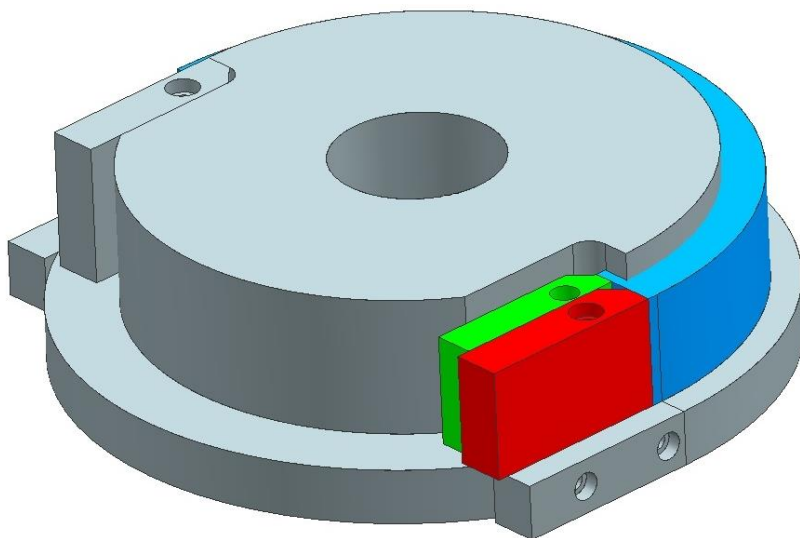
Výška [mm]	Šířka [mm]	Hloubka [mm]
80	30	130

Modrý díl je půlkruh o rozměrech rádiusu 200-230 mm s osazeným „zubem“ velikosti 8 mm.

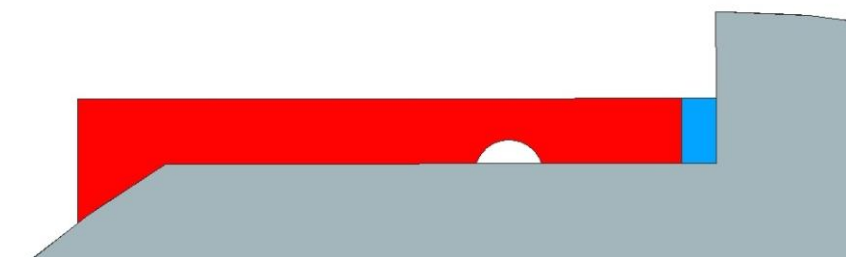
Pro správnou funkčnost by byla nutná dodatečná technologická operace v podobě vytvoření díry pro uchycení červené vroubkované podložky, ovšem zde by mohl nastat problém ve správnosti uchycení šroubu jelikož při použití stávající díry by se šroub uchytil cca na polovinu ve spodní podložce a spodním dílu a byl by to tak nespolehlivý spoj.

Montáž:

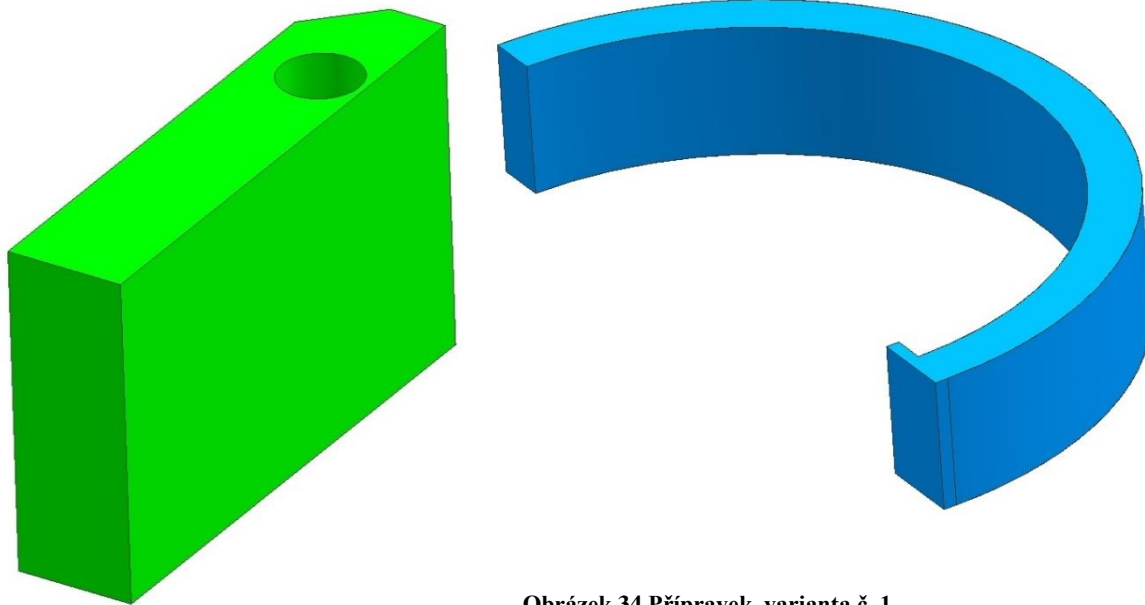
Modrý díl se usadí do opěrné hrany na válci proti pohybu. Dále se připevní zelená a červená deska.



Obrázek 32 Sestava, varianta č. 1



Obrázek 33 Detail uchycení šroubu, varianta č. 1



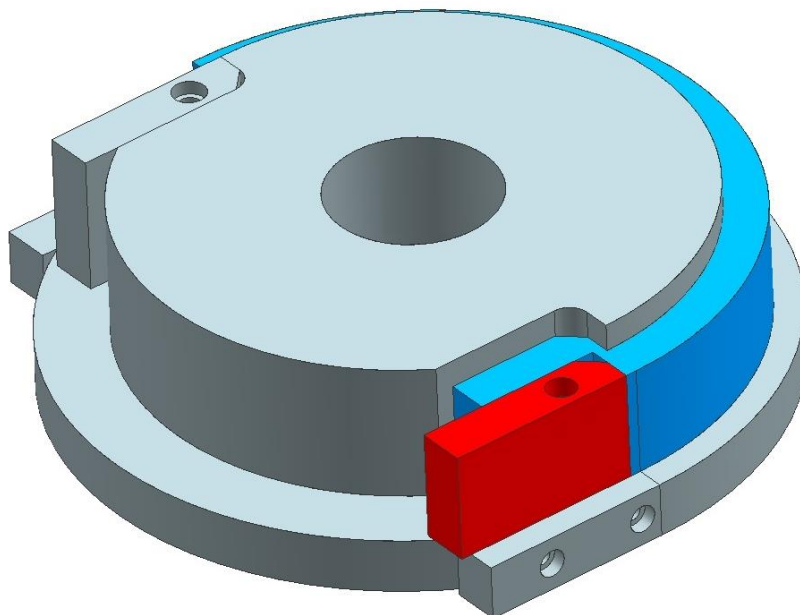
Obrázek 34 Přípravek, varianta č. 1

Obrázek 35 Podložka, varianta č. 1

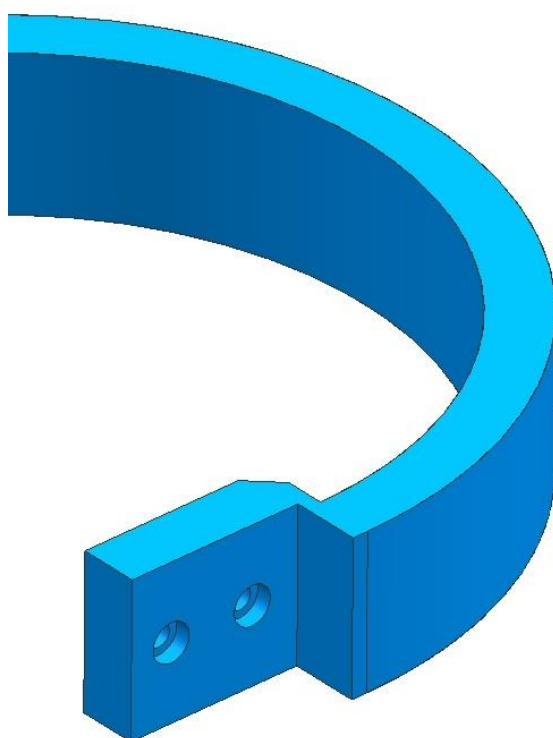
5.2. Varianta č. 2

Zde je využito předchozí varianty s úpravou pro výrobu pouze jednoho dílu. Modrý díl zastává pozici zelené podložky. I zde by byla nutná úprava stávajících dílů. V úvahu byly 3 podvarianty.

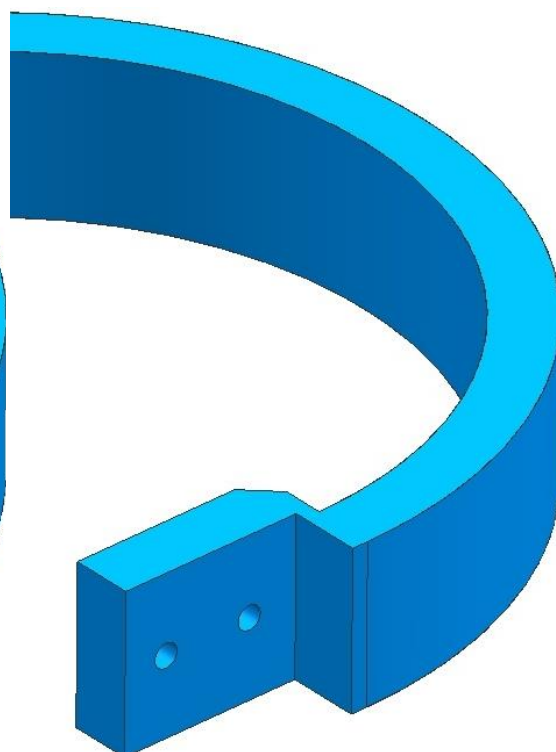
- 1) Zobrazená modrá varianta – musely by se vytvořit díry a závity pro uchycení šroubů do hlavního válce
- 2) Případně uchycení pomocí přesných kolíků v hlavním válci a modrém dílu – nutnost vytvoření děr pro kolíky.
- 3) Použití předchozího uchycení pomocí stávajícího šroubu – znovu nastává problém s uchycením červeného dílu jako u varianty č.1



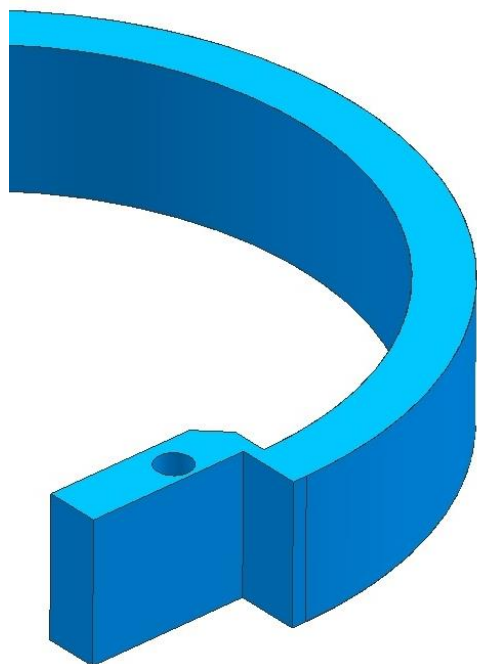
Obrázek 36 Sestava, varianta č. 2



Obrázek 38 Přípravek, varianta č. 2, 1)



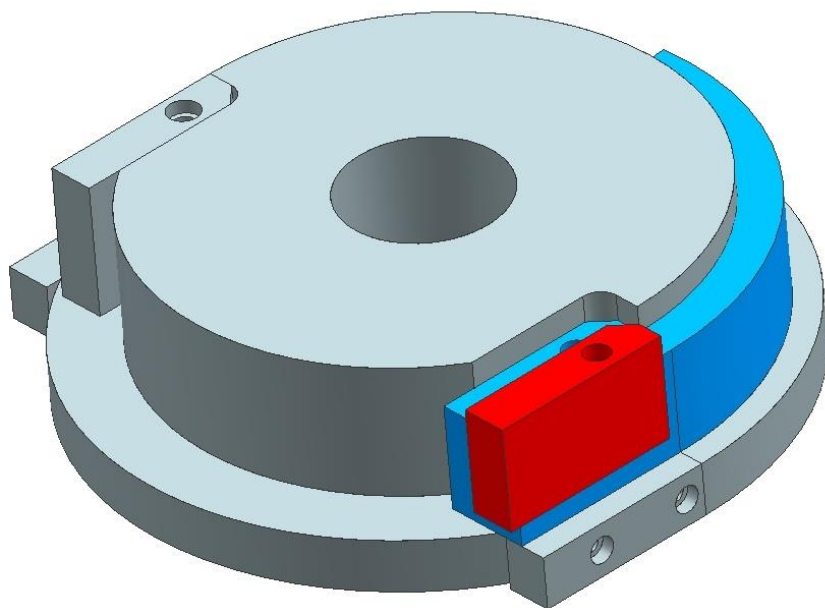
Obrázek 37 Přípravek, varianta č. 2, 2)



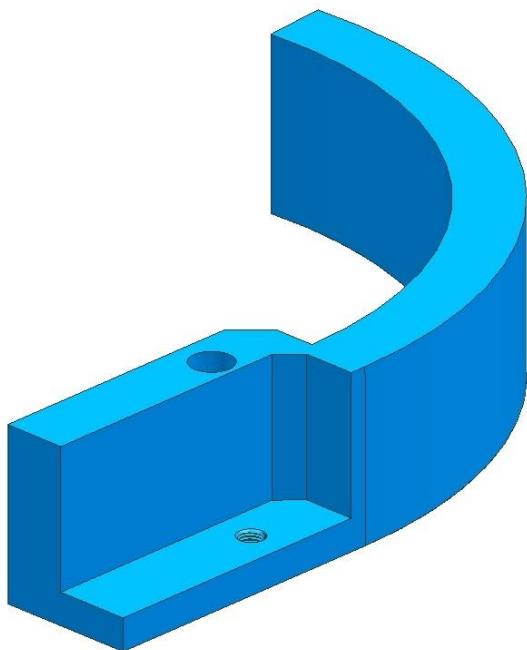
Obrázek 39 Přípravek, varianta č. 3, 3)

5.3. Varianta č. 3

Další varianta vychází ze spojení předchozích dvou variant. Modrý díl je uzpůsoben pro zajištění proti pohybu a slouží také k uchycení červené drážkované desky. Pro uchycení červené desky byl spodní modrý díl půdorysnou kopií pro červenou desku a zároveň i zelenou podložkou z varianty č. 1. Deska by se uchytila původním šroubem do modré desky a modrá deska by se uchytila pomocí původního šroubu, který se nachází ve spodním díle. Zde by nebylo potřeba žádné další úpravy na ostatních dílech. Hlavním problémem této varianty by byla její výroba. Složitá úprava tvaru by byla nákladná, a proto nebyla vybrána jako vhodná k výrobě.



Obrázek 40 Sestava, varianta č. 3



Obrázek 41 Přípravek, varianta č. 3

5.4. Varianta č. 4 – vybraná varianta

Vybraná verze skloubila to nejlepší z předchozích variant. Nachází se zde zelená podložka, červená drážkovaná deska a modrý díl - přípravek pro rádius 230 mm je zde již připraven do čtyř částí k výrobě. Skládá se ze spodního dílu, který má jeden průchozí otvor a jeden otvor se závitem a třech stejných horních dílů (rozměry se nacházejí ve výkresech), které se k sobě přivařily a obrobily na požadovaný tvar. Délka oblouku byla zvolena jen lehce za čtvrtinu kruhu, jelikož se o větší úhel neohýbá. Na „rozstřelené“ sestavě chybí pouze horní díl, který zde není pro lepší přehlednost všech komponent. Polotovár se vypaloval z plechu o tloušťce 20 mm externě na laseru a zbylé operace vedoucí ke spojení všech komponent a následné opracování se prováděly interně (svařování, obrábění). Tyto čtyři komponenty byly vyrobeny z materiálu S 355 MC (norma ČSN EN 10149-2), pro které bylo vybráno další tepelné zpracování pro delší životnost součástí. Jako vhodné zpracování bylo zvoleno nitridování a povrchové kalení na HRC 35. Podložka (zelená) byla vyrobena ze stejného materiálu jako přípravek, tedy ČSN-EN-10149-2. Kdy polotovarem byl hranol, který se obrobil na požadované rozměry. Drážkovaná deska zde slouží k přidržení ohýbané součásti, kdy stroj v počátku stiskne upnutý materiál (má také drážkování) a postupným vysouváním a natáčením onoho válce se začne vložený polotovár tvářet do požadovaného ohybu. Po tváření dojde k odpružení a profil se „narovná“ na rádius 250 mm. Tato netriviální operace vyžaduje mnoho zkušeností s nastavováním parametrů, které jsou „know-how“ a nelze je veřejně sdílet.

Rozměry dílů:

Tabulka 5 Rozměry drážkované desky

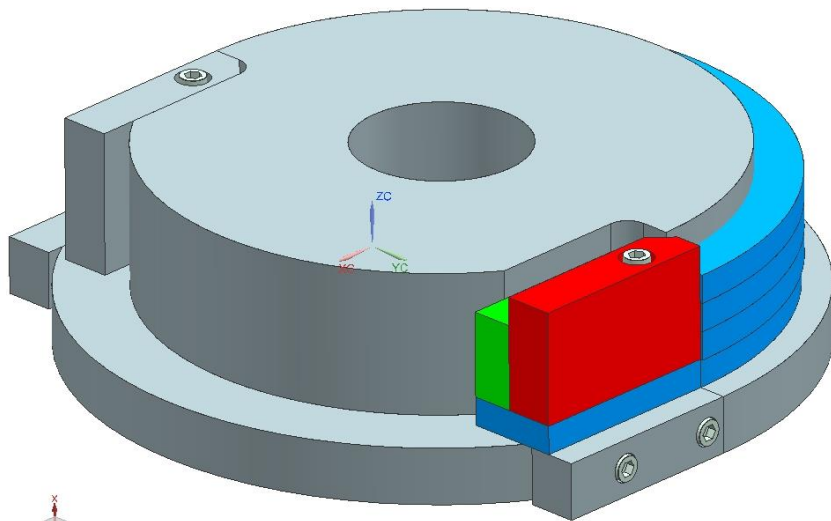
Výška [mm]	Šířka [mm]	Hloubka [mm]
80	35	130


Tabulka 6 Podložka 80x30x130

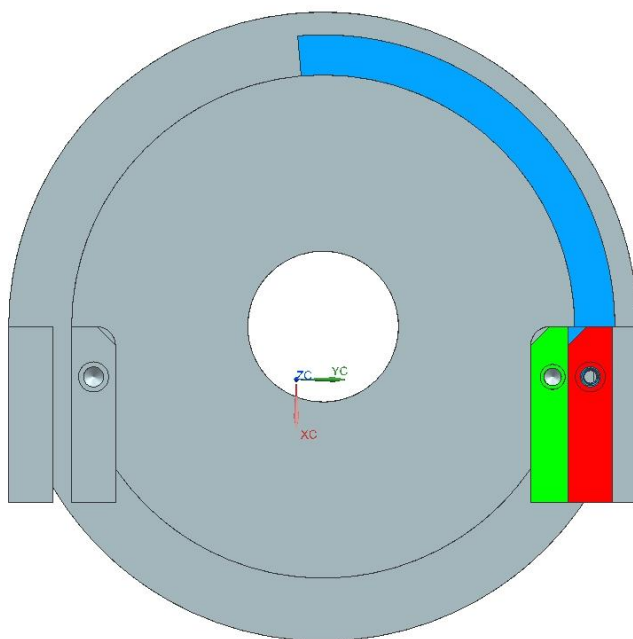
Výška [mm]	Šířka [mm]	Hloubka [mm]
60	30	130

Tabulka 7 Přípravek pro R230

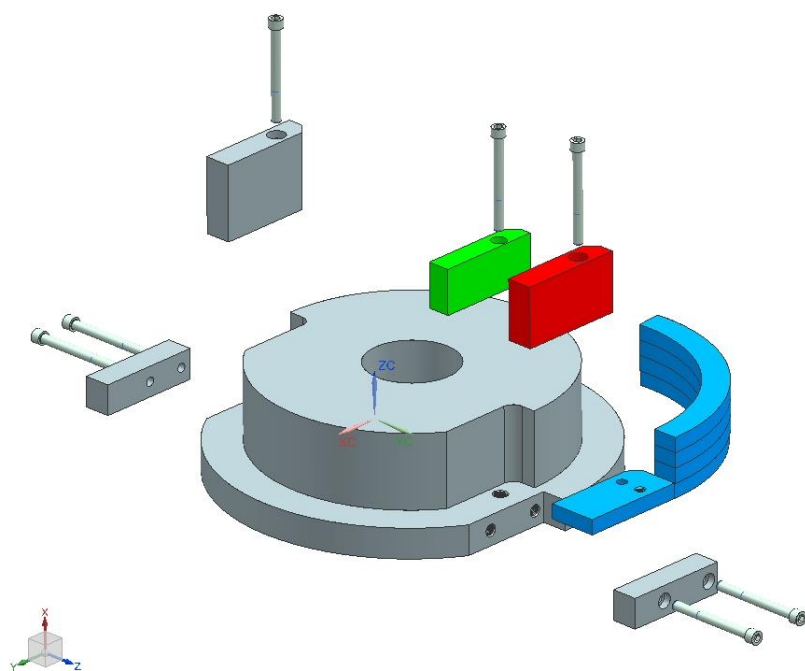
Výška [mm]	Šířka [mm]	Poloměr vnější [mm]	Poloměr vnitřní [mm]
80	30	230	200



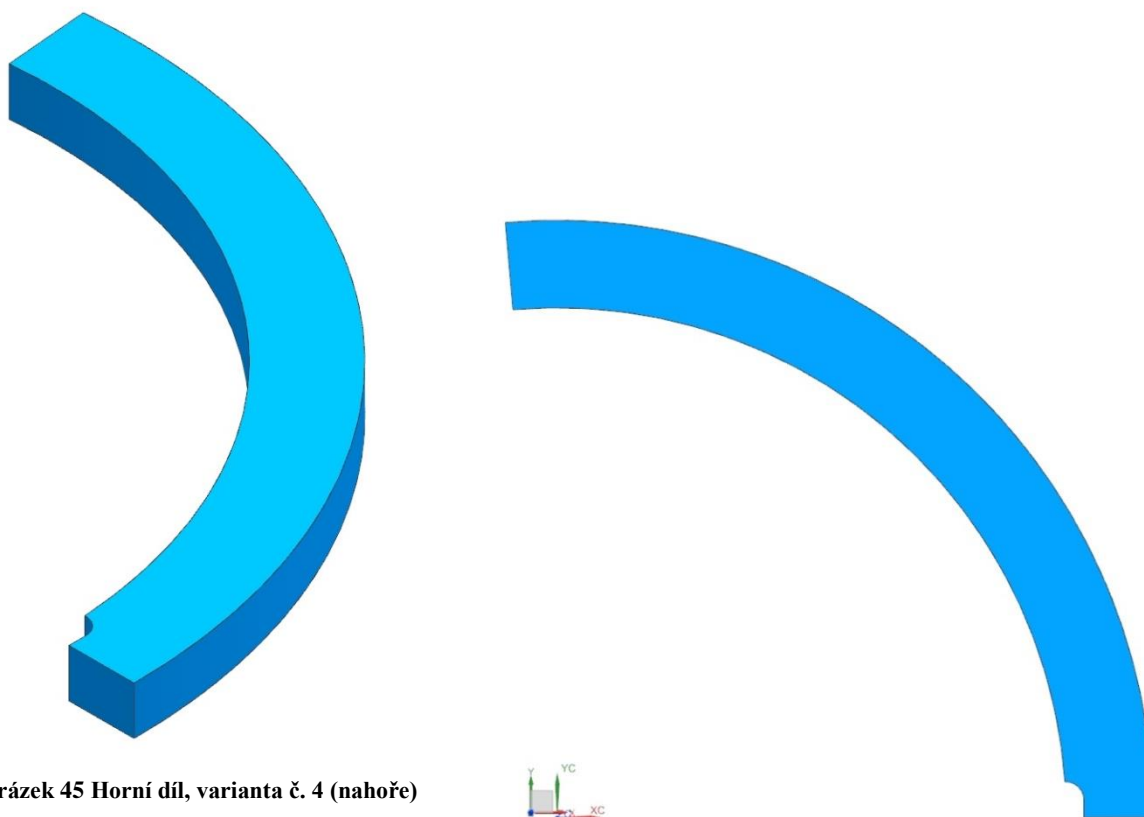
 **Obrázek 42 Sestava, varianta č. 4**



 **Obrázek 43 Sestava, varianta č. 4 - půdorys**



Obrázek 44 Sestava, varianta č. 4 – rozpad sestavy

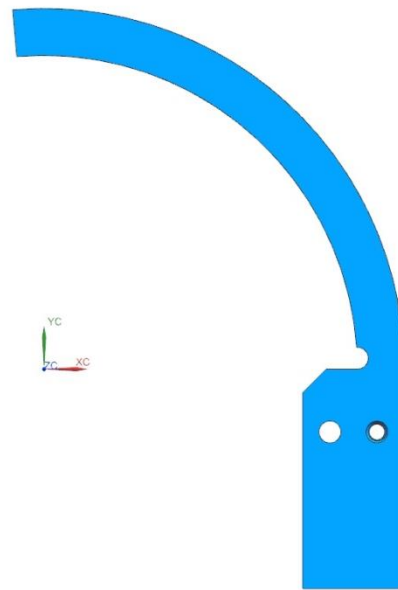


Obrázek 45 Horní díl, varianta č. 4 (nahore)

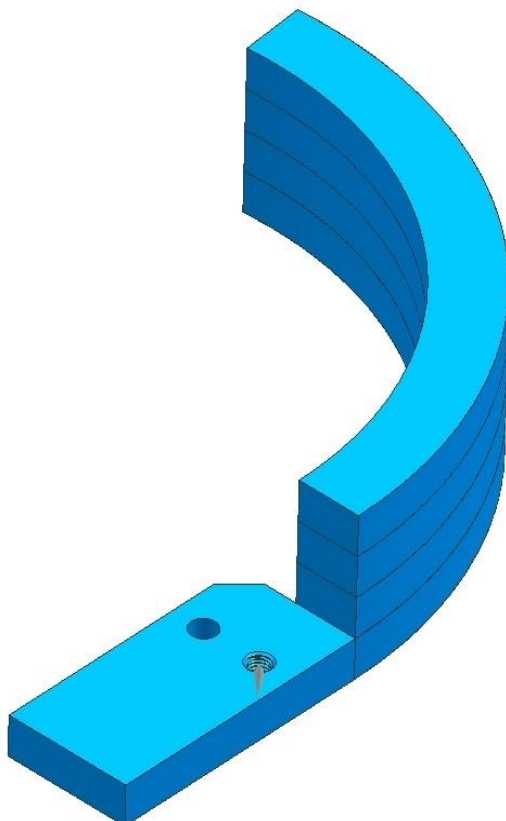
Obrázek 46 Horní díl, varianta č. 4 – půdorys (vpravo)



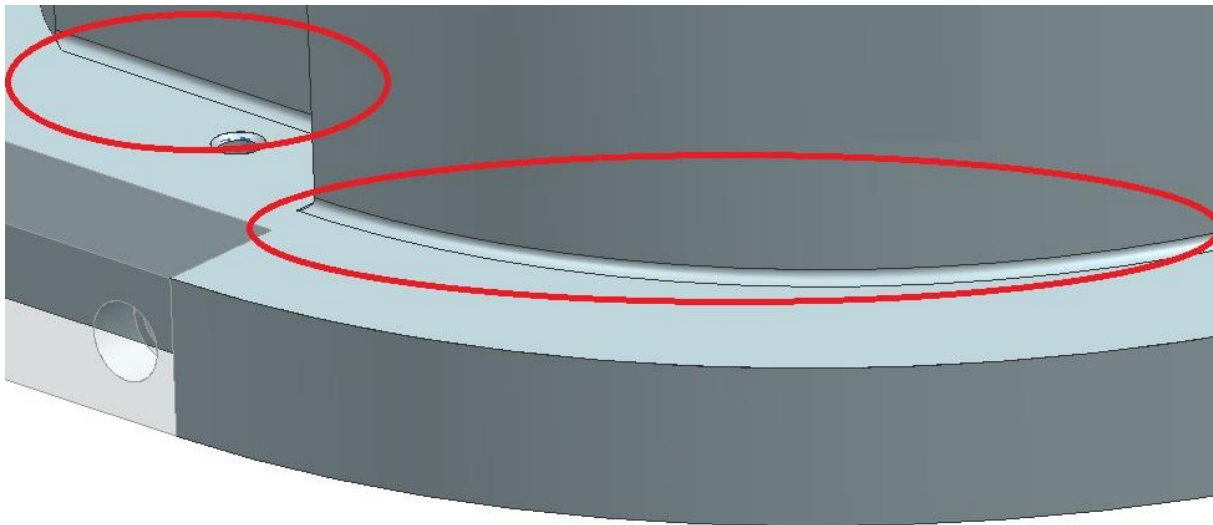
Obrázek 47 Spodní díl, varianta č. 4 (nahore)



Obrázek 48 Spodní díl, varianta č. 4 – půdorys (vpravo)



Obrázek 49 Sestava Horní + spodní díl, varianta č. 4



Obrázek 50 Sestava- zaoblení hran

5.4.1. Průběh výroby přípravku

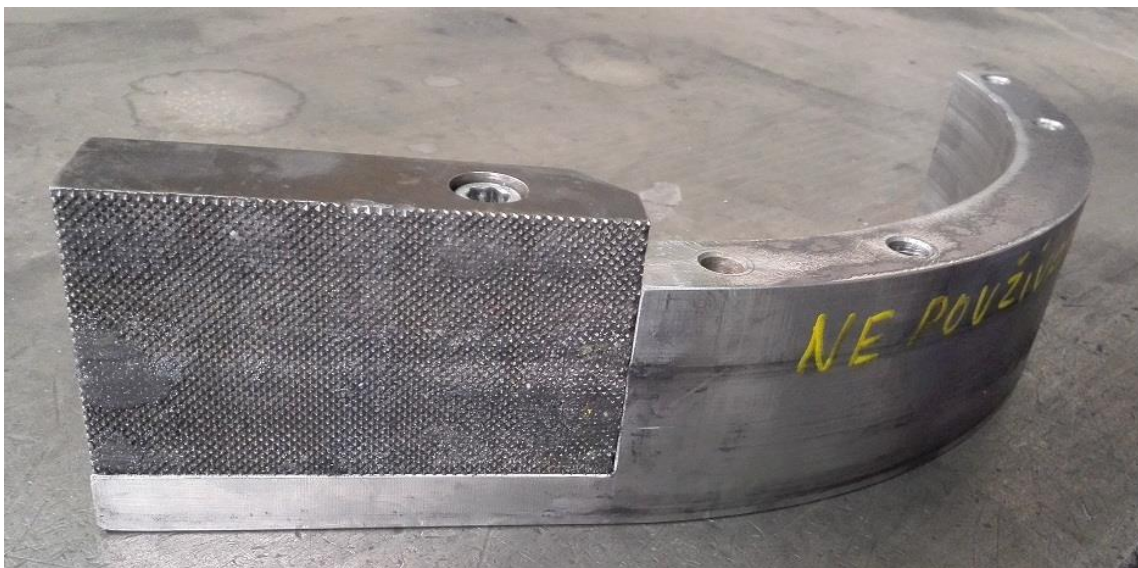
Zde je postupná dokumentace zhotovení přípravku. Nejdříve se všechny části předpřipravily sražením hran pro svaření k sobě a následně se musely skrz výrobek vyvrtat otvory pro upnutí na otočný stůl před frézováním, je vidět na obrázcích č. 51, 52. Na obrázcích č. 53-56 je už hotový výrobek pro ohýbání profilů [označen červeným obdélníkem, zelený obdélník je ohýbaný profil], který byl vyzkoušen ve stroji (obrázky 57, 58, 59), ale ještě ho čeká tepelné zpracování, proto je označen, že se nesmí používat, aby nedošlo k jeho poškození.



Obrázek 51 Svařený přípravek, upnutý pro frézování - 1



Obrázek 52 Svařený přípravek, upnutý pro frézování – 2



Obrázek 53 Kompletně svařený a smontovaný přípravek - 1



Obrázek 54 Kompletně svařený a smontovaný přípravek 2



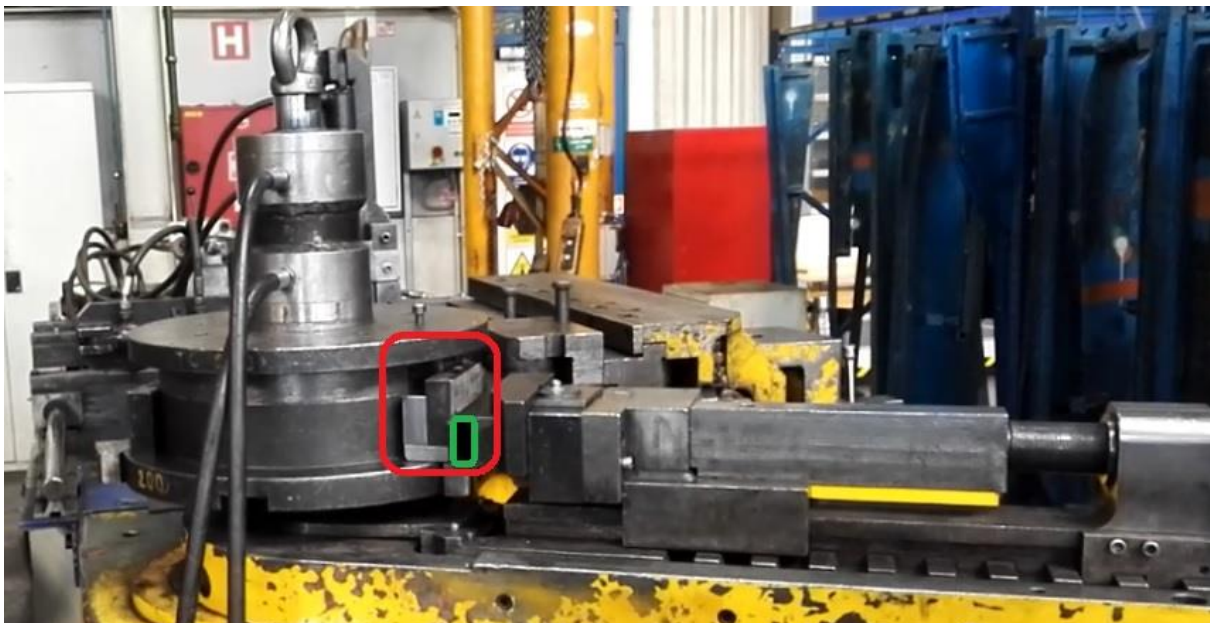
Obrázek 55 Kompletně svařený a smontovaný přípravek 3



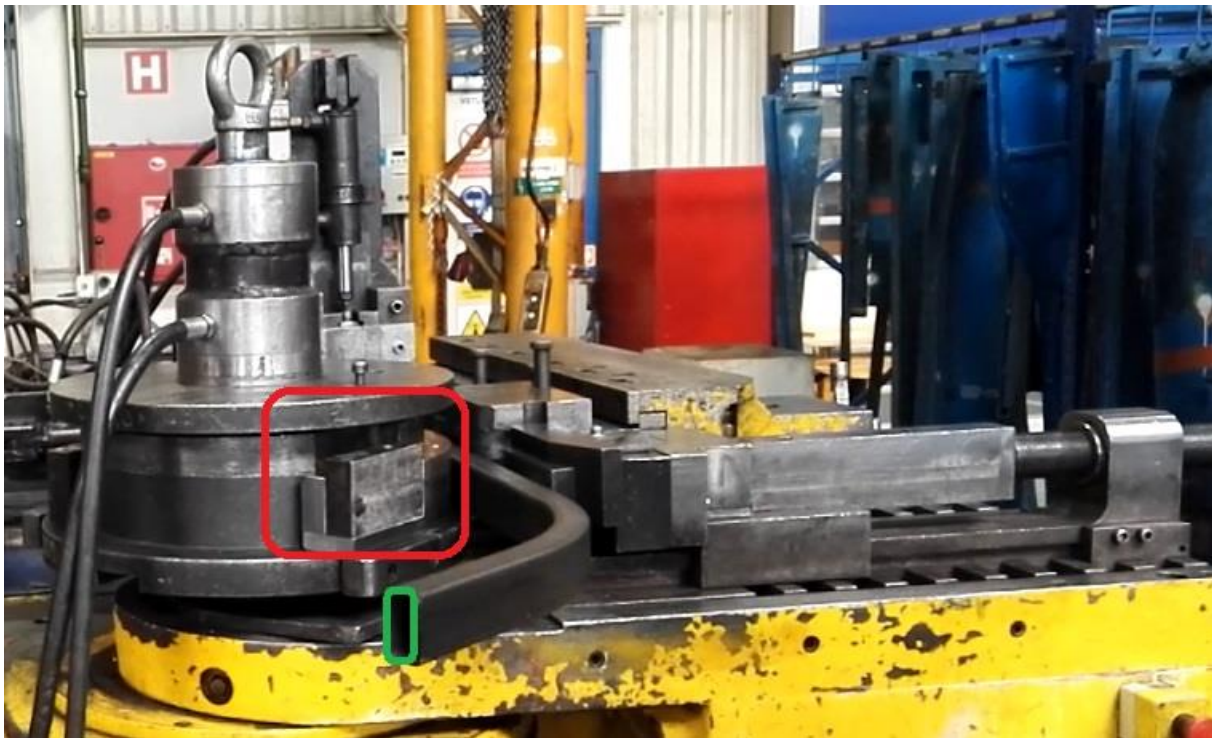
Obrázek 56 Kompletně svařený přípravek spolu s drážkovanou deskou a podložkou



Obrázek 57 Přípravek včetně ostatních dílů založený ve stroji



Obrázek 58 Snímek z výroby ohýbaného profilu, červeně označený je přípravek pro ohýbání a zeleně ohýbaný profil, 1



Obrázek 59 Snímek z výroby ohýbaného profilu, červeně označený je přípravek pro ohýbání a zeleně ohýbaný profil, 2



Obrázek 60 Šablona pro ohýbaný profil

Závěr a zhodnocení

Úkolem bylo vyhotovit podklady k výrobě ohýbačího přípravku rádiusu 230 mm ocelových profilů pro autobusovou společnost EvoBus ČR, Holýšov. Vypracoval jsem několik modelových variant v CAD systému a po vyhodnocení s mým konzultantem Ing. Havlem a kolegy z technologického oddělení byla vybrána konečná varianta, která byla pro výrobu, manipulaci a funkčnost ta nejvíce výhodná. V konstrukčním návrhu jsem se dopustil malé chyby a to konkrétně, kdy jsem bral v úvahu dokonalé modely a vypustil jsem všechna možná zaoblení na všech součástech sestavy. Na obrázku č. 51 je na modelu označeno toto zaoblení, které se muselo dodatečně vyrobít (na tomto modelu se již nyní zaoblení nachází). Po dokončení všech obráběcích operací se přípravek usadil na své místo jak měl a uchytil se šrouby. Po testování byla vyhodnocena funkční zkouška přípravku jako úspěšná. Následovat bude ještě tepelné zpracování pro zlepšení funkčních a trvanlivých vlastností přípravku.

Seznam použitých pramenů a literatury

- [1] STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje*. Plzeň: ZČU, 2001
- [2] Západočeská univerzita [cit.2016-01-10]. Dostupné z WWW: <<https://www.zcu.cz/research/prezentace-tymu/tymy/Vyzkum-a-vyvoj-vyrobnich-stroju-vcetne-jejich-modernizaci/soucasnost.html>>
- [3] Daimler AG [cit. 2016-01-10]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Daimler_AG>
- [4] Mercedes-Benz CZ [cit. 2016-01-10] Dostupné z WWW: <http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/bus/home/new_buses/models/regular_service_busses/_Citaro_c2/fascination/pictures.flash.html>
- [5] POKORNÝ, P. *Výrobní stroje II. Mechanické lisy*. Liberec: TUL, 1998
- [6] STANĚK, J., ČECHURA, M. *Tvářecí stroje. Hydraulické lisy*. Plzeň: ZČU, 1999
- [7] PROCHÁZKA, J., ZAHRADNÍK, M., NĚMĚC, M., NOVOTNÝ, J. *Technologie slévání, tváření a svařování*. Praha: ČVUT, 1982
- [8] BENEŠOVÁ, S., BERNÁŠEK, V. *Technologie tváření*. Plzeň: ZČU, 2014
- [9] Technologie tváření kovů, TUL [cit. 2016-01-10] Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm>
- [10] Unicorn-esk, s.r.o [cit. 2016-04-25] Dostupné z WWW: <<http://www.unicorn-esk.sk/en/products/xoth-80-tb-uni>>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Jednoduchá mechanizovaná kladiva určená ke kování [1].....	4
Obrázek 2 Model moderního Hydraulického lisu [2]	4
Obrázek 3 Mercedes-Benz Citaro G C2 Euro VI [4]	5
Obrázek 4 Vztah mezi normálovým a smykovým napětím při jednoosém tahovém namáhání zkušební vzorku [8].....	7
Obrázek 5 Změna tvařitelnosti oceli v závislosti na teplotě [8].....	9
Obrázek 6 Vliv zotavení, primární a sekundární rekrytalizace [8].....	9
Obrázek 7 Rekrytalizační diagram [8].....	10
Obrázek 8 Schéma napětí na hmotný bod (prostorový element) [8].....	13
Obrázek 9 Schémata hlavních napětí [8].....	14
Obrázek 10 Reálné znázornění deformací [8].....	14
Obrázek 11 Schéma tvarové a rozměrové změny hranolu při pýchování [8]	16
Obrázek 12 Geometrická podobnost těles [8]	17
Obrázek 13 Zákon nejmenšího odporu [8].....	18
Obrázek 14 Deformační rychlost [7].....	19
Obrázek 15 Pýchování kruhové desky mezi rovnými kovádky [8]	23
Obrázek 16 Zdánlivě rovnoměrně rozložený tlak při pýchování [8]	24
Obrázek 17 Práce při pýchování tělesa [8].....	24
Obrázek 18 Změna mechanických vlastností po válcování za studena [8].....	28
Obrázek 19 Způsoby tažení trubek [8].....	29
Obrázek 20 Rozložení napětí při ohybu [8]	30
Obrázek 21 Síly při ohybu do tvaru "V" [8]	30
Obrázek 22 Deformace průřezu ohýbané součásti [9]	31
Obrázek 23 Schéma průběhu ohýbání [7].....	31
Obrázek 24 Odpružení materiálu pro ohyb do tvaru "V" a "U" [8].....	31
Obrázek 25 Tvářecí stroje s přímočarým pohybem výstupního členu: lisy, tažné stroje, válcovací stroje [1].....	32
Obrázek 26 Silový stroj - Hydraulický lis [1]	32
Obrázek 27 Šabotový buchar pro volné a zápusťkové kování [1].....	33
Obrázek 28 Bez šabotový buchar (protiúderový) [1].....	33
Obrázek 29 Schéma vertikálního hydraulického kovacího lisu s horním pohonem [1]	35
Obrázek 30 Základní druhy válcovacích operací [1]	36
Obrázek 31 Ohýbací stroj UNICORN XOTH-80TB [10]	38

Obrázek 32 Sestava, varianta č. 1	39
Obrázek 33 Detail uchycení šroubu, varianta č. 1	39
Obrázek 34 Přípravek, varianta č. 1	40
Obrázek 35 Podložka, varianta č. 1	40
Obrázek 36 Sestava, varianta č. 2	40
Obrázek 37 Přípravek, varianta č. 2, 2).....	41
Obrázek 38 Přípravek, varianta č. 2, 1).....	41
Obrázek 39 Přípravek, varianta č. 3, 3).....	41
Obrázek 40 Sestava, varianta č. 3	42
Obrázek 41 Přípravek, varianta č. 3	42
Obrázek 42 Sestava, varianta č. 4	44
Obrázek 43 Sestava, varianta č. 4 - půdorys	44
Obrázek 44 Sestava, varianta č. 4 – rozpad sestavy	45
Obrázek 45 Horní díl, varianta č. 4 (nahore).....	45
Obrázek 46 Horní díl, varianta č. 4 – půdorys (vpravo)	45
Obrázek 47 Spodní díl, varianta č. 4 (nahore).....	46
Obrázek 48 Spodní díl, varianta č. 4 – půdorys (vpravo)	46
Obrázek 49 Sestava Horní + spodní díl, varianta č. 4	46
Obrázek 50 Sestava- zaoblení hran	47
Obrázek 51 Svařený přípravek, upnutý pro frézování - 1	47
Obrázek 52 Svařený přípravek, upnutý pro frézování – 2	48
Obrázek 53 Kompletně svařený a smontovaný přípravek - 1	48
Obrázek 54 Kompletně svařený a smontovaný přípravek 2	49
Obrázek 55 Kompletně svařený a smontovaný přípravek 3	49
Obrázek 56 Kompletně svařený přípravek spolu s drážkovanou deskou a podložkou	49
Obrázek 57 Přípravek včetně ostatních dílů založený ve stroji	50
Obrázek 58 Snímek z výroby ohýbaného profilu, červeně označený je přípravek pro ohýbání a zeleně ohýbaný profil, 1	50
Obrázek 59 Snímek z výroby ohýbaného profilu, červeně označený je přípravek pro ohýbání a zeleně ohýbaný profil, 2	51
Obrázek 60 Šablona pro ohýbaný profil	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 Výkresová dokumentace	3
Tabulka 2 Data na CD	3
Tabulka 3 Rozměry dílů	38
Tabulka 4 Rozměry podložky, varianta č. 1	39
Tabulka 5 Rozměry drážkované desky	43
Tabulka 6 Podložka 80x30x130	43
Tabulka 7 Přípravek pro R230	43