

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI TRUBKA OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION OF PART TUBE BY SOLID FORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUBOMÍR GRUFÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL NOVOTNÝ, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Lubomír Grufík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba součásti Trubka objemovým tvářením

v anglickém jazyce:

Production of part Tube by solid forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování technologického postupu výroby součásti Trubka objemovým tvářením, technicko-ekonomické hodnocení

Cíle diplomové práce:

- 1) Literární studie zadané problematiky
- 2) Alternativní výrobní metody
- 3) Návrh technologického postupu řešení
- 4) Vypracování výkresové dokumentace a technické zprávy
- 5) Technicko-ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

- 1) KOTOUČ, J. a kol.: Tvářecí nástroje, ČVUT Praha 1993
- 2) fa.SCHULER: Handbuch der Umformtechnik 1996
- 3) kolektiv autorů: Lisování, SNTL Praha, 1971
- 4) HAŠEK, V.: Kování, SNTL Praha, 1965
- 5) Sborníky z odborných konferencí

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Karel Novotný, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 18.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

GRUFÍK Lubomír: Výroba součásti Trubka objemovým tvářením

Předmětem diplomové práce je návrh technologie výroby redukční části trubky. Výroba zadané součásti je na základě výpočtů a simulace navržena na jednu operaci, při níž je provedeno rozšíření i napěchování. Pro výrobu je pomocí výpočtů navržen nástroj upnutý na hydraulickém lisu ZHW 40. K přípravě polotovaru je použito řezání kotoučovou pilou.

Klíčová slova

Objemové tvářením, trubka, rozšiřování, pěchování, hydraulický lis.

ABSTRACT

GRUFÍK Lubomír: Production of part Tube by solid forming

Propose of this thesis is designing production technology of reducing part of tube. The production of requested part is designed on the base of calculations and simulation in one operation. This operation contains widening and squeezing. There is designed on the base of calculations a tool fixed in hydraulic press ZHW 40 for the production. To prepare a semi-product is used cutting by slitting saw.

Key words

Solid forming, tube, widening, squeezing, hydraulic press.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GRUFÍK, L. *Výroba součásti Trubka objemovým tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Karel Novotný, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba součásti Trubka objemovým tvářením vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 26.5.2010

.....
Lubomír Grufík

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce, panu doc. Ing. Karlu Novotnému, CSc., za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné rady a ochotu při softwarové simulaci procesu tváření.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	9
1 Literární studie	10
1.1 Tváření.....	10
1.1.1 Rozdělení tváření	10
1.1.2 Vznik a druhy deformací	13
1.1.3 Vliv tření, mazání a maziva ve tváření.....	13
1.1.4 Volba materiálu pro tváření	15
1.1.5 Dělení materiálu	15
1.2 Rozšiřování trubek.....	21
1.2.1 Metody rozšiřování s využitím pevného nástroje	22
1.2.2 Metody rozšiřování s využitím nepevného nástroje.....	28
1.2.3 Metody rozšiřování s využitím speciálních metod	31
1.3 Simulace ve tváření	33
2 Technická zpráva.....	35
2.1 Základní informace o vyráběné součásti.....	35
2.2 Materiál součásti	35
2.3 Výchozí polotovar	35
2.4 Volba metody výroby součásti	36
2.5 Výpočtová část	36
2.5.1 Výpočet tloušťky stěny trubky po roztažení na požadovaný vnitřní průměr	36
2.5.2 Výpočet délky polotovaru před tvářením	38
2.5.3 Výpočet skutečné (logaritmické) deformace	41
2.5.4 Výpočet tvářecí síly	41
2.6 Simulace procesu tváření zadané součásti	42
2.7 Návrh maziva.....	47
2.8 Návrh nástroje	47
2.9 Návrh výrobního zařízení.....	48
2.9.1 Volba lisu	48
2.9.2 Volba kotoučové pily.....	49
3 Návrh technologického postupu výroby součásti	50
4 Technicko – ekonomické hodnocení	51
4.1 Přímé náklady.....	52
4.1.1 Náklady na materiál	52

4.1.2 Náklady na mzdy	52
4.1.3 Náklady na strojní vybavení	55
4.1.4 Celkové přímé náklady	56
4.2 Nepřímé náklady	57
4.3 Variabilní náklady	57
4.4 Fixní náklady	58
4.4.1 Náklady na nástroje	58
4.4.2 Ostatní fixní náklady	58
4.4.3 Celkové fixní náklady	58
4.5 Tržby za materiálový odpad	58
4.6 Celkové náklady	59
4.7 Cena finální vyráběné součásti	59
4.8 Tržby	60
4.9 Bod zvratu	60
4.10 Čistý zisk	61
Závěr	62
Seznam použitých zdrojů	64
Seznam použitých zkratk a symbolů	66
Seznam příloh	69

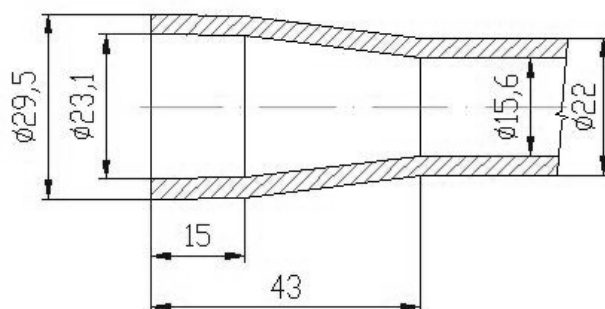
ÚVOD

Objemovým tvářením kovů rozumíme výrobní technologický proces, při němž dochází ke změně tvaru v celém objemu tvářeného tělesa při všestranném přemísťování materiálu, a tedy i při podstatné změně průřezu výchozího polotovaru. Využití tváření obecně ve výrobním procesu má své výhody i nevýhody. K výhodám řadíme vysokou produktivitu práce, vysokou hospodárnost a s ní spojené vysoké využití materiálu i velmi dobrou rozměrovou přesnost tvářených výrobků. Mezi úskalí naopak patří především vysoké pořizovací ceny tvářecích strojů i nástrojů^{3, 4, 17}.

Objemové tváření je využitelné v řadě výrobních operací. Jednou z nich je rozšiřování konců trubek, které patří stále k velmi využívaným úpravám dutých těles. Tato úprava představuje snadné řešení spojení dvou konců trubek nebo řešení redukce trubek různých průměrů. Těchto spojů je velmi často využíváno u nejrůznějších druhů potrubí, v sanitární technice, v automobilovém průmyslu, k napojení vzduchových systémů pro klimatizace, apod⁸.

Ve své práci se zabývám návrhem výroby redukční části trubky, která bude navařena mezi potrubí různých průměrů, avšak stejných tloušťek stěn, tudíž je u součásti požadováno zachování tloušťky stěny kvůli tlakovému namáhání.

Cílem mé práce je vytvoření návrhu výroby redukční části trubky včetně literární studie zadané problematiky, uvedení alternativních výrobních metod, návrhu technologického postupu výroby, vypracování výkresové dokumentace a technické zprávy a v závěru technicko – ekonomického hodnocení.



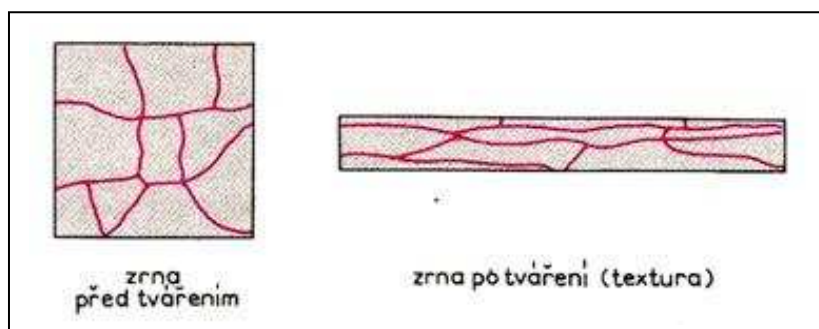
Obr.1 Náskres tvářené části zadané součásti.

1 LITERÁRNÍ STUDIE

1.1 Tváření

Tvářením rozumíme technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru dílce (výkovku, výlisku, protlačku, atd.) v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek, aniž by byla porušena celistvost materiálu. Podstatou tváření je vznik plastických deformací. Tváření je provázeno fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu^{3, 4, 5}.

Mezi výhody tváření patří vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. K nevýhodám patří vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku^{3, 4}.



Obr. 2 Ukázka změny tvaru zrna v důsledku tváření⁴.

1.1.1 Rozdělení tváření

a) Rozdělení tvářecích procesů podle teploty

Při změně teploty se mění deformační odpor materiálu proti tváření. Se zvyšující se teplotou se zlepšují plastické vlastnosti kovů a jejich slitin⁴.

Rozdělení tvářecích procesů podle teploty je vlastně rozdělení podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekrytalizace. Rekrytalizační teplota je teplota, při které dochází k regeneraci deformovaných zrn vzniklých tvářením za studena beze změny krystalové mřížky⁴.

Rozlišujeme tedy :

- **tváření za studena** – pod rekrystalizační teplotou, platí zde ^{3, 4} :

$$T_s \leq 0,3 \cdot T_{TAV} \quad (1.1)$$

- **tváření za tepla** – nad rekrystalizační teplotou, platí zde ^{3, 4} :

$$T_t \geq 0,7 \cdot T_{TAV} \quad (1.2)$$

b) Rozdělení tvářecích procesů podle tepelného efektu

Při tváření se část energie mění na teplo. Množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. Dle odvodu vzniklého tepla se tvářecí procesy dělí na ⁴ :

- **izotermické tváření** - veškeré vyvinuté teplo je odvedeno do okolí a teplota tvářeného kovu se nemění, deformace je dostatečně pomalá ⁴
- **adiabatické tváření** - veškeré teplo zůstane v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu, deformace je extrémně vysoká ⁴
- **polytropické tváření** - část tepla se odvede do okolí a část tepla zůstane v tvářeném materiálu (nejčastější případ) ⁴

c) Rozdělení tvářecích procesů podle stupně deformace

Sledovaným kritériem je zde stupeň deformace při určité teplotě a rychlosti deformace bez nebezpečí vzniku trhlin na povrchu materiálu. Část energie, vynaložené na tváření, se mění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. Dle těchto kritérií se dělí tvářecí procesy na ⁴ :

- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je malý, ke vzniku deformace jsou potřeba malé síly a povrch volného materiálu je výrazně větší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (např. volné kování) ⁴

- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velký, ke vzniku deformace jsou potřeba velké síly a povrch volného materiálu je přibližně stejný jako povrch, který je ve styku s nástrojem (např. zápustkové kování)⁴
- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velmi vysoký, ke vzniku deformace jsou potřeba značně velké síly a povrch volného materiálu je menší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (např. protlačování)⁴

d) Rozdělení tvářecích procesů podle působení vnějších sil

- **plošné tváření** - rovinný stav napjatosti

Dochází ke změně tvaru bez podstatné změny průřezu výchozího polotovaru (deformace ve dvou směrech)^{3, 4}.

Do plošného tváření spadají následující technologie a jejich operace⁵:

- o *stříhání* – prosté, vystřihování, prostřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, děrování, protrhávání, nasekávání
- o *ohýbání* – prosté, lemování, zakružování, ohraňování, obrubování, rovnání, prosazování, drápkování
- o *tažení* – prosté resp. klasické (bez ztenčení stěny), tažení se ztenčením stěny, zpětné, protahování, žlábkování, rozšiřování, vypínání, přetahování, zužování
- o *tlačení* – prosté, smykové (se ztenčením stěny), rotační (lemování), obrubování, žlábkování, zužování, rozšiřování

- **objemové tváření** - prostorový stav napjatosti

Dochází ke změně tvaru v celém objemu při podstatné změně průřezu výchozího polotovaru (deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému)^{3, 4}.

Do objemového tváření spadají následující technologie a jejich operace ⁵ :

- o *kování* – volné nebo zápusťkové kování, protlačování, rotační, radiální, izotermické, přesné, kalibrování
- o *válcování* – podélné (na plocho), podélné tvarové, příčné tvarové tzv. klínové, příčné profilové, rozvácování
- o *pěchování*
- o *protlačování* – dopředné, zpětné, kombinované, radiální /stranové/, hydrostatické, profilové
- o *tažení* – redukování, kalibrování, rozšiřování

1.1.2 Vznik a druhy deformací

Síly, které působí na kovovou součást kov přetvářejí (deformují) a od určité velikosti jej porušují. Pokud tyto síly nepřekročí určitou mez, těleso nabude po odlehčení původní tvar. Jestliže jsou síly větší, zůstane těleso deformované i po odlehčení. Deformaci, která po odlehčení vymizí nazýváme pružnou (elastickou) ε_e . Deformace, která zůstává i po odlehčení označujeme jako trvalou (plastickou) ε_p ^{1, 3}.

Celkovou deformaci pak označujeme ε_c a platí pro ni vztah ³ :

$$\varepsilon_c = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad (1.3)$$

1.1.3 Vliv tření, mazání a maziva ve tváření

K rozhodujícím faktorům procesu tváření patří tření, které výrazně ovlivňuje vlastní proces, kvalitu výrobku a ekonomii výroby. Nejzřetelnějším vlivem tření na proces tváření je fakt, že se zvyšováním tření se zvětšuje i množství vynaložené energie potřebné k přetvoření materiálu ^{4, 10}.

Mazání je záměrné používání maziv a vytvořením nosných mazacích vrstev pro libovolný postup tváření ¹⁰.

Mazivo patří k nejdůležitějším prostředkům v procesech technologie tváření. Bez vhodného maziva by většinu tvářecích procesů nebylo možno vůbec uskutečnit. Na jeho složení, vlastnostech a použití závisí životnost tvářecích nástrojů, povrchové vlastnosti a velikost tvářecí práce ².

Mazivo má ve tváření dva hlavní úkoly ¹⁰ :

- 1) zabránit kovovému styku mezi nástrojem a polotovarem a tím zabránit jejich svaření za studena, tzn. současná ochrana nástroje a tvářeného polotovaru před otěrem a opotřebením, zajištění rovnoměrné kvality výrobků a bezporuchové výroby.
- 2) snížení třecích ztrát a tím pádem i snížení přetvárných sil a energií potřebných pro danou tvářecí operaci.

Kriteria pro výběr maziva ¹⁰ :

- spojení mazacího a chladícího účinku
- ovlivnění toku materiálu při tváření
- obtížnost tváření
- jednoduchost nanášení a odstraňování maziva
- ochranný účinek maziva proti korozi
- požadavky na velikost pracoviště, bezpečnost a hygienu práce
- vhodnost maziva v souvislosti s dalším zpracováním polotovaru (např. svařováním)
- hospodárnost

Obecně lze rozdělit maziva do následujících kategorií ³ :

- *kapalná maziva* (minerální a organické oleje, zušlechtěné oleje, synteticky vyrobené oleje)
- *konzistenční maziva* (mazací tuky, tuky ředitelné vodou, pasty, emulze, atd.)
- *tuhá maziva* (grafit, mastek, přísady k běžným mazivům)

1.1.4 Volba materiálu pro tváření

Výběr konkrétního materiálu pro tváření je závislý na volbě tvářecí technologie. Správná volba ovlivňuje produktivitu výroby, kvalitu a přesnost výroby. Nejčastějším materiálem pro tváření je ocel, neželezné kovy a v poslední době i kompozitní materiály ⁴.

O každém materiálu je nutné znát jeho chemické složení, mechanické vlastnosti, teplotu a způsob ohřevu. Proto je nutné provádět kontrolu materiálu vždy na vstupu do výrobního procesu ⁴.

1.1.5 Dělení materiálu

V technologii tváření se používají různé polotovary, které se dělí na přesnou hmotnost, resp. na požadovaný rozměr. Dělení materiálu má vliv i na kvalitu výrobku, a to kvalitou plochy v místě dělení ⁴.

V kovárnách se využívají většinou polotovary zhotovené válcováním za tepla a to zejména sochory čtvercové a kruhové, tyče čtvercové či kruhové, dále tlustostěnné trubky, polotovary protlačované a tažené. Výchozí rozměrnější polotovary je nutno dělit na přířezy konkrétní délky ⁵.

Mezi používané metody dělení materiálu (polotovarů) patří :

a) Dělení řezáním

Rozřezávání na rámových, kotoučových nebo pásových pilách patří k nejužívanějším metodám dělení materiálů. V současné době se stále více uplatňují nekonvenční způsoby elektrojiskrové laserem ^{5, 6}.

Dělení na rámových pilách

Dělení materiálu pomocí rámových pil má své přednosti především v kusové a malosériové výrobě. Nízká cena nástroje a stroje, spolu s poměrně nízkou spotřebou energie, zaručují vysokou hospodárnost této metody pro dané typy výroby. Výhodná je i jednoduchost obsluhy, snadná výměna pilového listu, nízká poruchovost a nízké náklady na opravu stroje (jednoduchá konstrukce). Za nevýhodu považujeme zejména nízkou

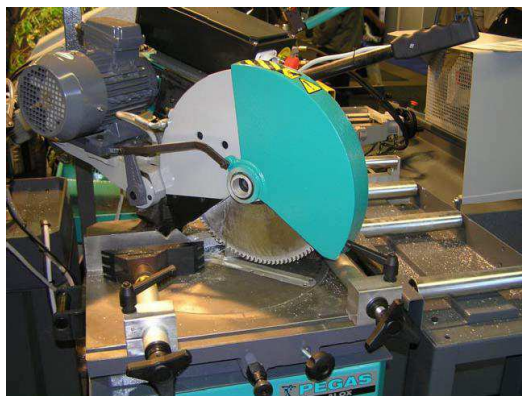
produktivitu řezání, špatnou přesnost řezu a relativně vysoké ztráty děleného materiálu ⁶.



Obr. 3 Rámová pila ⁶.

Dělení na kotoučových pilách

Mezi hlavní přednosti dělení materiálu na kotoučových pilách patří poměrně vysoká univerzálnost použití, produktivita, vysoká kvalita řezné plochy (vysoká přesnost řezné spáry a nízká drsnost povrchu obrobené plochy) a vysoká životnost pilového kotouče ⁶.



Obr. 4 Kotoučová pila ⁶.

Dělení na pásových pilách

Tato metoda se řadí k nejproduktivnějším metodám dělení materiálu a dochází zde k nejmenším ztrátám materiálu „prořezem“ (řezná spára je o jednu až dvě třetiny menší než u kotoučových nebo rámových pil), což se výrazně projeví především při dělení drahých materiálů. K dalším výhodám

patří vysoká kvalita řezné plochy. Mezi nevýhody lze zařadit zejména poměrně vysokou cenu nástroje. Touto metodou lze provádět i tvarové řezy. Dělení na pásových pilách se v současné době velmi intenzivně rozvíjí ⁶.

Řezání laserem

Zesílený laserový paprsek umožňuje dělit materiály nezávisle na jejich tepelně – fyzikálních vlastnostech. Předností technologie je velmi malá šířka řezu s minimální tepelně ovlivněnou oblastí. K nevýhodám metody patří vysoké investiční a provozní náklady (vysoká spotřeba plynů) ⁷.

Řezání laserem lze rozdělit na tři metody ⁷ :

- tavné dělení
- oxidační dělení
- sublimační dělení

Metody se liší zejména použitými plyny a způsobem odstraňování děleného materiálu v místě řezu. Každá z uvedených metod dělení je vhodná jen pro určité druhy materiálů ⁷.

b) Dělení rozbrušovacím kotoučem

Dělení rozbrušovacím kotoučem se řadí mezi velmi produktivní metody, jeho použití je však omezeno pouze pro specifické případy dělení těžkoobrobitelných materiálů, slabostěnných profilů nebo trubek, pro odstraňování otřepů tvářených nebo litých polotovarů, odřezávání vtoků, nálitků nebo ztracených hlav odlitek. Obecně je tato metoda vhodná pouze pro menší průměry nebo průřezy děleného materiálu, protože rozbrušovací kotouč se velmi rychle opotřebovává a tím zmenšuje svůj průměr. Rozbrušování by nemělo být používáno u takových materiálů, které mají sklon k zakalení nebo naopak popuštění povrchové vrstvy (některé legované samokalitelné oceli, kalené rychlořezné oceli), nebo které mají nízkou kritickou teplotu, při níž dochází k porušení struktury (titanové slitiny, většina plastů) ⁶.

Mezi výhody tohoto způsobu dělení patří úzký řez a z něj vyplývající malý odpad materiálu a dobrá kvalita plochy řezu (rovinnost, drsnost povrchu). Nevýhodou je pak velká spotřeba nástrojů a poměrně vysoká energetická náročnost procesu ⁶.

c) Dělení třecím kotoučem

Metoda, která je podobná dělení rozbrušovacím kotoučem. Nástroj zde však nemusí mít tvar kotouče. Nástrojem mohou být i pilové pásy nebo dráty.⁶

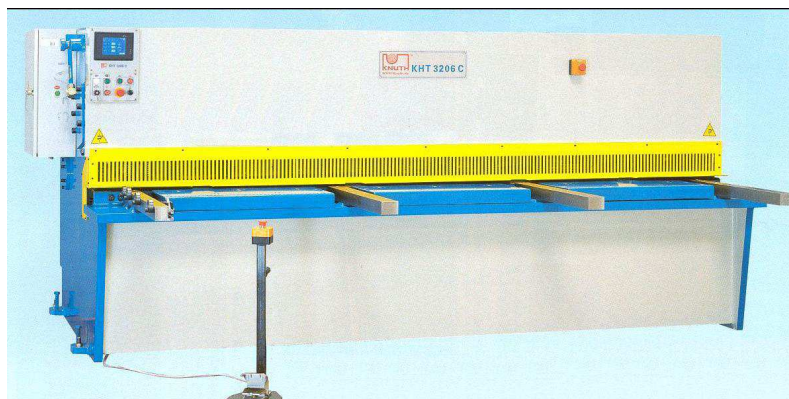
Kotouče nebo pásy pro frikční řezání mají nízké zuby. Princip řezání spočívá v tom, že při vysokých hodnotách řezné rychlosti ($v_c = 60 \div 150 \text{ m.s}^{-1}$) se povrchová vrstva děleného materiálu v místě styku s nástrojem velmi rychle ohřívá na vysokou teplotu, a tím dochází k podstatnému snížení tvrdosti i pevnosti obráběného materiálu, který se pak snadno odděluje ⁶.

Tato metoda má obdobné využití jako dělení rozbrušovacím kotoučem. Výhodná je především pro řezání tenkostěnných obrobků. Mezi další přednosti patří úzký a přesný řez a levný nástroj (nástroj je v řezu poměrně krátkou dobu, není proto příliš tepelně namáhán a může být vyroben z běžné konstrukční oceli) ⁶.

d) Dělení stříháním

Stříhání je nejrozšířenější metodou dělení materiálu. Patří k nejlevnějším a nejvýkonnějším způsobům dělení, nevýhodou však je snížení jakosti střížné plochy. Nízkouhlíkové a nízkolegované oceli se stříhají za studena, vysokouhlíkové a vysokolegované oceli za tepla (ohřev na $300^\circ \div 450^\circ \text{ C}$); dochází ke snížení střížné síly a vzniku trhlin ^{4, 5}.

Tenké plechy (do tloušťky 1 mm) a menší kusy se stříhají ručnímu nůžkami, plechy a pásy do tloušťky 40 mm, s maximální délkou až 6000 mm, tabulovými nůžkami. Nůžkami se také dělí tyče do průměru 50 mm a profily s maximálním průřezem až 2500 mm^2 . Na lisech se stříhacími přípravky nebo na speciálních stříhacích strojích se dělí tyče do průměru 150 mm za studena, tyče s průměrem až 250 mm za tepla ⁶.

Obr. 5 Tabulové nůžky ⁶**e) Dělení lámáním**

K lámání se obvykle používají speciální lámací stroje. Před lámáním je vhodné v místě lomu vytvořit vrub (o šířce 5 až 7 mm a hloubce 0,1d) naseknutím, naříznutím nebo plamenem. Polotovár se nahřívá kyslíko-acetylenovým plamenem v místě, kde dojde k ulomení. Zde se vytvoří vrub a zmenší se plocha průřezu. Lámáním nelze dělit měkké materiály, které by se pouze ohnuly. Mez pevnosti musí být vyšší, jak 600 MPa. Nevýhodou je nízká kvalita lomové plochy, možnost vzniku trhlin a jejich šíření do materiálu. Lámání patří k energeticky nejméně náročným metodám dělení. Používá se hlavně pro přípravu polotovarů pro tváření za tepla ^{4, 5, 6}.

f) Dělení sekáním

Tato metoda se používá poměrně málo, a to především u volného kování. Nástrojem je sekáč, který lze používat buď ručně nebo pomocí stroje, např. bucharu. Mezi nevýhody patří nízká produktivita, nerovná plocha se záseky, vysoká fyzická námaha. Nejčastěji se používá jako doplňková operace při odsekávání přebytečného materiálu na konci výkovku ⁴.

g) Dělení upichováním

Méně často používaný a dražší způsob dělení materiálu (rotačních součástí) upichovacím nožem na upichovacích automatech nebo univerzálních soustruzích. Ztráty materiálu jsou poměrně značné, na druhé

straně lze získat velmi hladké plochy. Používá se pro přesné rozměry polotovarů (např. pro protlačování), nedochází ke stlačení ^{4, 6}.

h) Tepelné dělení

Všechny metody tepelného dělení materiálu využívají soustředěné tepelné energie působící v místě řezu. Mezi metody tepelného dělení patří metoda využívající plamen, elektrický oblouk, plazma, laser a elektronový paprsek ⁶.

K nejpoužívanějším patří metoda dělení kyslíko-acetylenovým plamenem (acetylén - C_2H_2), která je založena na spalování ohřátého materiálu v místě řezu. Řezání se provádí ručně nebo na speciálních strojích. Zápalná teplota materiálu musí být menší než je jeho teplota tavení – tzv. teplota řezitelnosti. Tato metoda je velmi produktivní, vhodná je pro dělení nelegovaných ocelí do tloušťek 500 mm. Slitinové oceli lze řezat s předehřevem, nebo se do proudu kyslíku přidává kovový prášek, který se spaluje a zvyšuje tak teplotu řezání. K nevýhodám dělení materiálu plamenem patří velký prořez a špatná kvalita řezu (horší struktura povrchu a silné tepelné ovlivnění povrchové vrstvy) ⁶.

Dělení elektrickým obloukem je založeno na protavování materiálu v místě řezu pomocí obalených hlubokozávarových elektrod a vysokých hodnot protékajícího elektrického proudu. Produktivita dělení je nízká, kvalita řezu velmi špatná. Při řezání dutou elektrodou dochází k protavování a spalování materiálu v kyslíku, přiváděném dutinou elektrody do místa řezu. Tento způsob se používá pro dělení litin a slitinových ocelí, dosahovaná produktivita a kvalita řezu jsou vyšší než v předchozím případě ⁶.

Řezání laserem je popsáno výše mezi metodami řezání.

i) Dělení nekonvenčními metodami

Nekonvenční metody dělení materiálu jsou méně tradiční způsoby dělení materiálu, tzn. že nejsou v praxi aplikovány v takovém rozsahu jako tradiční metody, které jsou popsány výše. Tyto metody využívají různých účinků k úběru materiálu. Do těchto metod patří řezání plazmou, vodním paprskem, paprskem elektronů a řezání ultrazvukem. Někdy je k těmto metodám řazeno také řezání laserem ^{6, 7}.

V současné době jsou jednotlivé metody stále více zdokonalovány a zaváděny do průmyslu. Při dělení materiálů pomocí nekonvenčních technologií již není do řezného procesu zapojen přímo lidský faktor, nýbrž přesně naprogramované dělicí stroje, které umožňují vyrobit součásti velmi přesné a tvarově složité. Pořízení těchto strojů je však ekonomicky značně nákladné ⁷.

1.2 Rozšiřování trubek

Rozšiřování je technologická operace používaná k úpravě konců trubek, při které dochází ke zvětšení příčného průřezu dutého tělesa – trubky ⁸.

K rozšiřování se používají materiály, které jsou tvárné a chovají se elasticky. Tyto vlastnosti materiálu jsou důležité, abychom předešli výskytu vad na rozšiřovaných koncích trubek ⁸.

Některé zdroje rozlišují rozšiřování trubek na rozšiřování objemovým a plošným tvářením. Za plošné tvářením je považováno rozšiřování za působení tvářecí síly rovnoměrně na rozšiřovanou část, a tedy teoreticky nedochází ke změně tloušťky stěny. Jelikož tato situace prakticky není možná, budeme považovat všechny metody rozšiřování za tvářením objemové ⁸.

Metody rozšiřování trubek dělíme do tří základních skupin ⁸ :

- metody s využitím pevného nástroje

- trn a rotující trn, rozválnovací trn, rozpínací trn, radiálně se rozpínající čelisti, rozšiřování osovým tlakem, zaválnování trubek v trubkovnici

- metody s využitím nepevného nástroje

- vodní vak, guma (pryž), tlak plynu, tlaková vlna, magnetické pole

- speciální metody

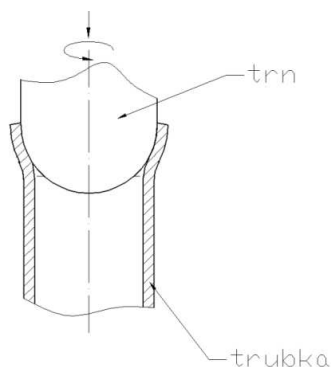
- výbuch, elektrický výboj, elektrohydraulické rozšiřování, rozšiřování magnetickým polem.

1.2.1 Metody rozšiřování s využitím pevného nástroje

Tyto metody jsou založeny na přímém kontaktu nástroje a tvářeného materiálu, přičemž nástroj v průběhu tváření nemění výrazně svůj tvar ⁸.

a) Rozšiřování trnem a rotujícím trnem

Metoda, která je považována za jeden z nejjednodušších způsobů rozšíření konce dutého tělesa – trubky. Rozšiřování je způsobeno posuvným pohybem trnu ve směru osy dutého tělesa, v případě použití rotujícího trnu ještě současnou rotací trnu kolem své osy. Na obr. 6 je znázorněno schéma rotujícího trnu, jenž svým tvarem zajistí postupné rozšíření. Při této metodě je vhodné použít olej, který zaručí plynulý pohyb trnu v trubce a zároveň zabráňuje většímu přehřívání ⁸.



Obr. 6 Schéma rozšiřování rotujícím trnem ⁸.

Výhody metody ⁸ :

- o jednoduché řešení nástroje
- o možnost použití v terénu
- o možnost použití na veškeré rozměry tenkostěnných dutých těles
- o jednoduchá manipulace
- o při použití elastických materiálů lze vynechat rotační pohyb trnu

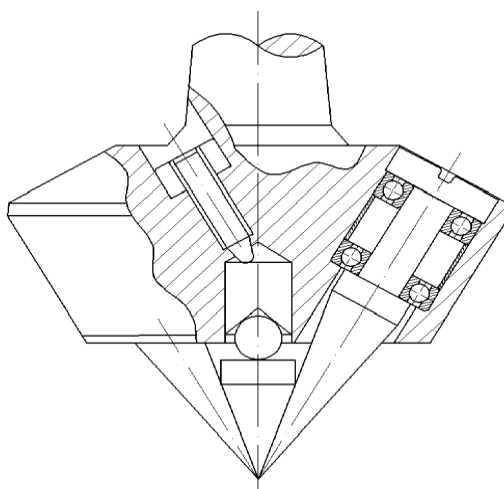
Nevýhody metody ⁸ :

- o při větších rozměrech je nutné použití činidla (oleje)
- o nelze použít na všechny typy rozšíření
- o kvalita rozšíření není dostačující pro všechny typy spojů

o nelze vyrobit složitější tvar rozšířeného konce trubky

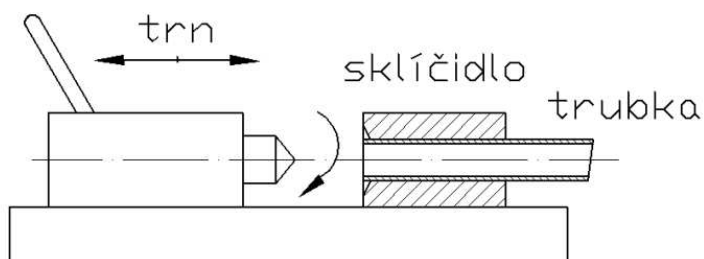
b) Rozšiřování rozválnovacím trnem

Pro výrobu kuželového hrdla se používá speciálních trnů, jež jsou znázorněny na obr. 7. Rozválnování se děje tlakem kuželů za současné rotace nástroje, přičemž kužely konají též vlastní rotační pohyb, odvalující se třením. Tento nástroj lze upnout do vřetene vrtačky nebo do vřetene upraveného soustruhu^{2, 8}.



Obr. 7 Rozválnovací trn^{2, 8}.

K rozválnování trnem lze použít také přípravek na rozválnování trubek zhotovený úpravou z konvenčního soustruhu. Trubka je upnuta ve sklíčidle, která má vložku s kuželovou dutinou. V koníku je rozválnovací trn, který zpravidla koná rotační pohyb. Kvalita rozválnování se posuzuje především s ohledem na možnosti výskytu trhlin².



Obr. 8 Přípravek na rozválnování trubek^{2, 8}.

*Výhody metody*⁸ :

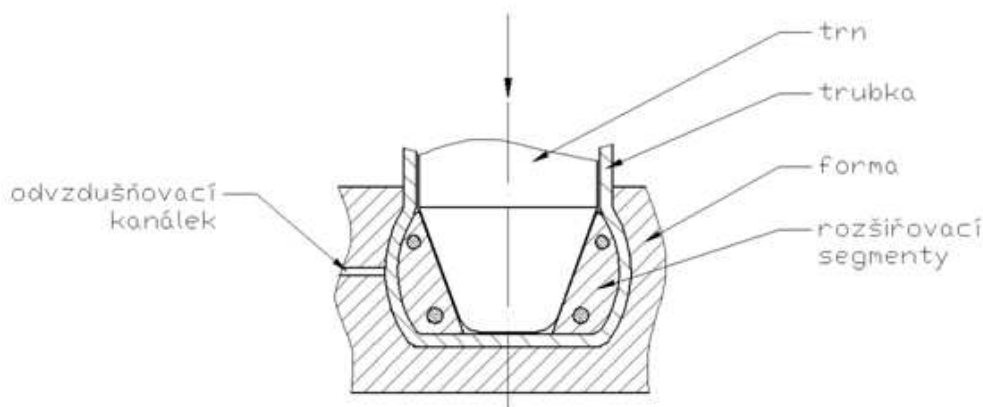
- o možnost použití na běžných konvenčních soustruzích
- o snadno automatizovaná metoda v sériových výroбах
- o jednoduchá manipulace

*Nevýhody metody*⁸ :

- o nutnost použití stroje
- o omezená životnost ložisek

c) Rozšiřování rozpínacím trnem

Rozšiřování touto metodou je umožněno zasouváním trnu do segmentů, jejichž tvarem je zajištěno potřebné rozšíření dutého tělesa. Velikost rozšíření je omezeno formou, která má tvar konečného rozměru dutého tělesa. Nutnou součástí formy je odvzdušňovací kanálek, který zamezí vzniku přetlaku uvnitř formy⁸.



Obr. 9 Schéma rozšiřování rozpínacím trnem⁸.

*Výhody metody*⁸ :

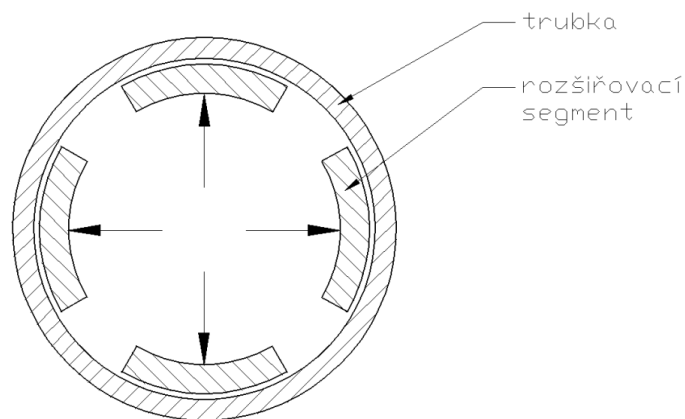
- o díky tvarovým segmentům lze dosáhnout složitějšího tvarového rozšíření než u rozšiřování trnem
- o kvalita rozšíření je větší než při použití rotačního trnu, při přechování trubky dochází k zesílení stěny trubky, které eliminuje zeslabení stěny vzniklé zvětšením průměru koncové části trubky

*Nevýhody metody*⁸ :

- o nutnost použití činidla (oleje)
- o každý průměr dutého tělesa vyžaduje vlastní typický rozměr segmentů
- o díky složitosti vysoká cena nástroje

d) Rozšiřování radiálně se rozpínajícími čelistmi

Metoda spočívá na principu radiálně se rozpínajících čelistech vůči ose dutého tělesa. Při radiálním posuvu segmentů čelistí dojde k dosednutí na vnitřní stěnu dutého tělesa a k jeho rozšíření. Tento postup se opakuje do dosažení požadovaného rozšíření⁸.



Obr. 10 Schéma rozšiřování radiálně se rozpínajícími čelistmi⁸.



Obr. 11 Nástroje k radiálnímu rozšiřování⁸.

*Výhody metody*⁸ :

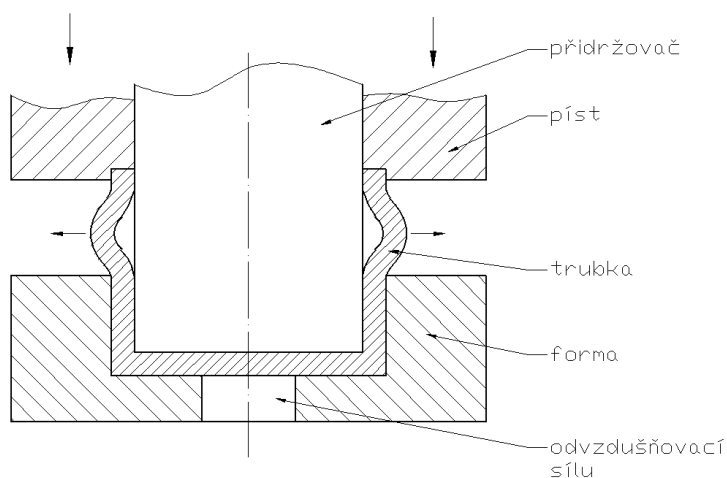
- o možnost použití pro materiály s větším přetvárným odporem – radiální posunutí je relativně menší než posunutí do dutého tělesa, tudíž nedochází k trhlinám ani podélným rýhám na vnitřní straně dutého tělesa
- o bez možnosti úniku přenášeného média dutým tělesem
- o radiální posuv se uskutečňuje přes pružinu, tudíž chod je stejnosměrný
- o libovolná volba přístroje pro vyvození rotačního pohybu, který je pak přeměněn v pohyb posuvný

*Nevýhody metody*⁸ :

- o nutnost použití přístroje na vyvození krouťícího momentu, jenž je přenášen přes vačku na píst
- o díky složitosti nástroje vyšší cena

e) Rozšiřování osovým tlakem

Duté těleso (trubka) je rozšiřováno v místě, kde se neopírá o formu. Duté těleso se rozšiřuje radiálně vůči ose nástroje. K vytvoření požadované osově síly slouží dochází obvykle pomocí lisu⁸.



Obr. 12 Schéma rozšíření osovým tlakem⁸.

*Výhoda metody*⁸ :

- o jednoduchost metody

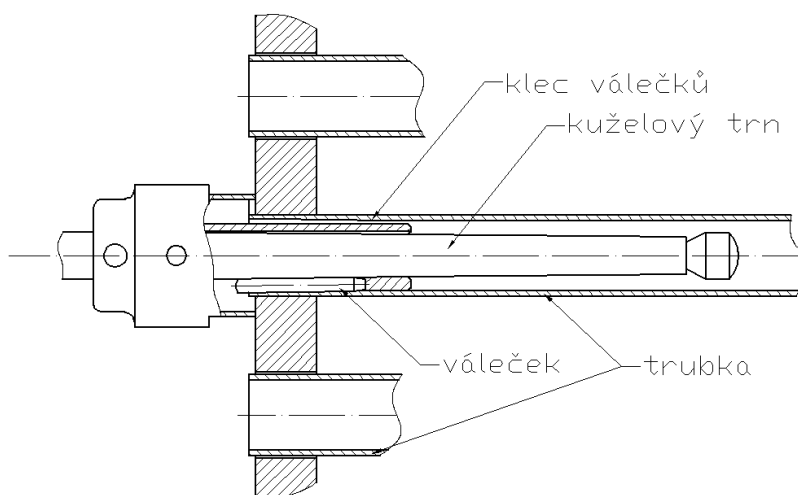
*Nevýhoda metody*⁸ :

- o nutnost odvodušňovacího kanálku

f) Technologie zaválcování trubek

Technologie zaválcování má následující princip : Osa válečků zaválcovacího strojeku je skloněna proti ose kuželového trnu o 2° až 3°, tudíž p ři otáčení trnu se současně otáčejí i válečky, vedené ve správné poloze klecí a posouvají trn vpřed⁸.

Zaválcování trubek může být prováděno ručně poháněnými válcovacími strojkami (zaválcovačkami), kdy jakost spoje závisí vždy na zkušenostech valčíře. Dále je možné zaválcování možno provádět pneumatickými vrtačkami a v současnosti spíše pomocí pneumatických utahováků a speciálních zaválcovaček⁸.



Obr. 13 Schéma zaválcování trubek⁸.

*Výhoda metody*⁸ :

- o zlepšení těsnosti zaválcování umožňuje tzv. hřebínkování – do otvoru se vytvoří až sedm mělkých drážek vedle sebe ve tvaru hřebínku,

hloubka drážky bývá 0,3 mm; zatékání materiálu do mělkých drážek je podstatně lepší

*Nevýhody metody*⁸ :

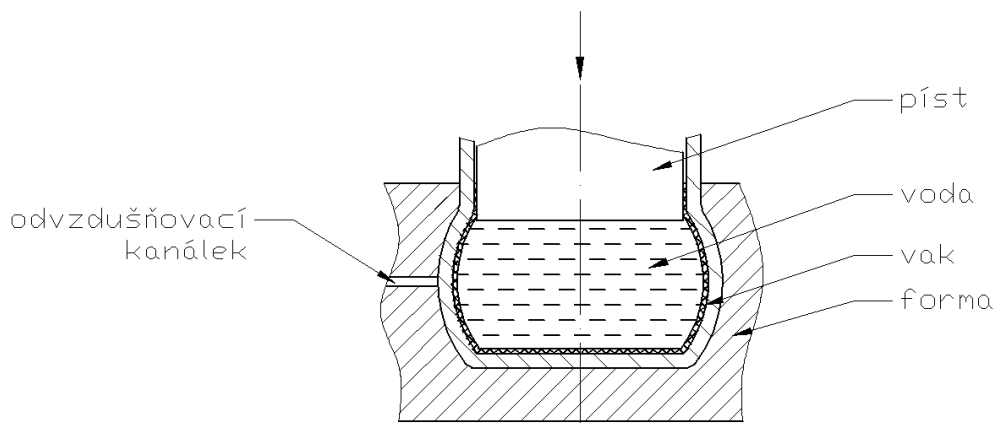
- o možnost převálcování – spoj trubky netěsní, příčinou je silné tváření válcovačkou až do překročení meze pevnosti
- o možnost nedoválcování – ve spoji vzniká mezera
- o možnost pronášení trubek – namáhání trubek při válcování tak, že se prohýbají uvnitř zařízení

1.2.2 Metody rozšiřování s využitím nepevného nástroje

Tyto metody jsou založeny na přímém kontaktu nástroje a tvářeného materiálu, přičemž nástroj v průběhu tváření mění výrazně svůj tvar⁸.

a) Rozšiřování vodním vakem

Metoda, která je založena na působení tlaku (pístu) na stěnu dutého tělesa, přenášeného pomocí vaku, který je napuštěn kapalinou (nejčastěji vodou). Kapalina rozloží napětí na celou plochu rozšiřované trubky. Velikost rozšíření je omezena formou, která má tvar konečného rozměru dutého tělesa. Ve formě je vytvořen odvzdušňovací kanálek, který zamezuje vzniku přetlaku uvnitř formy⁸.



Obr. 14 Schéma rozšiřování vodním vakem⁸.

*Výhody metody*⁸ :

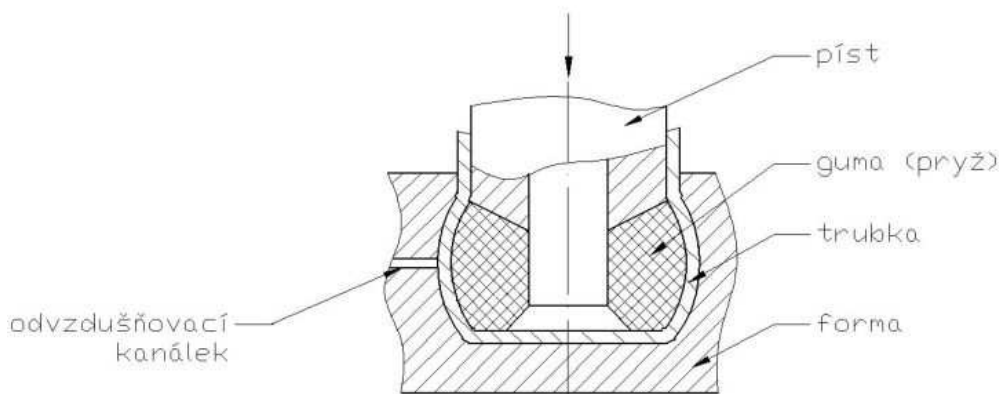
- o tvar formy lze zvolit takřka libovolný
- o jednoduchá manipulace

*Nevýhody metody*⁸ :

- o nutnost zajištění těsnosti mezi vakem a pístem
- o tlak v kapalině je omezen výrobními vlastnostmi možnosti zatížení těsnění mezi pístem a vakem

b) Rozšiřování gumou (pryží)

Metoda, která je obdobná jako metoda rozšiřování vodním vakem, avšak zde není na přenos tlaku použita kapalina, ale guma (pryž). Guma (pryž) podobně jako kapalina rozloží napětí na celou plochu rozšiřované trubky. Velikost rozšíření je omezena formou, která má tvar konečného rozměru dutého tělesa. Forma je opět opatřena odvzdušňovacím kanálkem, který zamezuje vzniku přetlaku uvnitř formy⁸.



Obr. 15 Schéma rozšiřování gumou (pryží)

*Výhody metody*⁸ :

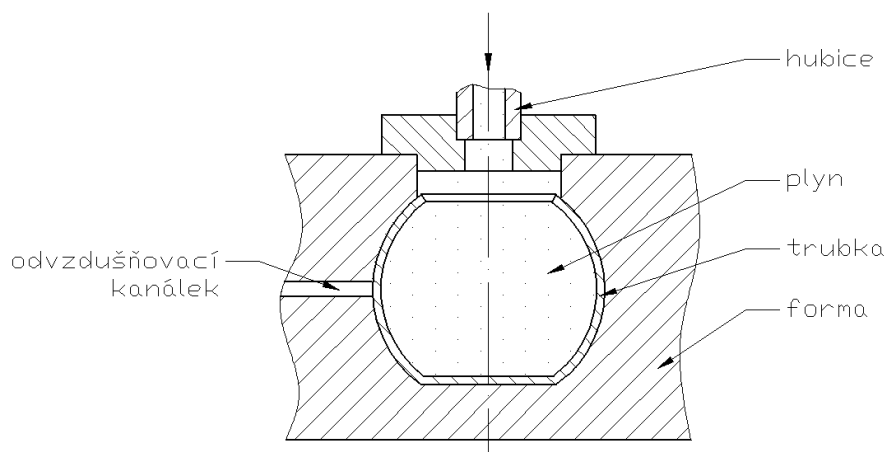
- o tvar formy lze zvolit takřka libovolný
- o jednoduchá manipulace

*Nevýhody metody*⁸ :

- o guma (pryž) má poměrně krátkou životnost => vyšší náklady
- o složitější nástroj

c) Rozšiřování tlakem plynu

Princip metody je podobný jako u metody rozšiřování vodním vakem nebo gumou (pryží). Tvářecí síla dané metody je vyvozena tlakem plynu na stěny dutého tělesa (trubky). Plyn je do formy přiveden hubicí. Velikost rozšíření je omezena formou, která má tvar konečného rozměru dutého tělesa. Forma je opatřena odvzdušňovacím kanálkem, který zamezuje vzniku přetlaku uvnitř formy⁸.



Obr. 16 Schéma rozšiřování tlakem plynu⁸.

*Výhody metody*⁸ :

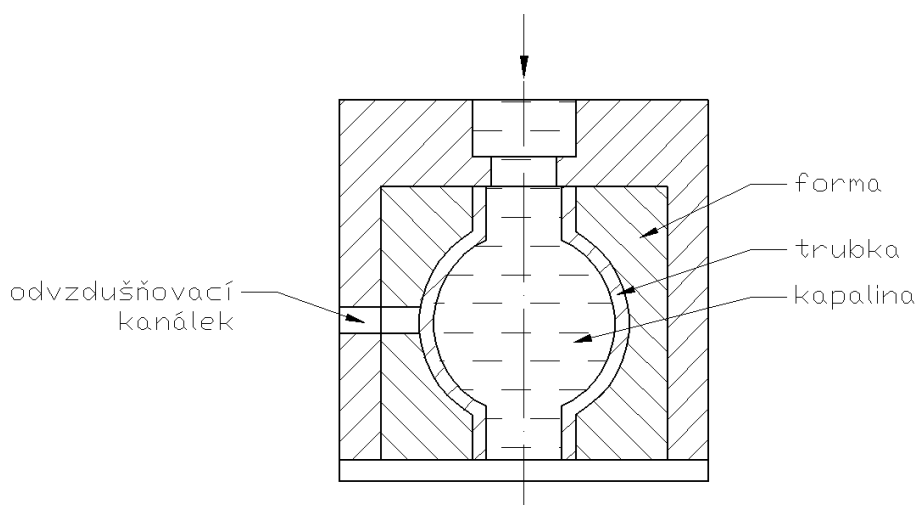
- o tvar formy lze zvolit takřka libovolný
- o nedochází k opotřebení nástroje

*Nevýhody metody*⁸ :

- o nutnost zajištění těsnosti tvářecího zařízení
- o složitější nástroj

d) Rozšiřování tlakovou vlnou

Princip metody je podobný jako u metody rozšiřování vodním vakem, gumou (pryží) nebo tlakem plynu. Rozdílná je pouze délka trvání působení média. Při rozšiřování tlakovou vlnou působí médium na duté těleso (trubku) jen po krátký časový úsek. Velikost rozšíření je omezena formou, která má tvar konečného rozměru dutého tělesa. Forma je opět opatřena odvzdušňovacím kanálkem, který zamezuje vzniku přetlaku uvnitř formy⁸.



Obr. 17 Schéma rozšiřování tlakovou vlnou⁸.

Výhody metody⁸:

- o tvar formy lze zvolit takřka libovolný
- o nedochází k opotřebení nástroje

Nevýhody metody⁸:

- o nutnost zajištění těsnosti tvářecího zařízení
- o složitější nástroj

1.2.3 Metody rozšiřování s využitím speciálních metod

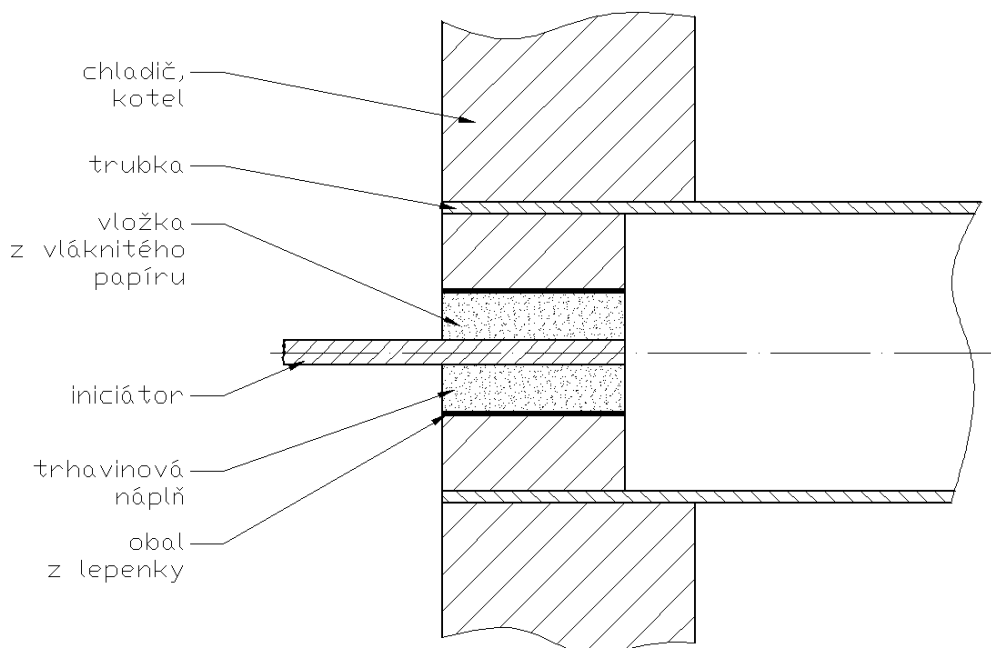
Tato podkapitola je zaměřena na některé metody rozšiřování konců trubek pomocí speciálních technologických postupů⁸.

a) Rozšiřování konců trubek výbuchem

Tato metoda je vhodná a nejvíce používaná pro upevňování trubek do trubkovnic v různých oblastech využití. Metodu lze také použít pro zaslepování vadných trubek⁸.

Tuto metodu lze rozdělit na dvě varianty⁸:

- provedení explozivního spoje, při němž existuje viditelná hranice mezi trubicí a trubkovnicí
- provedení explozivně svařeného spoje, při němž vzniká nerozebíratelný spoj



Obr. 18 Schéma rozšiřování pomocí výbuchu⁸.

*Výhody metody*⁸:

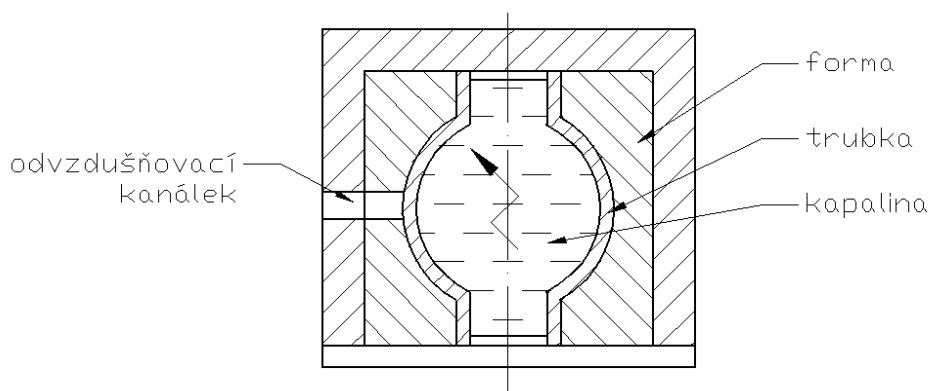
- o možnost upevnění trubky přímo do trubkovnice
- o vysoká pevnost a těsnost vzniklého spoje

*Nevýhody metody*⁸:

- o značná pracnost metody
- o nutnost specializované obsluhy

b) Elektrohydraulické rozšiřování

Metoda elektrohydraulického rozšiřování je principiálně založena na tlakové vlně, která je vyvolaná elektrickým výbojem v kapalině (nejčastěji ve vodě). Velikost rozšíření je omezena formou, která má tvar konečného rozměru dutého tělesa (trubky). Forma je opatřena odvzdušňovacím kanálkem, který zamezuje vzniku přetlaku uvnitř formy⁸.



Obr. 19 Schéma elektrohydraulického rozšiřování⁸.

*Výhody metody*⁸ :

- o tvar formy lze zvolit takřka libovolný
- o nedochází k opotřebení nástroje

*Nevýhoda metody*⁸ :

- o nutnost zajištění těsnosti tvářecího zařízení

1.3 Simulace ve tváření

Posouzení výrobitelnosti a stanovení kritických míst tvářené součásti lze efektivně urychlit za pomoci využití simulačního softwaru. Softwary obvykle umožňují provést kompletní simulaci dané operace tváření. Simulace napomáhá zkrátit čas potřebný pro vývoj a zkoušky tvářecího nástroje tím, že předsovává tyto úkony do fáze návrhu³.

Simulace výrobních procesů pomáhá významně zvyšovat produktivitu ve fázi přípravy výroby. Většina simulačních software využívá k výpočtům metodu konečných prvků (MKP – FEM, tj. finite element method). Ve strojírenství se simulují procesy řady problémů od simulace technologií až po simulace celých zařízení a strojů ¹².

Simulační softwary užívané pro simulace ve tváření ¹² :

- Marc / Autoforge
- DEFORM
- FORGE 2, 3
- SUPERFORGE
- PAM – STAMP
- FORMFEM
- Form 2D
- Q – Form

DEFORM

DEFORM pracuje metodou konečných prvků, simuluje ve škále teplot běžně používaných ve tváření. Software umožňuje simulace v oblasti objemového i plošného tváření, umožňuje práci ve 2D i 3D režimu. Hustotu sítě lze nastavit automaticky nebo manuálně podle charakteru simulace. Software během simulace, tak jako většina softwarů používaných pro simulace ve tváření, automaticky přesítovává simulační síť. DEFORM užívá otevřenou materiálovou databázi ¹².

2 TECHNICKÁ ZPRÁVA

2.1 Základní informace o vyráběné součásti

Název součásti : Redukční část trubky (Příloha 1)

Funkce součásti : Redukce průměru potrubí

Součást zajišťuje redukci průměru potrubí pomocí navažení mezi potrubí různých průměrů. U součásti je požadováno zachování tloušťky stěny kvůli tlakovému namáhání.

Velikost výrobní série : 30 000 ks

2.2 Materiál součásti

Součást je vyrobena z oceli 11 353.1 . Jedná se o nelegovanou ocel k výrobě bezešvých trubek, je vhodná na potrubí a všechny druhy rozvodů, při tloušťce stěny do 25 mm je zaručena svařitelnost ^{13, 14}.

Mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tab. 1 a tab.2 .

Tab. 1 Mechanické vlastnosti ^{13, 14}.

Stav .1	normalizačně žíháno
R _m [MPa]	343-441
R _{eH} [MPa]	max. 330
A ₅ [%]	min. 25
Tvrdost HB	max. 135

Tab. 2 Chemické vlastnosti ¹³.

C [hm. %]	max. 0,18
P [hm. %]	max. 0,05
S [hm. %]	max. 0,05
P+S [hm. %]	max. 0,09

2.3 Výchozí polotovar

Polotovarem je bezešvá hladká kruhová trubka z nelegované oceli tvářená za tepla, ČSN 42 5715.01, rozměr Ø22 x 3,2 mm. Výchozí polotovar bude

dodáván v délce trubek 6m. Hmotnost polotovaru je 1,48 kg/m; mezní úchylna vnějšího průměru je $\pm 0,5$ mm; vnitřní a vnější povrch je okujený¹⁵.

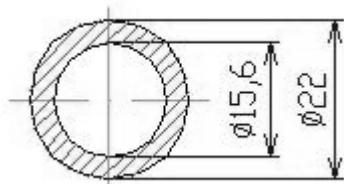
2.4 Volba metody výroby součástí

Z důvodu jednoduchosti technologie výroby je zvolena metoda rozšiřování trnem.

2.5 Výpočtová část

2.5.1 Výpočet tloušťky stěny trubky po roztažení na požadovaný vnitřní průměr

- výpočet plochy mezikruží před roztažením :



$$\text{Ø}d_{12}=15,6\text{mm}$$

$$\text{Ø}D_{12}=22,0\text{mm}$$

Obr. 20 Mezikruží polotovaru před roztažením.

$$S_{m0} = \frac{\pi(D_{12}^2 - d_{12}^2)}{4} \quad (2.1)$$

$$S_{m0} = \frac{\pi(22^2 - 15,6^2)}{4}$$

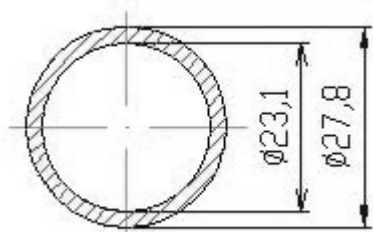
$$\underline{S_{m0} \doteq 189,00\text{mm}^2}$$

kde : D_{12} – vnější průměr polotovaru [mm]

d_{12} – vnitřní průměr polotovaru [mm]

S_{m0} – plocha mezikruží polotovaru [mm²]

- výpočet vnějšího průměru roztažené trubky :



$$\varnothing d_{11} = 23,1 \text{ mm}$$

$$\varnothing D = 27,8 \text{ mm}$$

Obr. 21 Mezikruží trubky po roztažení.

$$S_{m0} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_{11}^2)}{4} \quad (2.2)$$

$$\pi \cdot D^2 = 4 \cdot S_{m0} + \pi \cdot d_{11}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{m0} + \pi \cdot d_{11}^2}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 189,00 + \pi \cdot 23,1^2}{\pi}}$$

$$\underline{D \doteq 27,8 \text{ mm}}$$

kde : D – vnější průměr trubky po roztažení [mm]

d_{11} – požadovaný vnitřní průměr trubky po roztažení [mm]

- výpočet tloušťky stěny v rozšířené části :

$$t = \frac{D - d_{11}}{2} \quad (2.3)$$

$$t = \frac{27,8 - 23,1}{2}$$

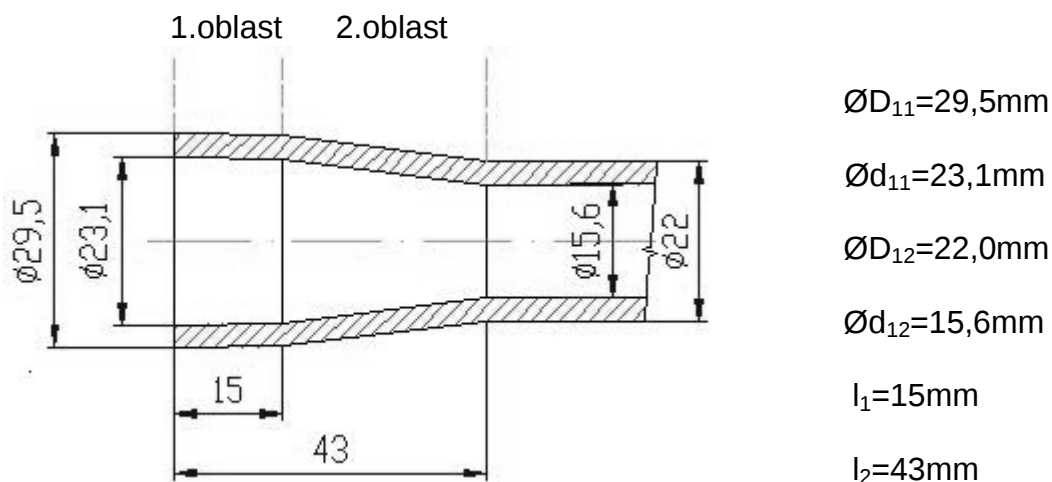
$$\underline{t = 2,35 \text{ mm}}$$

kde : t – tloušťka stěny trubky po roztažení [mm]

Tloušťka stěny trubky po samotném roztažení na požadovaný vnitřní průměr se zmenší asi o 0,85 mm. Požadovaná tloušťka stěny trubky je minimálně 3,2 mm, tzn. že je nutno tvářenou část trubky napěchovat.

2.5.2 Výpočet délky polotovaru před tvářením

- výpočet ploch mezikruží a objemů tvářených oblastí na hotové součásti :



Obr. 22 Schéma rozdělení tvářených oblastí součásti

1. oblast :

výpočet plochy mezikruží :

$$S_{m1} = \frac{\pi(D_{11}^2 - d_{11}^2)}{4} \quad (2.4.)$$

$$S_{m1} = \frac{\pi(29,5^2 - 23,1^2)}{4}$$

$$S_{m1} \doteq 264,40 \text{ mm}^2$$

kde : D_{11} – vnější požadovaný (konečný) průměr součásti

[mm]

d_{11} – vnitřní požadovaný průměr součásti

[mm]

výpočet objemu 1. oblasti :

$$V_1 = S_{m1} \cdot l_1 \quad (2.5)$$

$$V_1 = 264,40 \cdot 15$$

$$\underline{V_1 \doteq 3966,00 \text{ mm}^3}$$

kde : V_1 – objem první oblasti součásti $[\text{mm}^3]$
 S_{m1} – plocha mezikruží koncové části první oblasti součásti $[\text{mm}^2]$

2. oblast :

výpočet plochy mezikruží :

$$S_{m2} = \frac{\pi \cdot (D_{11}^2 + D_{12}^2)}{4} - \frac{\pi \cdot (d_{11}^2 + d_{12}^2)}{4} \quad (2.6)$$

$$S_{m2} = \frac{\pi \cdot (29,5^2 + 22^2)}{4} - \frac{\pi \cdot (23,1^2 + 15,6^2)}{4}$$

$$\underline{S_{m2} \doteq 226,70 \text{ mm}^2}$$

výpočet objemu 2. oblasti :

$$V_2 = S_{m2} \cdot (l_2 - l_1) \quad (2.7)$$

$$V_2 = 226,70 \cdot (43 - 15)$$

$$\underline{V_2 \doteq 6347,60 \text{ mm}^3}$$

kde : V_2 – objem druhé oblasti součásti $[\text{mm}^3]$
 S_{m2} – plocha mezikruží druhé oblasti součásti $[\text{mm}^2]$

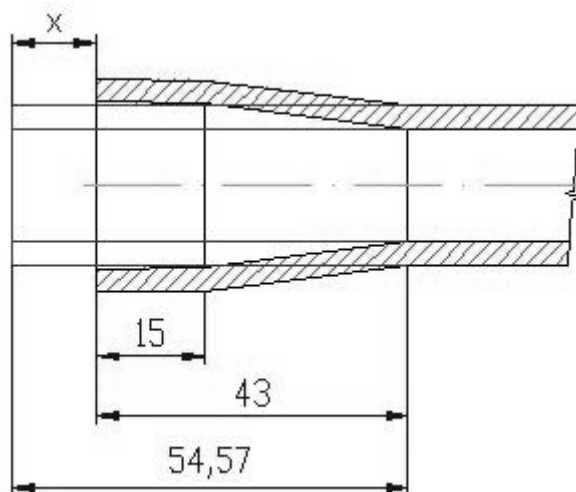
- výpočet délky tvářené části polotovaru před tvářením :

$$l = \frac{V_1 + V_2}{S_{m0}} \quad (2.8)$$

$$l = \frac{3966,00 + 6347,60}{189,00}$$

$$l = 54,57 \text{ mm}$$

kde : l – délka tvářené části polotovaru před tvářením [mm]



Obr. 23 Schéma tvářené části polotovaru a součásti

- výpočet rozdílu délky polotovaru a hotové součásti :

$$x = l - l_2 \quad (2.9)$$

$$x = 54,57 - 43$$

$$x = 11,57 \text{ mm}$$

kde : x – rozdíl délky polotovaru a hotové součásti [mm]

K délce hotové součásti se na tvářeném konci připočte 12 mm , tzn. že délka polotovaru před tvářením je 142 mm.

2.5.3 Výpočet skutečné (logaritmické) deformace

$$\varphi_{S_m} = \int_{S_{m0}}^{S_{m1}} \frac{dS_m}{S_m} \quad (2.10)$$

$$\varphi_{S_m} = [\ln S_m]_{S_{m0}}^{S_{m1}}$$

$$\varphi_{S_m} = \ln S_{m1} - \ln S_{m0}$$

$$\varphi_{S_m} = \ln \frac{S_{m1}}{S_{m0}}$$

$$\varphi_{S_m} = \ln \frac{264,40}{189,00}$$

$$\underline{\underline{\varphi_{S_m} \doteq 0,34}}$$

kde : φ_{S_m} – skutečná (logaritmická) deformace [-]

Dle výpočtu trvalé (logaritmické) deformace lze součást vyrobit na jednu operaci.

2.5.4 Výpočet tvářecí síly ¹¹

$$F_t = \sigma_D \cdot S \quad (2.11)$$

$$F_t = 330 \cdot \frac{\pi \cdot (29,5^2 - 15,6^2)}{4}$$

$$\underline{\underline{F_t = 162478,22\text{ N} \doteq 163\text{ kN}}}$$

kde : F_t – tvářecí síla [N]
 σ_d – deformační odpor [MPa]
 S – funkční plocha lisovníku [mm²]

Pozn. Velikost deformačního odporu při nulové deformaci zhruba odpovídá mezi kluzu.

2.6 Simulace procesu tváření zadané součásti

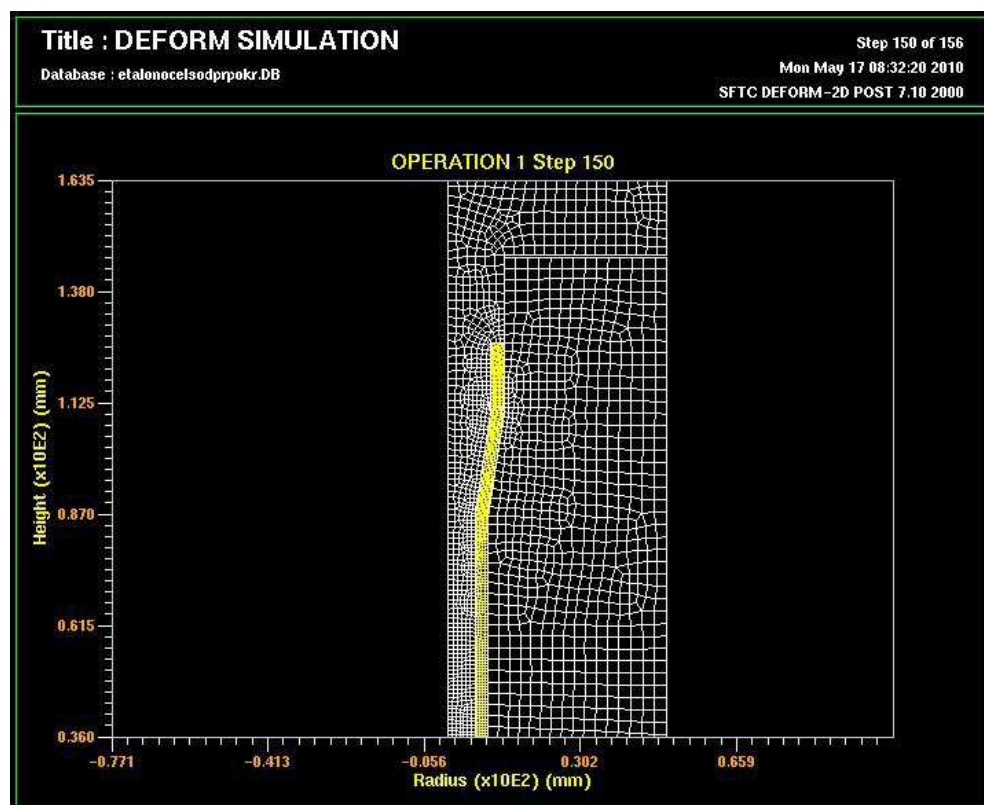
K ověření výrobitelnosti součásti na jednu operaci a k určení chování materiálu trubky během tvářecího procesu bylo využito simulačního softwaru DEFORM³.

Vstupní data :

- geometrie objektů
- jakost objektů
- teplota objektů
- pohyb nástrojů
- přestup tepla



Obr. 24 Úvodní konfigurace simulace procesu tváření na jednu operaci.



Obr. 25 Konečná konfigurace simulace procesu tváření na jednu operaci.



Obr. 26 Stupeň přetvoření ve střední části zdvihu.



Obr. 27 Stupeň přetvoření na konci zdvihu.



Obr. 28 Stupeň přetvoření ve střední části zdvihu.



Obr. 29 Detailnější znázornění stupně přetvoření na konci zdvihu.



Obr. 30 Průběh napětí ve střední části zdvihu.



Obr. 31 Průběh napětí na konci zdvihu.

Vyhodnocení simulace tváření dané součásti

Z obr. 24 a obr. 25, na nichž je úvodní a konečná konfigurace simulovaného procesu objemového tváření součásti na jednu operaci, je patrné, že materiál polotovaru trubky je lisovníkem roztažen a následně napěchován na požadovaný rozměr na jednu operaci.

Místa s nejvyšším stupněm přetvoření jsou na obr. 26 a obr. 27 znázorněna červenou a oranžovou barvou, na obr. 28 a obr. 29 fialově ohraničenou oblastí označenou písmeny F.

Na obr. 30 a obr. 31 jsou znázorněny místa s nejvyšším napětím oranžovou a žlutou barvou.

2.7 Návrh maziva

K výrobě dané součásti byl zvolen tvářecí olej DRAWSOL 3068 od firmy CHARVÁT Group s.r.o., která zastupuje v České republice společnost D.A.Stuart Oil.

Popis maziva :

DRAWSOL 3068 je speciální olej ke studenému tváření na bázi minerálního oleje pro tváření nelegovaných ocelí, hliníku a jeho slitin a barevných kovů ¹⁶.

Použití maziva :

Olej se používá pro hluboké tažení i s velkým ztenčením stěny, lisování, přechování, ohraňování, ohýbání, ražení, přesné stříhání, tažení profilů a drátů z nelegované oceli, hliníku a barevných kovů ¹⁶.

Tab. 3 Charakteristika oleje DRAWSOL 3068 ¹⁶.

Viskozita při 40 °C [mm ² /s]	68
Hustota při 20 °C [g/cm ³]	0,85
Bod vzplanutí [°C]	> 180
Aditivace	střední

2.8 Návrh nástroje

Dle ověření výpočtem a simulací lze vyráběnou součást tvářet na jednu operaci. Nástroj je tedy navržen na současné rozšíření a napěchování vyráběné součásti.

Pracovní části nástroje jsou lisovník (Příloha 5) a lisovnice (Příloha 4). Lisovník i lisovnice jsou pomocí upínek připevněny šrouby k beranu resp. pracovnímu stolu lisu.

V příloze je uveden výkres sestavy tvářecího nástroje (Příloha 2) a seznam položek sestavy (Příloha 3).

2.9 Návrh výrobního zařízení

2.9.1 Volba lisu

Při volbě vhodného tvářecího stroje je nutné brát v úvahu především tvářecí sílu, rozměry součásti a s nimi související zdvih beranu a možné rozevření ¹⁷.

Pro zadanou součást byl navržen stolní lis ZHW 40 od firmy PRESSHYDRAULIKA, s.r.o.



Obr. 32 Hydraulický stolní lis ZHW 40 ¹⁸.

Popis lisu :

Lis je vhodný pro lisování, děrování, ohraňování, stříhání, tažení a rovnání. Mezi přednosti tohoto lisu patří stejná lisovací síla v každém místě zdvihu, plynule nastavitelná síla a lisovací rychlost, nastavitelné pracovní polohy beranu a uzamykatelné voliče pracovních režimů. Mezi příslušenství lisu patří spodní vyhazovač ¹⁸.

Tab. 4 Parametry lisu ZHW 40 ¹⁸.

Lisovací síla	400 kN
Zdvih beranu	250 mm
Přibližovací rychlost	82 mm/s
Rozměry stolu: š x d	480 x 600 mm
Rozměry beranu: š x d	250 x 470 mm
Rozevření	450 mm

2.9.2 Volba kotoučové pily

K dělení polotovaru byla zvolena kotoučová pila PEGAS 350 FEROX od firmy PEGAS GONDA. Kotoučová pila byla zvolena především kvůli vysoké kvalitě řezné plochy ¹⁹.



Obr. 33 Kotoučová pila PEGAS 350 FEROX ¹⁹.

Tab. 5 Parametry kotoučové pily PEGAS 350 FEROX ²⁰.

Otáčky motoru	1400 – 2800 ot/min
Kotouč	Ø 315-350 mm
Výkon hl. elektromotoru	1,8/2,2 kW
Max. rozevření svěráku	125 mm

3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI

Tab. 6 Návrh technologického postupu ¹⁷.

Technologický postup		
Součást : Redukční část trubky		Číslo výkresu : 4-O69-05/1
Materiál: 11 353.1	Polotovar: Ø22 – 142 ČSN 42 5715	Hmotnost: 0,21 kg
Č. op.	Strojní zařízení	Popis operace
1	kotoučová pila PEGAS 350 FEROX	řezání polotovaru bezešvá hladká trubka na části o délce 142 mm
2	-----	mazání polotovaru tvářecím olejem DRAWSOL 3068
3	hydraulický lis ZHW 40	rozšíření a napěchování součásti na jeden zdvih
4	-----	kontrola tvaru, rozměrů a kvality součásti

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ^{3, 15, 17, 21}

Úkolem technicko – ekonomického hodnocení je stanovení nákladů potřebných k výrobě zadané součásti dle navrženého technologického postupu, určení prodejní ceny součásti při dosažení požadovaného zisku a stanovení výrobního množství, které je nutno vyrobit pro generaci zisku. Pro výpočet je použito dostupných informací z internetu, případně jsou stanoveny odborným odhadem. Ekonomické zhodnocení je provedeno formou předběžné kalkulace, proto je třeba provedené výpočty chápat pouze jako orientační^{3, 17}.

Vstupní hodnoty :

Velikost výrobní série : $Q_S = 30\,000$ ks
 Hmotnost jednoho kusu polotovaru : $m_{sv} = 1,48 \cdot 6 = 8,88$ kg
 Potřebný počet kusů polotovaru pro výrobu série : $n_{st} = 858$ ks

- počet kusů přířezu z jednoho polotovaru (délky 6m) :

$$n_p = \frac{l_p}{l_{př} + š_k}$$

$$n_p = \frac{6}{0,142 + 0,026}$$

$$\underline{n_p = 35,7 \doteq 35ks}$$

kde : n_p – počet kusů přířezu z jednoho polotovaru délky 6m [ks]

l_p – délka základního polotovaru [m]

$l_{př}$ – délka přířezu [m]

$š_k$ – šířka řezného kotouče [m]

- *potřebný počet kusů polotovaru pro výrobní sérii :*

$$n_{st} = \frac{Q_s}{n_p}$$

$$n_{st} = \frac{30000}{35}$$

$$\underline{n_{st} = 857,14 \doteq 858ks}$$

4.1 Přímé náklady

4.1.1 Náklady na materiál

Cena jednoho metru polotovaru : 58,29 Kč/m

Cena jednoho kusu polotovaru (6m) : 349,74 Kč

$$N_m = n_{st} \cdot P_s$$

$$N_m = 858 \cdot 349,74$$

$$\underline{\underline{N_m = 300076,92Kč}}$$

kde : P_s – cena jednoho kusu polotovaru [Kč]

4.1.2 Náklady na mzdy

Dělení materiálu

Dělení materiálu provádí jeden pracovník. Průměrná hodinová mzda pracovníka obsluhy místa dělení materiálu je stanovena dle mzdového kalkulátoru ^{3, 21}.

$H_{md} = 132,43$ Kč/hod

$$N_{mzd} = t_{celk.d} \cdot H_{md}$$

$$N_{mzd} = 112,26 \cdot 132,43$$

$$\underline{\underline{N_{mzd} = 14867Kč}}$$

- čas strojní :

$$t_{Ad} = \frac{Q_s}{př \cdot 60}$$

$$t_{Ad} = \frac{30000}{6 \cdot 60}$$

$$\underline{t_{Ad} = 83,30hod}$$

kde : př – počet řezů

[řez/min]

- čas dávkový :

$$t_{Bd} = \frac{n_{st} \cdot t_{1d} + t_{2d}}{60}$$

$$t_{Bd} = \frac{858 \cdot 2 + 20}{60}$$

$$\underline{t_{Bd} = 28,93hod}$$

kde : t_{1d} – umístění a upevnění polotovaru na pile $\rightarrow t_{1d} = 2 \text{ min}$

t_{2d} – výměna a upnutí řezných kotoučů $\rightarrow t_{2d} = 20 \text{ min}$

- čas celkový :

$$t_{celk.d} = t_{Ad} + t_{Bd}$$

$$t_{celk.d} = 83,33 + 28,93$$

$$\underline{t_{celk.d} = 112,26hod}$$

Mazání polotovarů

Mazání polotovarů provádí jeden pracovník. Průměrná hodinová mzda pracovníka je stanovena dle mzdového kalkulátoru ²¹.

$$H_{mm} = 97,64 \text{ Kč/hod}$$

$$N_{mzm} = t_{celk.m} \cdot H_{mm}$$

$$N_{mzm} = 41,67 \cdot 97,64$$

$$\underline{\underline{N_{mzm} = 4069Kč}}$$

- čas mazání :

$$t_{celk.m} = \frac{Q_s}{m \cdot 60}$$

$$t_{celk.m} = \frac{30000}{12 \cdot 60}$$

$$\underline{\underline{t_{celk.m} = 41,67hod}}$$

kde : m – počet mazaných součástí

[mazání/min]

Lisovací linka

Lisovací linku obsluhuje jeden pracovník. Průměrná hodinová mzda pracovníka obsluhy lisovací linky je stejná jako obsluha dělení materiálu a je stanovena dle mzdového kalkulátoru^{3, 21}.

$$H_{ml} = 132,43 \text{ Kč/hod}$$

$$N_{mzl} = t_{celk.l} \cdot H_{ml}$$

$$N_{mzl} = 102,5 \cdot 132,43$$

$$\underline{\underline{N_{mzl} = 13575Kč}}$$

- čas strojní :

$$t_{Al} = \frac{Q_s}{zd_l \cdot 60}$$

$$t_{Al} = \frac{30000}{5 \cdot 60}$$

$$\underline{\underline{t_{Al} = 100hod}}$$

kde : z_{dl} – počet zdvihů lisu

[zdvih/min]

- čas dávkový :

$$t_{Bl} = \frac{t_{1l} + t_{2l}}{60}$$

$$t_{Bl} = \frac{90 + 60}{60}$$

$$\underline{t_{Bl} = 2,5 \text{ hod}}$$

kde : t_{1l} – ustavení a upnutí nástrojů $\rightarrow t_{1l} = 90 \text{ min}$

t_{2l} – kontrola a nastavení správného chodu linky $\rightarrow t_{2l} = 60 \text{ min}$

- čas celkový :

$$t_{celk,l} = t_{Al} + t_{Bl}$$

$$t_{celk,l} = 100 + 2,5$$

$$\underline{t_{celk,l} = 102,5 \text{ hod}}$$

Celkové náklady na mzdy :

$$N_{mz} = N_{mzd} + N_{mzn} + N_{mzl}$$

$$N_{mz} = 14867 + 4069 + 13575$$

$$\underline{\underline{N_{mz} = 32511 \text{ Kč}}}$$

4.1.3 Náklady na strojní vybavení

Náklady na zařízení k dělení materiálu

Strojní hodinová sazba kotoučové pily je 400 Kč/hod.

$$N_{hsd} = 400 \text{ Kč/hod}$$

$$N_{nd} = t_{Ad} \cdot N_{hsd}$$

$$N_{nd} = 83,33 \cdot 400$$

$$\underline{\underline{N_{nd} = 33332Kč}}$$

Náklady na lisovací linku

Strojní hodinová sazba lisovací linky je 1200 Kč/hod.

$$N_{hsl} = 1200 \text{ Kč/hod}$$

$$N_{nl} = t_{Al} \cdot N_{hsl}$$

$$N_{nl} = 100 \cdot 1200$$

$$\underline{\underline{N_{nl} = 120000Kč}}$$

Celkové náklady na strojní vybavení

$$N_s = N_{nd} + N_{nl}$$

$$N_s = 33332 + 120000$$

$$\underline{\underline{N_s = 153332Kč}}$$

4.1.4 Celkové přímé náklady

$$N_p = N_m + N_{mz} + N_s$$

$$N_p = 300076,92 + 32511 + 153332$$

$$\underline{\underline{N_p = 485919,92Kč}}$$

Přímé náklady na jednu součást

$$N_{p1} = \frac{N_p}{Q_s}$$

$$N_{p1} = \frac{485919,92}{30000}$$

$$\underline{\underline{N_{p1} = 16,20Kč}}$$

4.2 Nepřímé náklady

$$N_{ne} = \frac{N_{mz} \cdot (VR + SR)}{100}$$

$$N_{ne} = \frac{32511 \cdot (420 + 110)}{100}$$

$$\underline{\underline{N_{ne} = 172308,30Kč}}$$

kde : VR – výrobní režie → VR = 420 %

SR – správní režie → SR = 110 %

4.3 Variabilní náklady

$$VN = N_p + N_{ne}$$

$$VN = 485919,92 + 172308,30$$

$$\underline{\underline{VN = 658228,22Kč}}$$

Variabilní náklady na jednu součást

$$VN_1 = \frac{VN}{Q_s}$$

$$VN_1 = \frac{658228,22}{30000}$$

$$\underline{\underline{VN_1 = 21,94Kč}}$$

4.4 Fixní náklady**4.4.1 Náklady na nástroje**

Nástroj byl vyroben externí firmou, která se zabývá konstrukčními návrhy a výrobou lisovacích nástrojů.

Náklady na lisovací nástroj

$$N_{\text{nástr.l}} = 98\,000 \text{ Kč}$$

4.4.2 Ostatní fixní náklady

Mezi ostatní fixní náklady jsou zahrnuty pořizovací ceny strojů, jejich výše byla stanovena na částku 570 000 Kč.

$$FN_o = 570\,000 \text{ Kč}$$

4.4.3 Celkové fixní náklady

$$FN = N_{\text{nástr.l}} + FN_o$$

$$FN = 98000 + 570000$$

$$\underline{\underline{FN = 668000Kč}}$$

4.5 Tržby za materiálový odpad

Tyto tržby nejsou započítány do kalkulace nákladů na materiál, neodečítají se od vynaložených nákladů ³.

Cena jednoho kilogramu materiálového odpadu : $P_o = 3,50 \text{ Kč/kg}$

Užitná délka polotovaru včetně prořezu je 5,88 m (0,168·35), tj. 98 % => pevný odpad z každého polotovaru je 0,12 m (6 – 5,88). Celková délka odpadu z jedné výrobní série je 102,96 m (0,12·858). Když hmotnost jednoho metru polotovaru je 1,48 kg, pak hmotnost odpadu jedné výrobní série je 152,381 kg (1,48·102,96).

Tržba z prodeje pevného odpadu činí 533,30 Kč (152,381·3,5).

$$T_{mo} = 533,30 \text{ Kč}$$

4.6 Celkové náklady

$$NC = VN + FN - T_{mo}$$

$$NC = 658228,22 + 668000 - 533,30$$

$$\underline{\underline{NC = 1325694,92 \text{ Kč}}}$$

Celkové náklady na jednu součást

$$NC_1 = \frac{NC}{Q_s}$$

$$NC_1 = \frac{1325694,92}{30000}$$

$$\underline{\underline{NC_1 = 44,19 \text{ Kč}}}$$

4.7 Cena finální vyráběné součásti

Požadovaný zisk je stanoven na 15 %³.

$$P_{FS} = NC_1 \cdot 1,15$$

$$P_{FS} = 44,19 \cdot 1,15$$

$$\underline{\underline{P_{FS} = 50,82 \text{ Kč}}}$$

4.8 Tržby

$$T = P_{FS} \cdot Q_s$$

$$T = 50,82 \cdot 30000$$

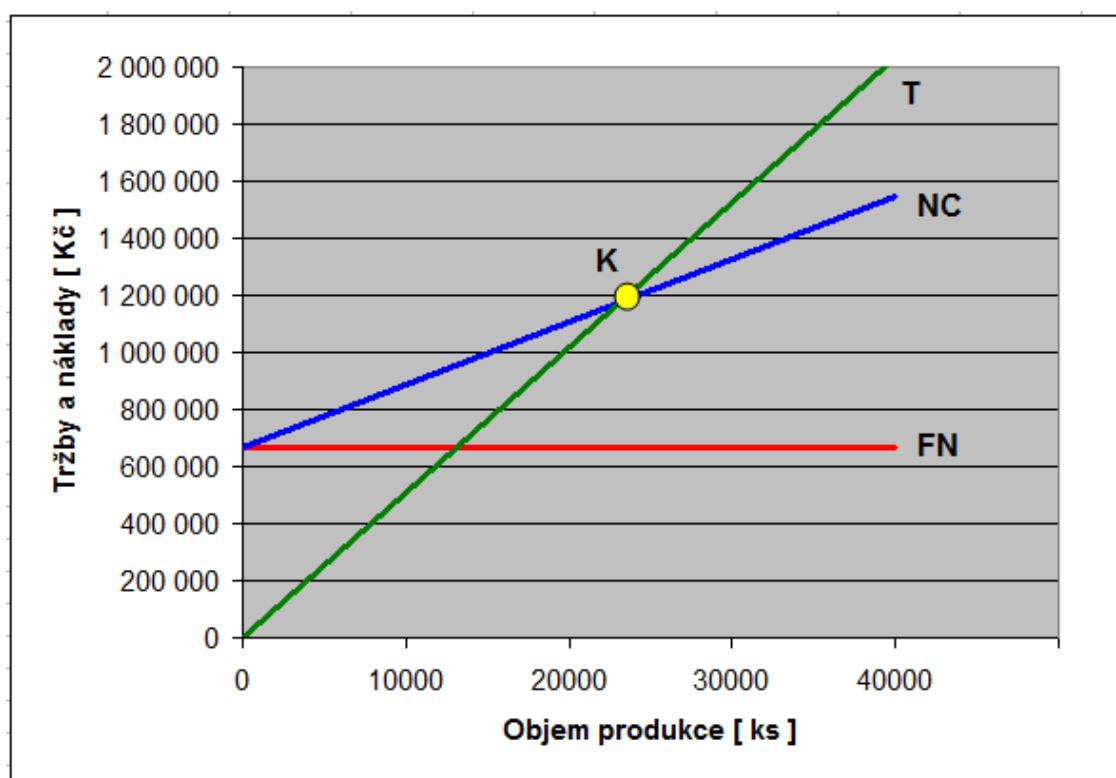
$$\underline{\underline{T = 1524600 \text{ Kč}}}$$

4.9 Bod zvratu

$$Q_{BZ} = \frac{FN}{P_{FS} - VN_1}$$

$$Q_{BZ} = \frac{668000}{50,82 - 21,94}$$

$$\underline{\underline{Q_{BZ} = 23130,19 \div 23131 \text{ ks}}}$$



Obr. 34 Nalezení bodu zvratu.

Při výrobě nižší než 23 131 kusů součásti je výroba ve ztrátě (zelená přímková tržeb je pod modrou přímkou celkových nákladů). V bodě K (bod zvratu) při výrobě 23 131 kusů se přímková tržeb a celkových nákladů protínají, dochází k vyrovnání vynaložených nákladů s tržbami. Při výrobě vyšší než 23 131 kusů se přímková tržeb dostává nad přímkou celkových nákladů a firma produkuje zisk.

4.10 Čistý zisk

$$Z_s = T - NC$$

$$Z_s = 1524600 - 1325694,92$$

$$\underline{\underline{Z_s = 198905,08 \text{ Kč}}}$$

kde : Z_s – zisk při výrobě Q_s

[Kč]

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá výrobou redukční části trubky objemovým tvářením.

V úvodu byla zpracována teoretická část, do níž byly zahrnuty základní pojmy z oblasti tvářením, rozdělení tvářecích procesů, mazání a maziva ve tvářením, metody dělení materiálu, metody rozšiřování dutých těles (trubek), simulace ve tvářením.

V technické zprávě jsou uvedeny základní informace o vyráběné součásti, o materiálu součásti, o výchozím polotovaru, dále je zde volba metody výroby, výpočtová část, simulace procesu tvářením zadané součásti, návrh maziva, návrh nástroje a návrhy výrobních zařízení.

Z důvodu jednoduchosti technologie výroby byla zvolena metoda rozšiřování trnem. Jelikož se dle výpočtu zjistilo, že tloušťka stěny trubky po samotném roztažení na požadovaný vnitřní průměr se zmenší (asi o 0,85mm), je nutno tvářenou část trubky napěchovat. Dále bylo vypočteno, že k délce hotové součásti (130 mm) se na tvářeném konci připočte 12 mm, tzn. že délka polotovaru před tvářením je 142 mm. Výpočtem skutečné (logaritmické) deformace a provedenou simulací tvářecího procesu bylo zjištěno, že součást lze vyrobit na jednu operaci, což je žádoucí z hlediska výroby. Dle potřebné velikosti tvářecí síly byl navrhnut hydraulický lis s dostatečnou lisovací silou 400 kN. Nástroj byl navrhnut, podle početního a simulačního ověření, na jednu tvářecí operaci. Přestože dle výpočtu i simulace procesu lze součást vyrobit na jednu operaci, doporučuji před započítáním výroby provést provozní zkoušky materiálu.

Návrh technologického postupu výroby součásti byl stanoven na čtyři operace a to: dělení polotovaru řezáním na kotoučové pile; mazání polotovaru tvářecím olejem; rozšíření a napěchování součásti na jednu operaci; kontrola tvaru, rozměrů a kvality součásti.

Předběžnou kalkulací byly stanoveny celkové náklady na jednu součást na 44,19 Kč, prodejní cena za jeden kus s požadovaným ziskem 15 % je

50,82 Kč. Analýzou bodu zvratu bylo zjištěno, že pro generaci zisku je nutno vyrábět více než 23 131 kusů vyráběné součásti, tzn. že při výrobě dané série 30 000 kusů je výroba rentabilní.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ: *Lisování*. Vydání první, Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1971, 544 s. ISBN 04-234-71.
- [2] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: *Technologie tváření. Plošné a objemové tváření*. Vydání čtvrté, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [3] JURČA, Jan. *Výroba součástí z plechu s využitím technologie hlubokého tažení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 103 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [4] *Technická univerzita v Liberci studijní materiály* [online]. [cit. 2010-03-16]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm>.
- [5] *VUT v Brně studijní opory* [online]. [cit. 2010-03-28]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_1.htm>.
- [6] *VŠB - Technická univerzita v Ostravě e-learning* [online]. [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>>.
- [7] KULENDA, M. *Nekonvenční způsoby dělení materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [8] RIESNER, J. *Rozšiřování konců trubek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.
- [9] *VUT v Brně studijní opory* [online]. [cit. 2010-04-12]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/plosne_a_objemove_tvareni_vicejazyce_nazvoslovi_rumisek.pdf>.
- [10] *VUT v Brně studijní opory* [online]. [cit. 2010-04-16]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody_cviceni_forejt_piska_humar_janicek.pdf>.
- [11] JEDOVNICKÝ, Jan. *Výroba dutého čepu s přírubou tváření*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.
- [12] *VUT v Brně studijní opory* [online]. [cit. 2009-04-17]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/pocitacova_podpora_techologie_kopriva.pdf>.

- [13] Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: základní dílo aktuální stav duben 2004 - včetně 23. doplňku /Praha: Dashöfer,1998. 1 sv. (různé stránkování). ISBN 80-86229-02-5.
- [14] IZO s.r.o. [online]. c2003 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.izo.cz/index.php?program=121>>.
- [15] Feron a.s. [online]. c2004-2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=32579>>.
- [16] CHARVÁT Group s.r.o. [online]. [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <http://www.charvat-chs.cz/admin/userfiles/File/prumyslove_oleje.pdf>.
- [17] TOMAN, P. *Výroba součástí z plechu pomocí technologie HMT*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 84 s., 2 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [18] PRESSHYDRAULIKA s.r.o. [online]. 2008 [cit. 2010-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.presshydraulika.cz/cz/index_c.php?x=prod_lisy_hydr_stol_zhw_c>.
- [19] Pasove-pily.eu [online]. 2008 [cit. 2010-05-20]. Dostupný z WWW: < <http://www.pasove-pily.eu/kotoucova-pila-pegas-350-ferox-28417.html> >.
- [20] České konkurzy [online]. [cit. 2010-05-23]. Dostupný z WWW: < http://www.ceske-konkurzy.cz/img/asko_kovo/Kotoucova_pila_Ferox.pdf >.
- [21] Platy-mzdy.cz [online]. c2008-2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.platy-mzdy.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_5	[%]	tažnost
D	[mm]	vnější průměr trubky po roztažení
D_{11}	[mm]	vnější požadovaný (konečný) průměr součásti
D_{12}	[mm]	vnější průměr polotovaru
d_{11}	[mm]	vnitřní požadovaný průměr součásti
d_{12}	[mm]	vnitřní průměr polotovaru
FN	[Kč]	celkové fixní náklady
FN_0	[Kč]	ostatní fixní náklady
F_t	[N]	tvářecí síla
H_{md}	[Kč/hod]	průměrná hodinová mzda pracovníka obsluhy místa dělení materiálu
H_{mm}	[Kč/hod]	průměrná hodinová mzda pracovníka při mazání
l	[mm]	délka tvářené části polotovaru před tvářením
l_p	[m]	délka základního polotovaru
$l_{př}$	[m]	délka přířezu
MKP (FEM)		metoda konečných prvků (finite element method)
m	[maz./min]	počet mazaných součástí
m_{sv}	[kg]	hmotnost jednoho kusu polotovaru
NC	[Kč]	celkové náklady
NC_1	[Kč]	celkové náklady na jednu součást
N_{hsd}	[Kč/hod]	strojní hodinová sazba kotoučové pily
N_{hsl}	[Kč/hod]	strojní hodinová sazba lisovací linky
N_m	[Kč]	náklady na materiál
N_{mz}	[Kč]	celkové náklady na mzdy
N_{mzd}	[Kč]	mzda pracovníka obsluhy místa dělení materiálu
N_{mzl}	[Kč]	mzda pracovníka obsluhy lisovací linku
N_{mzm}	[Kč]	mzda pracovníka u mazání
$N_{náastr.l}$	[Kč]	náklady na lisovací nástroj

N_{ne}	[Kč]	nepřímé náklady
N_p	[Kč]	celkové přímé náklady
N_{p1}	[Kč]	přímé náklady na jednu součást
N_{nd}	[Kč]	náklady na zařízení k dělení mat.
N_{nl}	[Kč]	náklady na lisovací linku
N_S	[Kč]	celkové náklady na strojní vybavení
n_p	[ks]	počet kusů přířezu z jednoho polotovaru
n_{st}	[ks]	potřebný počet kusů polotovaru pro výrobu série
P_{FS}	[Kč]	cena finální vyráběné součásti
P_o	[Kč/kg]	cena jednoho kilogramu materiálového odpadu
P_s	[Kč]	cena jednoho kusu polotovaru
$př$	[řez/min]	počet řezů
Q_{BZ}	[ks]	bod zvratu
Q_S	[ks]	velikost výrobní série
ReH	[MPa]	horní mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
S	[mm ²]	funkční plocha lisovníku
S_{m0}	[mm ²]	plocha mezikruží polotovaru
S_{m1}	[mm ²]	plocha mezikruží koncové části první oblasti součásti
S_{m2}	[mm ²]	plocha mezikruží druhé oblasti součásti
SR	[%]	správní režie
$š_k$	[m]	šířka řezného kotouče
T	[Kč]	tržby
T_{mo}	[Kč]	tržba z prodeje pevného odpadu
T_S	[°C]	teplota tváření za studena
T_t	[°C]	teplota tváření za tepla
T_{TAV}	[°C]	teplota taveniny
t	[mm]	tloušťka stěny trubky po roztažení
t_{Ad}	[hod]	čas strojní při dělení materiálu
t_{Al}	[hod]	čas strojní při lisování
t_{Bd}	[hod]	čas dávkový při dělení materiálu
t_{Bl}	[hod]	čas dávkový při lisování
$t_{celk.d}$	[hod]	čas celkový při dělení materiálu
$t_{celk.m}$	[hod]	čas celkový při mazání
$t_{celk.l}$	[hod]	čas celkový při lisování

t_{1d}	[min]	čas na umístění a upevnění polotovaru na pile
t_{1l}	[min]	čas na ustavení a upnutí nástrojů
t_{2d}	[min]	čas na výměna a upnutí řezných kotoučů
t_{2l}	[min]	čas na kontrolu a nastavení správného chodu linky
V_N	[Kč]	variabilní náklady
V_{N_1}	[Kč]	variabilní náklady na jednu součást
VR	[%]	výrobní režie
V_1	[mm ³]	objem první oblasti součásti
V_2	[mm ³]	objem druhé oblasti součásti
x	[mm]	rozdíl délky polotovaru a hotové součásti
Z_S	[Kč]	čistý zisk při výrobě Q_s
z_{dl}	[zd./min]	počet zdvihů lisu
σ_d	[MPa]	deformační odpor
ϵ_v	[-]	celková deformace
ϵ_e	[-]	elastická deformace
ϵ_p	[-]	plastická deformace
φ_{Sm}	[-]	skutečná (logaritmická) deformace

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace :

Příloha 1 - REDUKČNÍ ČÁST TRUBKY	4 – O69 – 05/1
Příloha 2 - SESTAVA	2 – O69 – 05/2
Příloha 3 - SEZNAM POLOŽEK	4 – O69 – 05/3
Příloha 4 - LISOVNICE	3 – O69 – 05/4
Příloha 5 - LISOVNÍK	4 – O69 – 05/5