

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Studie proveditelnosti závitových přírub

Feasibility Study of Threaded Flanges Production

Student: Bc. Jaroslav Dubský

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jaroslav Dubský**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Studie proveditelnosti výroby závitových přírub**
Feasibility Study of Threaded Flanges Production

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Rozbor výroby závitů.
3. Rozbor strojového parku.
4. Návrh proveditelnosti výroby závitových přírub.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [2] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [3] STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice* Marcel Dekker, Inc. New York, 1997. ISBN 0-8247-9579-2.
- [4] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábání, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.

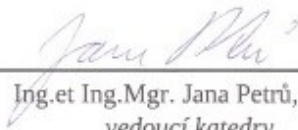
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřová, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě10.5.2014



Jaroslav Dubský

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude v elektronické formě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 10.5.2014



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jaroslav Dubský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kostelec u Kyjova 34

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DUBSKÝ, J. *Studie proveditelnosti závitových přírub: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 50 s. Vedoucí práce: Petřkovská, L

Diplomová práce se zabývá hledáním vhodných technologií výroby čtyř druhů závitových přírub určených pro podporu řízení volantu osobních automobilů. V úvodu jsou zpracovány teorie a technologie, jejichž znalost je nezbytná pro úspěšné zpracování dané problematiky. Na základě těchto znalostí byly navrženy nejvhodnější technologie s ohledem na možnosti podniku. V závěru jsou navržené technologie zhodnoceny a výstupem práce je, zdali je přijetí zakázky pro firmu přínosné.

ANNOTATION OF THESIS

DUBSKÝ, J. *Feasibility Study of Threaded Flanges Production: Diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining and assembly, 2014, 50 p. Thesis head: Petřkovská, L

The diploma thesis is deals with the finding suitable technologies for manufacturing of four types of threaded flanges for support steering wheel control. In the introduction there are theoretical information and manufacturing technologies, which is needed for successful processing of mentioned issue. Based on this information most suitable technologies with regard on the possibilities of the company were designed. In conclusion are evaluated designed technologies and the output of the diploma work is financial benefit for the company.

Obsah

1	Úvod	4
1.1	Cíle práce	4
1.2	Představení společnosti XY	5
2	Rozbor výroby závitů	6
2.1	Způsoby výroby závitů	7
2.2	Řezání závitů závitníky	7
2.3	Řezání závitů závitořeznými hlavami	10
2.4	Soustružení závitů	11
2.5	Frézování závitů	12
2.6	Broušení závitů	13
2.7	Tváření závitů	13
2.8	Kontrola závitů	14
3	Rozbor strojového parku	18
3.1	Strojový park v podniku	18
3.2	Výstředníkový Lis 100t	20
3.3	CNC soustruh SP 280	21
3.4	CNC automat K'MX 436	22
3.5	Výstředníkový Lis 250t	23
3.6	Výstředníkový Lis 160t	24
4	Návrh proveditelnosti závitových přírub	25
4.1	Závitová příruba M34 x 1,5	26
4.1.1	Návrh technologie výroby M 34 x 1,5	27

4.2	Závitová příruba M38 x 1,5	30
4.2.1	Návrh technologie výroby M38 x 1,5	31
4.3	Závitová příruba M34 x 1,5	33
4.3.1	Návrh technologie výroby M34 x 1,5	35
4.4	Závitová příruba M50 x 1,5	37
4.4.1	Návrh technologie výroby M50 x 1,5	39
5	Technicko-ekonomické zhodnocení	41
5.1	Závitová příruba M34 x 1,5	42
5.2	Závitová příruba M38 x 1,5	42
5.3	Závitová příruba M34 x 1,5	43
5.4	Závitová příruba M50 x 1,5	44
5.5	Vyhodnocení technicko-ekonomického zhodnocení	45
6	Závěr	46
7	Použitá literatura	48

Seznam použitého značení

D	Průměr otvoru	[mm]
d	Velký průměr závitu šroubu	[mm]
D ₁	Velký průměr závitu matice	[mm]
d ₂	Střední průměr závitu šroubu	[mm]
D ₂	Střední průměr závitu matice	[mm]
D _{nom}	Nominální průměr závitu	[mm]
FEM	The Finite Element Method	[-]
KP	Krycí příspěvek	[%]
P	Rozteč závitu	[mm]
P _c	Prodejní cena	[€]
R _a	Střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
V _d	Výrobní dávka	[ks/rok]
V _n	Výrobní náklady	[€]
K	Kappa	[°]

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá studií proveditelnosti závitových přírub neboli podpor ložisek u řízení volantu osobních automobilů. Úkolem práce je zjistit, zdali je zakázka realizovatelná ve stávajícím strojovém parku a jeho možnostech, popřípadě za jakých okolností by zakázka realizovatelná byla a to s ohledem na ekonomické aspekty. Následujícím krokem je návrh konkrétních technologií pro úspěšné zhotovení těchto závitových přírub.

Závitové příruby jsou ve čtyřech velmi podobných konstrukčních provedení, nicméně jednotlivé technologie se budou značně lišit podle konkrétního kusu. Na výroby jsou kladeny velmi vysoké požadavky, co se týče rozměrové i geometrické přesnosti. Požadované výrobní dávky se budou pohybovat v milionech kusů ročně. Z těchto důvodů bude volba vhodných strojů a technologického zpracování stěžejním faktorem.

Pro úspěšné zpracování dané problematiky je zapotřebí ovládat možnosti a technologie výroby závitů. Tato problematika je podrobně popsána a zpracována v teoretické části diplomové práce. Dále je nutností znalost strojového parku, vybavení a možností podniku, které jsou popsány v 3. kapitole.

Po teoretickém rozboru dané problematiky přichází na řadu praktické zhodnocení situace a konkrétní návrhy možných technologií výroby závitových přírub. Tyto návrhy budou vyhodnoceny, a zvolí se nejvhodnější varianta, u které bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

1.1 Cíle práce

- Rozbor teorií a technologií výroby a kontroly závitů
- Zmapování strojního parku v podniku a jeho možností
- Návrh technologií a realizace výroby daných závitových přírub
- Zhodnocení navržených variant výroby
- Finanční zhodnocení navržených technologií

1.2 Představení společnosti XY

Jedná se o strojírenskou firmu Moravskoslezského kraje, jejíž název si firma nepřeje zveřejnit. Podnik je akciovou společností, která v současné době úspěšně pokračuje pod skupinou, která působí v České republice hned na několika místech. Některé pobočky můžeme nalézt i v zahraničí, nicméně jedná se o ryze českou společnost. Společnost má ve svém oboru dlouholeté zkušenosti a největší důraz klade především na spokojenost svých zákazníků, zaměstnanců a kvalitu výrobků a jejich neustálý vývoj. Přesto, že se jedná o českou společnost, téměř 75 % produkce výroby je exportováno do zahraničí.

Výroba závodů a pracovišť se zaměřuje zejména na automobilový průmysl, a proto patří společnost k členským firmám Sdružení automobilového průmyslu České republiky.

2 Rozbor výroby závitů

Diplomová práce se zabývá studií proveditelnost závitových přírub. Pro úspěšné zpracování je nutné ovládat technologie výroby závitů, které jsou rozpracovány v následující kapitole.

Závity jsou nejdůležitější konstrukční prvky součástí, které je zapotřebí rozebíratelně spojit a v dnešní době se jedná o nejpoužívanější spoje ve všech průmyslových odvětvích. Tyto spoje mají velkou řadu výhod, jimiž jsou jednoduchost, rozebíratelnost, pevnost, spolehlivost, opakovaná montáž a demontáž bez poškození součástí a náročnosti na zařízení, vzájemná vyměnitelnost díky normalizaci aj. V tomto případě mluvíme o závitech spojovacích. Dalším druhem jsou závity pohybové, kdy se jedna součást pohybuje vůči druhé právě pomocí závitu a umožňuje tak přeměnu rotačního pohybu na posuvný a naopak. Dále můžeme závity dělit dle šroubovice na pravý a levý, podle počtu šroubovic na jednochodý a vícechodý. V tabulce 2.1 jsou uvedeny nejpoužívanější závity ve strojírenství. [2], [7], [8] [12]

Tab. 2.1 – Nejpoužívanější závity ve strojírenství [3]

ČSN	Druh závitu	Označení jednochodého závitu	
		obecně	příklad
01 4008	Metrický závit s hrubou roztečí	M d	M 16
01 1013	Metrický závit s jemnou roztečí	M dxP	M 16x1,5
01 4021	Metrický závit pro jemnou mechaniku	M dxP	M 50x0,75
01 4026	Metrické závity pro součásti z plastů	M dxP	M 24x1
01 4030	Whitworthův závit	W d''	W 3/4''
01 4033	Trubkový závit válcový	G DN''	G 3/4''
01 4034	Trubkový závit kuželový	KG DN''	KG 1/2''
01 4035	Pancéřový závit	P DN	P 16
01 4037	Oblý závit	Rd d	Rd 36
01 4038	Edisonův závit	E d	E 33
01 4050	Lichoběžníkový závit rovnoramenný	Tr DxP	Tr 48x8
01 4052	Lichoběžníkový závit nerovnoramenný	S dxP	S 48x12

2.1 Způsoby výroby závitů

Volbu technologie výroby požadovaného závitu ovlivňuje celá řada aspektů od materiálu, do kterého se závit zhotovuje přes stroje a nástroje určené k jejich výrobě až po samotné požadavky na závit kladené, kterými mohou být stoupán, úhel profilu, tolerance, drsnost povrchu závitu aj. Každá metoda výroby závitu je specifická především nástroji a zařízením určených k jeho zhotovení. Nejširší okruh zaujímá třískové obrábění, které se ve většině případů vyznačuje svou vysokou přesností zhotovených závitů, avšak na úkor časové náročnosti výroby a vysokých nákladů na nástroje. Další možností je tváření závitů, jehož výrobní časy jsou několikanásobně kratší ve srovnání s třískovým obráběním avšak s nižší dosahovanou přesností výroby. [9], [10], [11], [12]

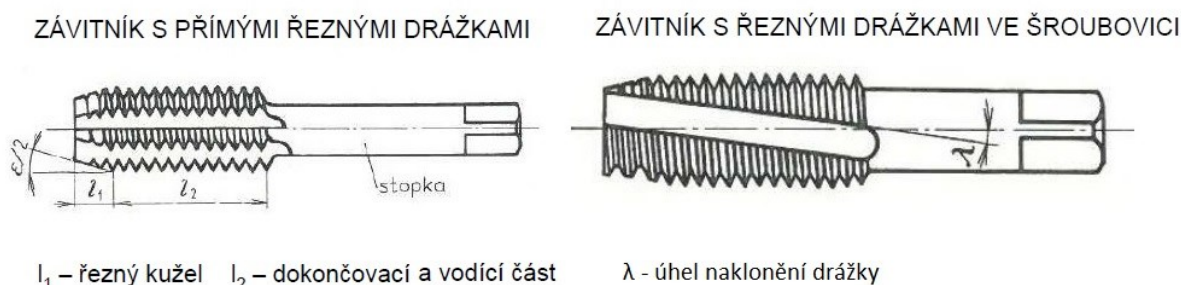
Výrobu závitů můžeme dle použité metody rozdělit na:

- Třískové obrábění
 - Řezání závitů závitníky
 - Řezání závitů závitořeznými hlavami
 - Soustružení závitů
 - Frézování závitů
 - Broušení závitů
- Tváření závitů
- Lití a lisování

2.2 Řezání závitů závitníky

V praxi se tato metoda nejčastěji používá pro ruční výrobu vnějších i vnitřních závitů. Nicméně metodu lze aplikovat i strojně. Využívá mnohobřité nástroje ve tvaru šroubu

s vyfrézovanými drážkami, které slouží pro odvod třísky a přívod řezné kapaliny do místa řezu. Tyto drážky mohou být přímé či do šroubovice viz. Obr. 2.1. [3], [4]

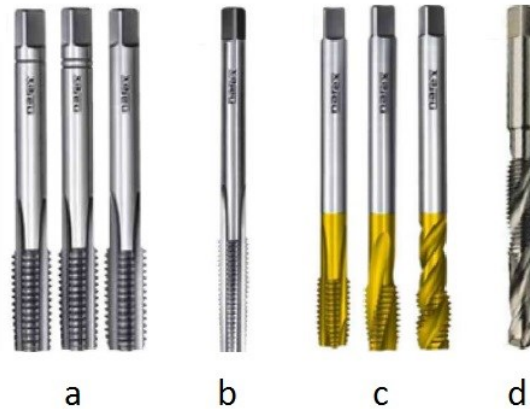


Obr. 2.1 – Závítníky s drážkami přímými a ve šroubovici [3]

Podle použití a konstrukce, můžeme závítníky rozdělit na následující druhy: [3], [4], [5], [13]

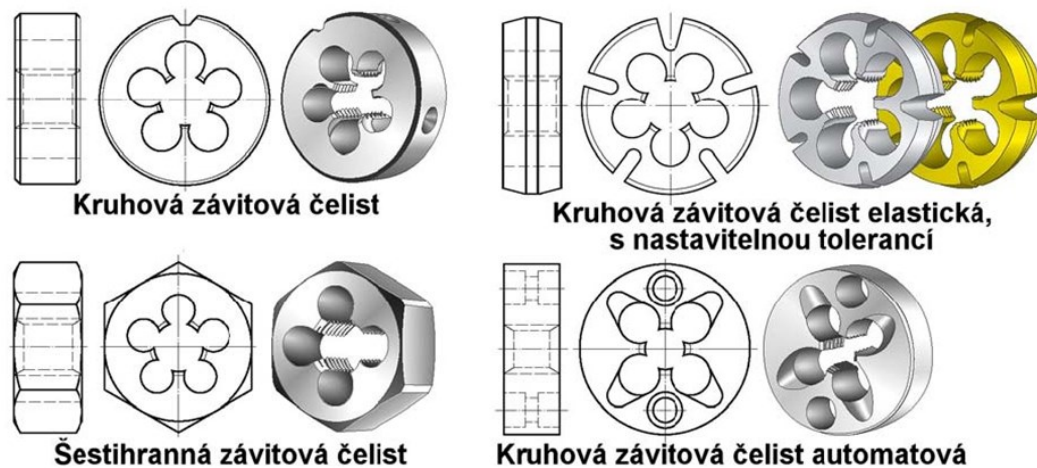
- Ruční sadové – z důvodů menších točivých momentů při ručním řezání jsou tyto závítníky rozděleny do sad o 2 – 4 kusů, nejčastěji však se 3 kusy. Pokud má sada právě 3 kusy, mluvíme o závítnících:
 - Předřezávací – který je označen na upínací stopce jedním proužkem a z daného materiálu odebírá 60 % třísky.
 - Řezací – který je označen dvěma proužky a odebírá 30 % třísky.
 - Dořezávací – který je bez označení a odebírá 10 % třísky.
- Strojní – tyto závítníky slouží k řezání závitu na jeden záběr a proto se od ručních liší konstrukcí upínací části, která je podstatně větší a tím zajišťuje tuhost celého nástroje. Dělí se do tří základních typů: s přímou drážkou, s přímou drážkou a lamačem (používané do průchozích otvorů) a se šroubovou drážkou (pro slepé otvory).
- Maticové – použití těchto závítníků je určeno pouze pro výrobu průchozích otvorů a to zejména matic a nátrubků kdy se závit řeže na jeden záběr. V hromadné a velkosériové výrobě se velmi často používá maticový závítník se zahnutou stopkou, po které odcházejí výrobky do zásobníku k ostatním již vyrobeným kusům.
- Kalibrovací – jsou určeny pro dokončování již vyřezaných závitů.

- Sdružené – skládá se z vrtací a závitové části na jednom nástroji, který je díky své vysoké produktivitě hojně využíván především v sériové a hromadné výrobě.
- Speciální – například lichoběžníkové závitníky.
- Kruhové závitové čelisti – mají řezný kužel na obou čelních plochách a jsou vhodné jak pro ruční tak strojní řezání na soustruhu. Při ručním použití jsou upínány do vratidel. Vyrábí se pro levý i pravý závit.



Obr. 2.2 – Některé druhy závitníků pro vnitřní závit [5]

a) ruční sadové, b) maticový, c) strojní, d) sdružený

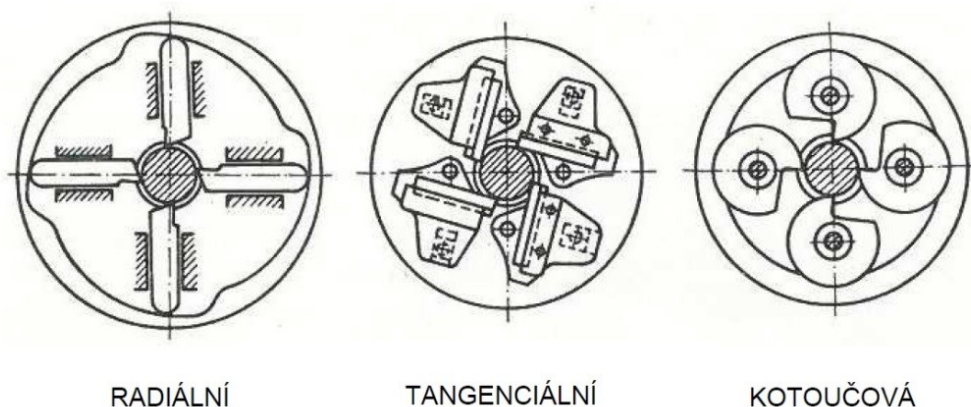


Obr. 2.3 – Kruhové závitové čelisti [18]

Hlavní výhody spojené s výrobou závitů pomocí závitníků spočívají v jejich jednoduché obsluze a nízkými nároky na zařízení. Přesnost vyrobeného závitu se bude odvíjet především podle použitého nástroje a při aplikaci sadových závitníků můžeme dosáhnout přesnosti až 5H. Hlavní nevýhodou je nutnost použití pro každý druh závitu příslušný závitník. [9]

2.3 Řezání závitů závitořeznými hlavami

Závitořezné hlavy se používají pro zhotovení vnějších závitů nejčastěji na koncích trubek. Lze je použít jak ručně tak i strojně. Hlavu tvoří sudý počet čelistí se vsazenými závitovými hřebínkovými noži. Čelisti musí být vůči sobě přesazeny o podíl stoupání závitu. Podle konstrukce a polohy čelistí vůči obrobku rozlišujeme tři základní provedení závitořezných hlav (obr. 2.2): radiální, tangenciální a kotoučové. [3], [10], [13]

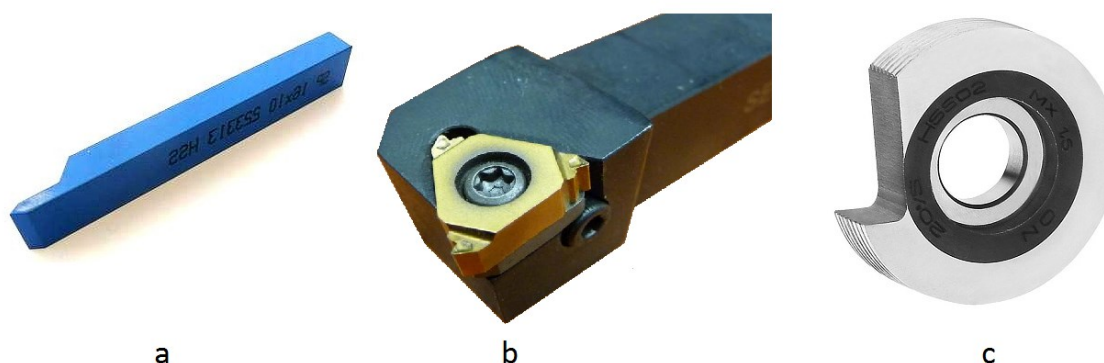


Obr. 2.2 – Druhy závitořezných hlav [3]

Velká výhoda této metody spočívá v určité univerzálnosti (není zapotřebí pro každý rozměr závitu speciální nástroj) a možnosti vyrábět téměř jakýkoli druh závitu podle aktuálního osazení čelistí příslušnými noži, nicméně na úkor poměrně složité konstrukce a vysoké pořizovací ceně zařízení.

2.4 Soustružení závitů

Soustružení závitů lze realizovat na univerzálních, revolverových, poloautomatických a automatických soustruzích za pomoci závitových nožů, které mohou být jednodílné popřípadě vícedílné. Jednodílné závitové nože mohou být řešeny jako celistvé nástroje z rychlořezné oceli, nicméně v současné době jsou nejvíce používány držáky, do kterých jsou upnuty popř. připájeny řezné destičky ze slinutých karbidů. Mezi vícedílné neboli tvarové závitové nože patří kotoučový, hřebenový a tangenciální nůž, které jsou určeny pouze pro výrobu vnějších závitů. Profil řezné části nástroje je shodný s profilem vyráběného závitu. V tomto případě výroby se obrobek otáčí řeznou rychlostí a řezný nástroj koná přísuv a posuv, který se u jednochodého závitu rovná stoupání závitu. Přesný posuv je realizován pomocí vodícího šroubu. [3], [4], [6], [7], [9], [11], [13]





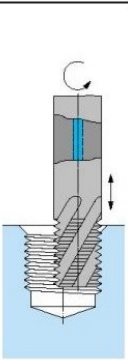
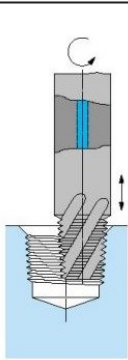
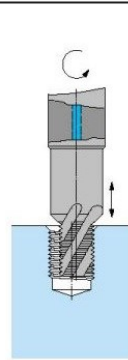
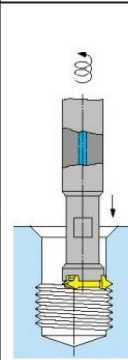
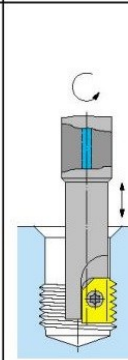
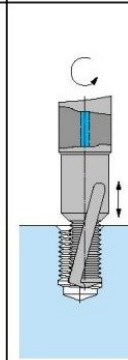
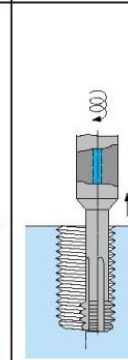
Obr. 2.3 – Některé závitové nože [12]

a) S připájenou destičkou, b) s vyměnitelnou destičkou, c) kotoučový vícedílný

Soustružení závitů má celou řadu výhod a to jsou především: jednoduchá konstrukce a nízká cena nástrojů, dosažení dobré kvality povrchu, vysoká přesnost, možnost vyrobit jedním nástrojem určitého druhu různé rozměry závitu, lze řezat i vícechodé závity. Mezi nevýhody patří velmi nízká produktivita a časová náročnost, zejména pokud se bavíme o jednobřitém nástroji. Nože prizmatické a kotoučové jsou náročnější na konstrukci než nože ploché a nejsou vhodné pro soustružení závitů malých průměrů. [9], [11], [13]

2.5 Frézování závitů

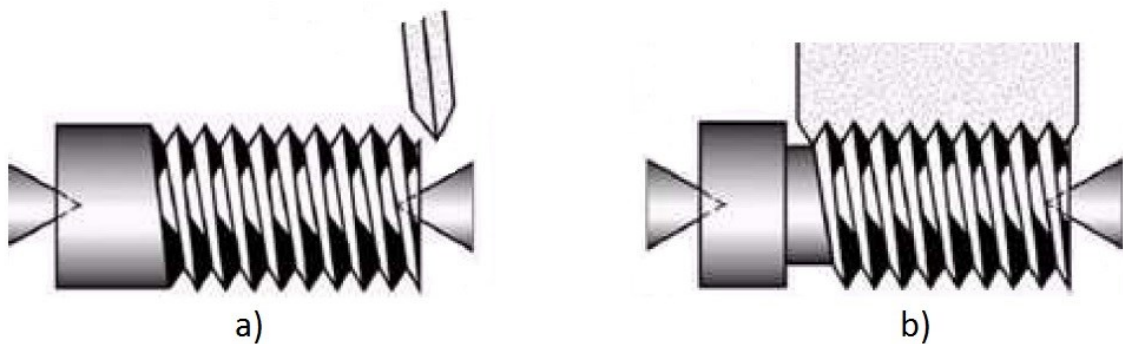
Frézování závitů se provádí na univerzálních, poloautomatických, automatických nebo speciálních frézkách. Nástrojem je závitová, kotoučová nebo hřebenová fréza, pohybující se po kruhové sestupné (vzestupné) dráze. Vykonáním vedlejšího řezného pohybu na dráze jedné otáčky je pak vytvořen závit o daném stoupání. Výrova závitů touto metodou se nejčastěji provádí do předem zhotoveného otvoru, nicméně za pomoci speciálního nástroje lze závit zhotovit i do materiálu plného. Přestože frézování závitů není tak rozšířeno jako soustružení, v případě některých aplikací se jedná o jediné východisko a často také umožňuje dosažení vysoké produktivity. Frézování se nejčastěji aplikuje pro výrobu velmi hrubých závitů nebo tam kde to jiná metoda nedovoluje. Pro aplikaci je zapotřebí obráběcí stroj schopný současně vykonávat pohyb v osách X, Y i Z. Jako nevýhody můžeme považovat poměrně vysokou cenu nástrojů a metoda je omezena průměrem požadovaného závitu. [3], [4], [12], [13]

Typ nástroje	Závitová fréza					Vrtací závitová fréza	
Nutné přípravné práce	Vyvrtní díry 					Žádné 	
Operace	Konvenční frézování závitu s karbidovou monolitní frézou			Frézování závitu s VBD		Vrtání a frézování závitu	Kruhově interpolační vrtání a frézování závitu
Typ frézy	GF	GF kuželová	GSF	EP	WSP	BGF	ZBGF
Průběh obrábění							

Obr. 2.4 – Možnosti frézování závitů na CNC frézkách [12]

2.6 Broušení závitů

Broušení závitů je metoda třískového obrábění nejčastěji používaná pro dokončování závitů u součástí, na které jsou kladeny vysoké požadavky na přesnost profilu popř. středního průměru závitu, ale především vynikající jakosti povrchu která dosahuje drsnosti až $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ a tak zajišťuje minimální opotřebení a tím zvýšení životnosti. Dále se broušení používá pro zhotovení závitů do velmi tvrdých materiálů, kde nelze závit jinak vyrobit. Nástrojem je jednoduchý popř. hřebenový brusný kotouč, jehož profil odpovídá požadovanému profilu závitu. Typickými příklady součástí s broušenými závity jsou závitořezné nástroje, nástroje na válcování závitů, závitové kalibry, mikrometrické šrouby, přesné vodící šrouby a jiné velmi přesné strojní součásti. [3], [7], [8], [12], [13]



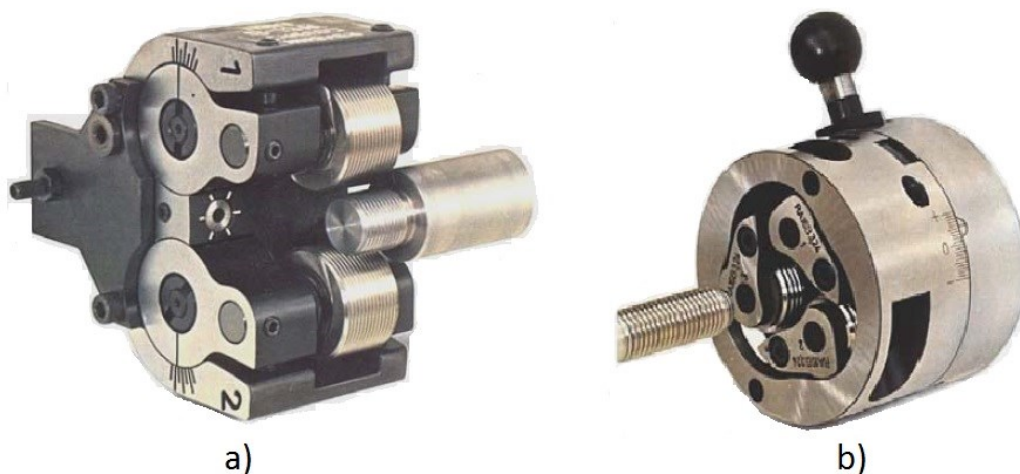
Obr. 2.5 – Broušení závitů [13]

a) Broušení jednofilovým kotoučem, b) broušení hřebenovým kotoučem

2.7 Tváření závitů

Tváření závitů můžeme považovat za nejproduktivnější metodu výroby závitů, při které nedochází k úběru materiálu ve formě třísky, ale pouze k jeho plastické deformaci. Na rozdíl od třískového obrábění se deformovaný materiál zpevňuje a není tak poškozena vnitřní struktura materiálu. Proto jsou tvářené závity schopny přenášet větší silová zatížení avšak na úkor horší tvarové přesnosti a jakosti povrchu. Podstata metody spočívá ve vytlačování závitu

do obrobku pomocí kotoučových popř. plochých čelistí, které mají profil požadovaného závitu. Výrobu lze aplikovat radiálním i axiálním způsobem. [3], [8], [13]



Obr. 2.6 – Válcování závitů [13]

a) radiální způsob, b) axiální způsob

Výhoda výroby závitů tvářením spočívá v podstatně kratších výrobních časech ve srovnání s třískovým obráběním. Při tváření také nedochází k přerušení vláken materiálu, což prodlužuje životnost celého závitového spojení. Přesto, že metoda není tak přesná jako u třískového obrábění, můžeme dosáhnout přesnosti závitu až 6g.

2.8 Kontrola závitů

Jako každý konstrukční prvek tak i závity podléhají kontrole a normě, která tuto kontrolu určuje. Při kontrole a měření závitu se měří všechny rozměry, jimiž je tvar závitu určen. Dobrý vzájemný styk závitu šroubu a matice určitého jmenovitého průměru závisí na správném středním průměru, stoupání a vrcholovém úhlu tvořící závitový profil.

Při kontrole závitů se zabýváme tzv. řetězcem normy, který zahrnuje následující prvky:

- jmenovitý profil, jmenovité rozměry

- tolerance
- systém kontroly a tolerance kontrolních kalibrů

Soustava tolerancí metrického závitu se odvíjí od tolerování dvou průměrů závitů a to d_2 a d u závitu vnějšího a D_2 a D_1 u závitu vnitřního. Jsou stanoveny různé třídy tolerancí, na nichž závisí tolerance průměrů. Tolerance vrcholového průměru závitu (d a D_1) závisí na třídě toleranci a rozteči P. Tolerance středního průměru závitu (d_2 a D_2) závisí kromě třídy tolerance a hodnoty rozteče také na jmenovitém průměru. Základní odchylka určuje umístění tolerančního pole závitu a závisí pouze na rozteči závitu. [19], [21]

Tab. 2.2 – Doporučená toleranční pole pro vnitřní závity [20]

Třída závitu	Poloha tolerančního pole G			Poloha tolerančního pole H		
	S	N	L	S	N	L
přesný	-	-	-	4H	5H	6H
středně přesný	(5G)	6G	(7G)	5H	6H	7H
hrubý	-	(7G)	(8G)	-	7H	8H

Tab. 2.3 – Doporučená toleranční pole pro vnější závity [20]

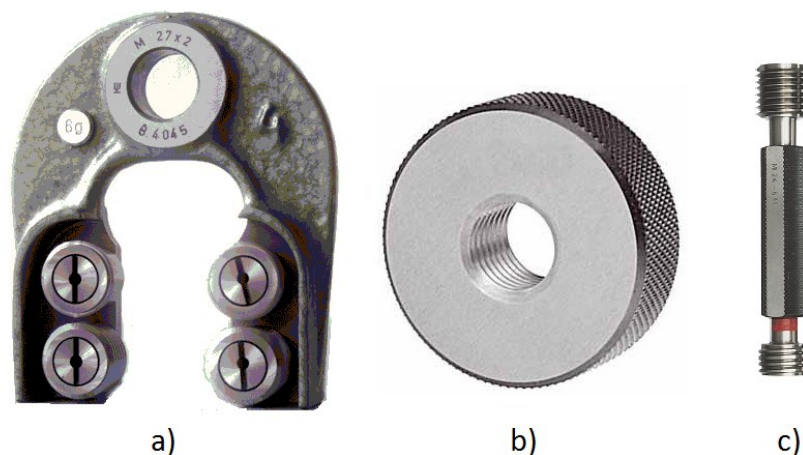
Třída závitu	Poloha tolerančního pole e			Poloha tolerančního pole f			Poloha tolerančního pole g			Poloha tolerančního pole h		
	S	N	L	S	N	L	S	N	L	S	N	L
přesný	-	-	-	-	-	-	-	(4g)	(5g4g)	(3h4h)	4h	(5h4h)
středně přesný	-	6g	(7e6e)	-	6f	-	(5g6g)	6g	(7g6g)	(5h6h)	6h	(7h6h)
hrubý	-	8e)	9e8e)	-	-	-	-	8g	(9g8g)	-	-	-

Při kontrole závitů rozlišujeme dva základní druhy kontroly:

- Komplexní kontrola – závit je kontrolován jako celek, nelze vyhodnotit skutečné rozměry závitu, nýbrž jen dodržení předepsané tolerance.
- Dílčí kontrola – jednotlivé parametry závitu jsou kontrolovány samostatně.

Komplexní kontrola se provádí za pomoci pevných závitových kroužků nebo pomocí třmenových závitových kalibrů v případě kontroly vnějších závitů a pomocí mezního závitového kalibru pro kontrolu závitů vnitřních. Dobrý závitový kalibr se musí dát lehce našroubovat (v případě třmenového kalibru nasunout) na kontrolovaný závit. Tím je zaručeno,

že střední průměr závitu d_2 nepřekročil horní mezní rozměr. Komplexní kontrola závitu se provádí ve většině případů a to z důvodu velmi rychlého a spolehlivého určení zdali je daný závit vyroben v požadovaných tolerancích. [19], [21]



Obr. 2.7 – Závité kalibry

a) Rolničkový závitový kalibr, b) závitový kroužek, c) mezní závitový kalibr

Pokud jsou na závit kladeny speciální požadavky a to především na některý z jeho prvků, je zapotřebí provést dílčí kontrolu, která je ve většině případů velmi přesná ale to na úkor časové náročnosti měření. Základním prvkem, jehož měření provádíme u dílčí kontroly, je rozteč závitu P . Rozteč je možné zkontrolovat pomocí hřebinkových šablon popřípadě posuvného měřidla, nicméně tato kontrola je spíše informativního charakteru. Mnohem přesnější jsou metody založené na optickém principu, ale jejich nevýhoda spočívá v časové náročnosti kontroly. [19]

Dalším prvkem dílčího měření je kontrola středního průměru d_2 , což je kolmý rozdíl středů boků závitů neboli kolmý rozdíl dvou rovnoběžných boků závitů. Kontrolu jde realizovat pomocí mechanického či digitálního mikrometru s vyměnitelnými doteky. Doteky jsou určeny pro příslušný vrcholový úhel a rozteč závitu. Mikrometr se nastaví pomocí závitových kalibrů a provede se měření středního průměru, které je mírně ovlivněno chybou úhlu boku závitu. Metoda je přesná, jednoduchá a poměrně rychlá. [19]



Obr. 2.8 – Digitální mikrometr s vyměnitelnými dotyky [23]

V sériové a hromadné výrobě by v některých případech byla ruční kontrola a měření závitů velmi neefektivní, proto je vhodné použít poloautomatické či plně automatické zkušební stroje. Automaty přejímají celý průběh zkoušení, vydávají signály pro přísun a odsun obrobků a ovládají třídící výhybky. Jejich použití je vhodné ke zkoušení vnitřních i vnějších závitů pro průměry od 3 mm. V důsledku automatického kalibrování jsou rapidně zkráceny zkušební časy. [21], [22]

3 Rozbor strojového parku

Strojový park je stěžejním činitelem určující možnosti a zaměření výrovy každého podniku. Podle vyráběných součástí je přizpůsobena skladba a rozvržení strojového parku. Podnik, u kterého je řešena diplomová práce se převážně zabývá sériovou výrobou, která se vyznačuje menším počtem vyráběných výrobků, které jsou ve velkém množství jednotlivých druhů. Výroba jednotlivých druhů se pak opakuje v sériích. Podle velikosti série můžeme výrobu zařadit do středně sériové. Podnik se zaměřuje na výrobky, jehož vstupním materiálem je ve většině případů plech v podobě pásu. Proto je strojový park dle technologického procesu nejvíce zastoupen lisy, rovnačky, ohýbačky, tvarovacími stroji ale také soustruhy.

3.1 Strojový park v podniku

- Lisovna:
 - Automatické lisy 100-1000 tun s progresivním využitím raznic
 - Automatické lisy 630 tun a 1000 tun s elektronickým přenosem
 - Ručně ovládané lisy 10-160 tun pro ohýbání a stáčení otvorů
 - Lisy pro jemné prostřihávání 250-400 tun

- Obrobna
 - CNC obráběcí centra
 - Konvenční soustruhy, vrtačky, brusky a frézky
 - Válcovačka závitů

- Nástrojárna
 - Vývoj, konstrukce a výroba nástrojů
 - Progresivní transferové nástroje a příslušenství

- Vývoj speciálních jednoúčelových strojů

- Svařovna
 - Bodové svařování
 - MIG/MAG svařování
 - Svařování nerez oceli
 - Svařování v ochranné atmosféře
 - Svařovací roboty

- Tepelné zpracování
 - V ochranných atmosférách

- Povrchové úpravy
 - Broušení
 - Omílání
 - Honování
 - Superfíníš
 - Syntetické lakování
 - Galvanické pokovení

- Montáž
 - Poloautomatické linky

- Kontrola
 - 3D měřicí stroj Zeiss

Po teoretickém rozboru strojového parku byly vybrány stroje, které se jeví jako nejvhodnější pro výrobu daných závitových přírub. Jedná se především o lisy a soustruhy, jejichž zastoupení je v podniku převážné.

3.2 Výstředníkový Lis 100t

Výstředníkový lis je určen pro zpracování materiálu za studena a to zejména vystřihováním, ražením, ohýbáním, mělkým tažením, rovnáním, protlačováním a nýtováním. Lis je vyráběný v provedení C (kombinovaný). Pohon lisu zajišťuje přepínatelný dvouotáčkový elektromotor. Kroutící moment se přenáší pomocí klínových řemenů na hlavní setrvačnick. Přepínáním otáček elektromotoru umožňuje uživatelům možnost volby počtu zdvihů beranu podle potřebné technologické operace. [14]

Hlavní přednosti lisu jsou:

- Možnost změny zdvihu
- Přestavení berana
- Pneumatické vyvažování berana
- Možnost prodloužení samomazného vedení berana
- Možnost použití kotev pro zvlášť přesné práce
- Možnost použití mechanického a automatického příslušenství

Tab. 3.1 – Technické parametry výstředníkového lisu 100t [14]

Jmenovitá síla lisu		1 000	KN
Počet zdvihů – trvalý chod		75/150	1/min
Počet jednotlivých zdvihů		45	1/min
Max tloušťka zprac. plechu	Trvalý chod	4	mm
	Jednotlivé zdvihy	7	mm

Tab. 3.1 - Technické parametry výstředníkového lisu 100t - pokračování

Maximální odevzdaná práce	Jednotlivé zdvihy	3000/2500	J
	Trvalý chod	1650/950	J
Elektromotor	Výkon	6/10	kW
	Otáčky	725/1445	1/min
Elektrické napětí	Síťové	380/50	V/Hz
	Ovládací	24/50	
	Osvětlení	24/50	
Tlakový vzduch	Pracovní tlak	0,5	Mpa
	Spotřeba vzduchu	0,020	m ³ /zdvih
	Přípojka vzduchu	G "	

3.3 CNC soustruh SP 280

Soustruh SP 280 je CNC soustruh se šikmým ložem určený pro obrábění přírubových a hřídelových dílců nejrůznějších průměrů na hotovo. Je vhodný pro malosériovou tak i pro specializovanou hromadnou výrobu. Robustní základ stroje a lože dává stroji vysokou tuhost. Deformace mechanických částí jsou verifikovány numerickými metodami výpočtu – FEM. Umožňuje tak přesnou výrobu s vysokou produktivitou obrábění a to i z pravého vřetene. Vřetenové jednotky umožňují velký obráběcí výkon. Suporty lineárních os, pravý vřeteník a těleso koníka se pohybuje po valivém vedení a dává tak stroji vysokou přesnost polohování a interpolovaného pohybu os suportů. Programovatelný pohyb koníka redukuje jinak nutné zásahy obsluhy do obráběcího procesu. [15]

Hlavní přednosti soustruhu jsou:

- Modulární provedení stroje umožňuje sestavit celou řadu technologických variant
- Vysoký kroutící moment elektrovřetene
- Vysoké posuvové rychlosti v jednotlivých osách
- Absolutní odměřování lineárních os usnadňuje obsluhu stroje

Tab. 3.2 – Technické parametry soustruhu SP 280 [15]

Pracovní prostor	Oběžný průměr nad ložem	570	mm
	Maximální délka soustružení	565	mm
	Max. průměr soustružení	280	mm
	Max. průchod tyče vřetenem	A6: Ø63	mm
Pojezdy os	Osy X/Z	245/640	mm
	Osa Y	-	mm
	Max. vzdálenost mezi vřeteny	725	mm
Rychloposuv	Osy X/Z	30/30	m·min ⁻¹
Hlavní vřeteno	Max. otáčky	A6: 4 700	min ⁻¹
Nástrojová hlava	Počet poloh	12	-
	Průměr otvoru	40	mm
Koník	Kužel dutiny - MORSE	Mo 5	-
Motor vřetene	Výkon	33	kW
	Max. kroutící moment	410	Nm
Hmotnost stroje		7 200	kg

3.4 CNC automat K'MX 436

Stroj je vhodný pro obrábění složitých součástí z tyčového polotovaru až do Ø 36 mm. Je ideálním řešením pro výrobu s požadavky na vysokou produktivitu. Řízení stroje je osazeno pohony a systémy od firmy Fanuc a umožňuje tak ovládat 4-6 nezávislých lineárních os. Vřeteník je posuvný se zdvihem až 410 mm a proto umožňuje obrobit na jeden zdvih mnohem delší dílce než běžné dlouhotočné automaty. [16]

Hlavní přednosti automatu K'MX 436

- Elektromagnetická brzda vřetene
- Pneumaticky ovládaná lopatka pro odebírání obrobků
- Automatické domazávání lineárního vedení

Tab. 3.3 – Technické parametry automatu K'MX 436 [16]

Maximální průměr tyče	32	[mm]
Maximální délka obrábění	400	[mm]
Maximální otáčky	10 000	[ot/min]
Rychloposuv	30	[m/min]
Počet nástrojů	10	[ks]
Tlak vzduchu	0,6	[Mpa]
Tlak čerpadla chlazení	0,7	[Mpa]
Napětí	3x400 / 50	[V/Hz]
Příkon	32	[kVA]
Hmotnost	4 200	[Kg]

3.5 Výstředníkový Lis 250t

Jedná se o výstředníkový lis o jmenovité tvářecí síle 250 tun. Lisy této řady jsou určeny pro zpracování materiálu za studena, a to zejména pro vystřihování, děrování, ostřihávání, ražení, ohýbání, rovnání, protlačování, mělké tažení apod. Pohon lisu zajišťuje přepínatelný dvouotáčkový elektromotor a tím je dána možnost volit počet zdvihů beranu dle technologické potřeby uživatele. [17]

Tab. 3.4 – Technické parametry výstředníkového lisu 250t [17]

Jmenovitá tvářecí síla	250	[t]
Počet zdvihů automat.	45	[zdvih/min]
Počet zdvihů jednotlivě	28	[zdvih/min]
Zdvih beranu	30 - 140	[mm]
Přestavení beranu	125	[mm]
Výška sevření	425	[mm]

Tab. 3.4 – Technické parametry výstředníkového lisu 250t - pokračování

Rozměr beranu	800 x 475	[mm]
Rozměr stolu	1120 x 800	[mm]
Výkon elektromotoru	22	[kW]
Hmotnost stroje	18 060	[kg]

3.6 Výstředníkový Lis 160t

Výstředníkový lis o jmenovité tvářecí síle 160 tun určený pro zpracování materiálu za studena. Vhodný pro děrování, protlačování, ostříhávání apod. Změna velikosti zdvihu je realizována pomocí natáčení výstředníkového pouzdra na výstředníkové hřídeli. Pohonná jednotka je osazena elektromotorem o výkonu 11 kW.

Tab. 3.5 – Technické parametry výstředníkového lisu 160t

Jmenovitá tvářecí síla	160	[t]
Počet zdvihů automat.	45	[zdvih/min]
Počet zdvihů jednotlivě	28	[zdvih/min]
Zdvih beranu	20 - 120	[mm]
Přestavení beranu	100	[mm]
Výška sevření	330	[mm]
Rozměr beranu	700 x 380	[mm]
Rozměr stolu	1000 x 720	[mm]
Výkon elektromotoru	11	[kW]
Hmotnost stroje	8 700	[kg]

4 Návrh proveditelnosti závitových přírub

Následující kapitola diplomové práce se zabývá zhodnocením vyrobiteľnosti čtyř druhů závitových přírub velmi podobného konstrukčního provedení. Závitové příruby budou sloužit jako podpory řízení u volantů osobních automobilů a proto jsou na ně kladeny velmi vysoké rozměrové a geometrické požadavky. Jednotlivé příruby se od sebe nejvíce liší tvarovým provedením, a proto bude zapotřebí pro každou variantu kroužku navrhnout vhodnou technologii jeho výroby, která bude efektivní a produktivní vzhledem k počtu a složitosti vyrobených kusů. Snahou bude zjistit, zdali je podnik schopen kroužky vyrobit ve stávajícím strojovém parku s dosažením požadovaných parametrů a počtem vyrobených kusů. V druhém případě budou navrženy potřebné stroje a zařízení pro úspěšné splnění zakázky a zhotovení těchto výrobků. Z navržených technologií výroby bude vybrána nejvhodnější varianta, u které bude následně provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, z kterého bude vyplívat, zdali je pro firmu přijetí zakázky přínosné.

U vyrobených kusů jsou dále požadovány tyto zkoušky:

- Vyhodnocení třecího koeficientu závitu a porovnání se vzorkem, určení vodného utahovacího momentu
- Provést zkoušky maximálního utahovacího momentu do lomu, určit bezpečnostní rezervu utahovacího momentu
- Provést zkoušky trvanlivosti a předpětí

Pro provedení jednotlivých předepsaných zkoušek je zapotřebí zhotovit speciální přípravky k tomuto určené. Jelikož návrh a výroba těchto přípravků je finančně náročná, jejich designové návrhy, realizace a výroba bude probíhat až po získání zakázky výroby závitových přírub.

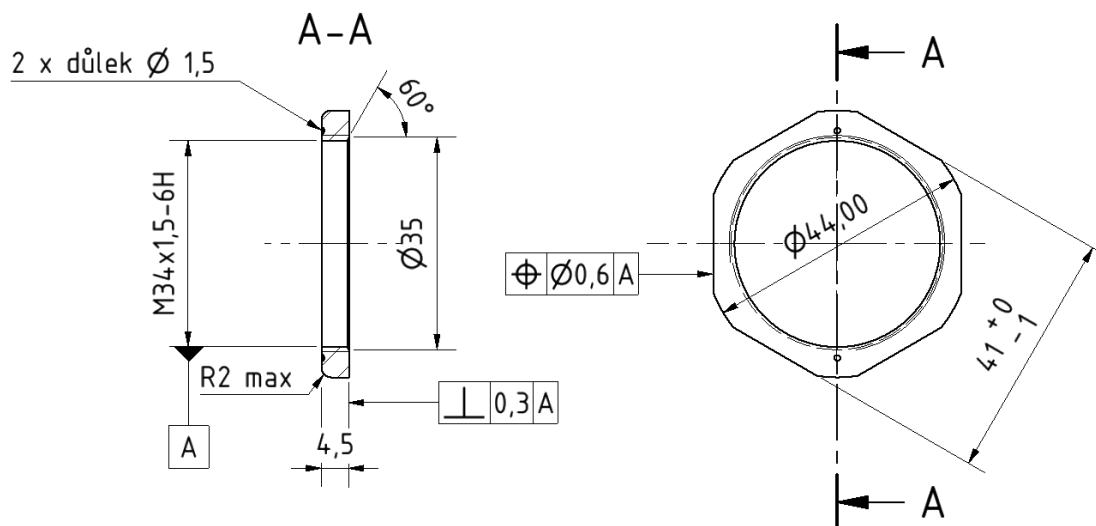
Po zhotovení těchto přípravků se měření a kontrola bude řídit dle požadovaného kontrolního plánu poskytnutého zadavatelem.

4.1 Závítová příruba M34 x 1,5

Jedná se o speciální šestihrannou matici s vnitřním metrickým závitem M34 x 1,5 určenou pro podporu ložiska u řízení volantu osobních automobilů. Předpokládaný počet vyrobených kusů se pohybuje okolo 500 tisíc kusů ročně. Materiál určený pro výrobu dané matice s označením 1.0332 a ekvivalentem dle ČSN 11 331. Jedná se o nelegovanou jakostní ocel určenou pro tváření za studena a to především pro lisování.



Obr. 4.1 – Závítová příruba M34 x 1,5



Obr. 4.2 – Výřez z výrobního výkresu závítové příruby M34 x 1,5

Při návrhu vhodné technologie výroby dané matice bude stěžejním faktorem dodržení kritických prvků, rozměrů a geometrických tolerancí, které jsou na výrobek kladeny. V tomto konkrétním případě se bude jednat o dodržení tolerance metrického závitu M34 x 1,5 který se nachází v tolerančním poli 6H a jeho horní úchylka středního průměru $D_2 = +180 \mu\text{m}$. Následně musí být dodržena geometrická tolerance směru kolmosti dosedací plochy matice vzhledem k závitu a tolerance polohy umístění obvodových ploch matice taktéž vztažených k vnitřnímu závitu.

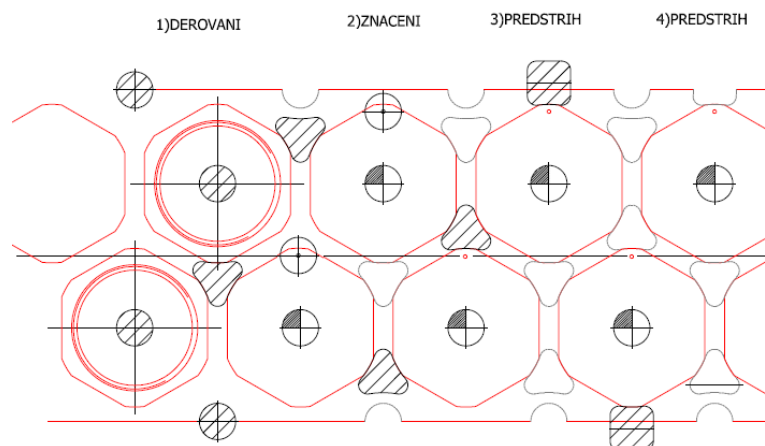
Vzhledem k požadovanému počtu vyrobených kusů, kterých se má vyrábět okolo 500 tisíc kusů ročně, je nevhodné navrhnout technologie obrábění, při kterých by byla výroba časově a ekonomicky neefektivní. Dalším požadavkem je zhotovit danou součást na maximálně dvě operace.

Z těchto poznatků vyplývá, že jako nejvhodnější technologie pro výrobu dané součásti se jeví tváření, při kterém jsou výrobní časy mnohonásobně kratší při srovnání s obráběním. Ze znalosti strojového parku v podniku byl pro výrobu dané matice zvolen výstředníkový lis o jmenovité síle 250 tun, který je určen pro zpracování materiálu za studena a to především pro vystřihování, děrování, ostřihávání, ražení, ohýbání, rovnání, protlačování atd.

4.1.1 Návrh technologie výroby M 34 x 1,5

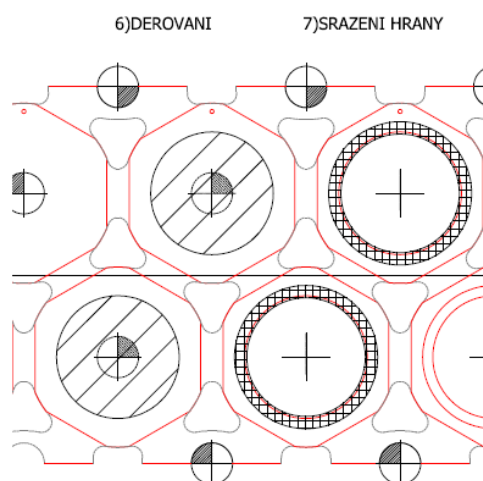
Požadovaným vstupním materiálem k výrobě dané matice je nelegovaná jakostní ocel, která je vhodná pro tváření za studena. Jako polotovar byl zvolen pás plechu s tloušťkou shodnou s konečnou tloušťkou dané matice tj. 4,5 mm a šířkou 92 mm. Polotovar se doporučuje objednat od dodavatele jako svitek.

Jelikož jsou geometrické tolerance směru a polohy vztažené k otvoru respektive k závitu, který je také kritickým prvkem součásti, jako první byla zvolena operace děrování pomocných otvorů $\varnothing 10 \text{ mm}$ na obvodu polotovaru a ve vzdálenosti 23 mm od osy polotovaru. Tyto otvory budou dále sloužit, jako výchozí referenční body pro následující operace zhotovení důlků. Důlky slouží pro jednodušší orientaci při montáži a na matici jsou požadovány jeden nebo dva. V následujícím kroku budou vyraženy montážní důlky. Byl zvolen jeden důlek na součást. V kroku třetím a čtvrtém se provede předstřih otvoru pro budoucí závit.



Obr. 4.3 – Postupové znázornění: děrování, značení, předstříh

Pomocí tzv. transferu bude kroužek otočen o 180°. Následně se provede konečné děrování otvoru pro závit, jehož rozměr musí korespondovat s velikostí budoucího závitu. Při nedodržení správného průměru předhotoveného otvoru mohou nastat dva jevy, a to pokud bude otvor příliš velký, bude výsledný závit tzv. nedotvárný, tj. nebude dosaženo předepsané výšky profilu závitu. V druhém případě kdy by otvor byl příliš malý, dojde s největší pravděpodobností k poškození tvářecího závitníku nebo se závit nepodaří zhotovit vůbec. Volím děrovat otvor $\varnothing 33,33$ mm dle níže uvedeného vztahu doporučeným výrobcem tvářecích závitníků. Nicméně aby se předešlo vzniku možných potíží se zhotovením závitu, doporučuji při výrobě zkušebních vzorků stanovit nejvhodnější rozměr zkouškou.



Obr. 4.4 – Postupové znázornění: děrování, sražení hrany

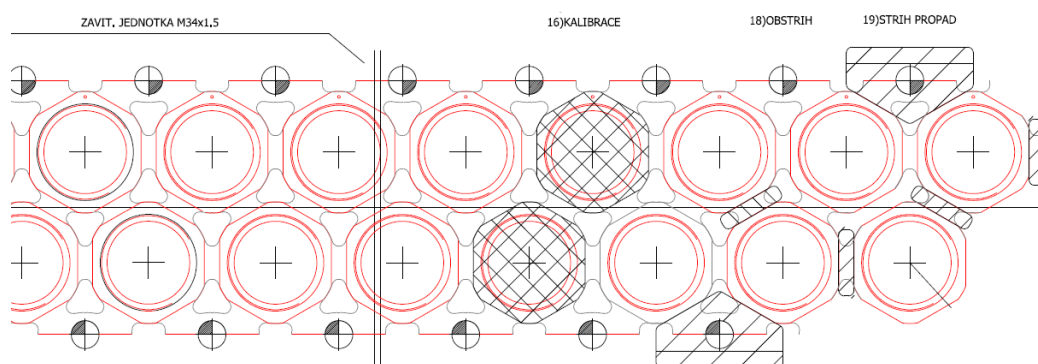
Doporučený průměr díry pod tvářený závit lze určit ze vztahu: [1]

$$D = D_{\text{nom}} - 0,0068 \cdot P \cdot 68 \text{ [mm]}$$

Kde:

D	průměr otvoru	[mm]
D_{nom}	nominální průměr závitu	[mm]
P	stoupání závitu	[mm]

Následně po vyděrování otvoru je zapotřebí srazit hranu otvoru pod úhlem 60° na Ø 35mm. Nyní je otvor připraven pro zhotovení závitu. Závit se vytváří pomocí závitovací jednotky. Proveďte se opět otočení pomocí trasferu do původní polohy. Aby byla dodržena geometrická tolerance směru kolmosti dosedací plochy matice, bude následně provedena kalibrace plochy. Nyní se provedou obstříhy po obvodu budoucí matice a následný stříh a propad hotové součásti. V tomto kroku se vytvoří požadované zaoblení hrany max. 2mm, které vznikne vtažením hrany při stříhu. Následuje očištění, odmaštění, odstranění ořepů a celková kontrola matice dle požadavků technického výkresu a kontrolního plánu poskytnutého zadavatelem.

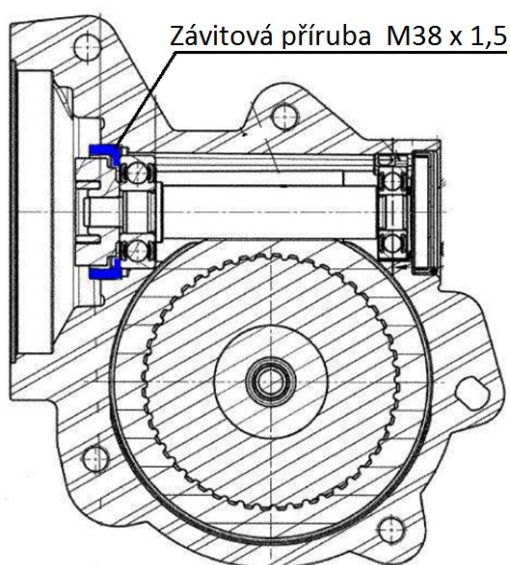


Obr. 4.5 – Postupové znázornění: závit, kalibrace, obstříh, stříh

Pro aplikaci popsané technologie výroby dané matice bude zapotřebí zakoupit razníky. Zhotovení razníků bylo zadáno externímu podniku, který jejich výrobu vyčíslil na 1 milion Kč. Dále je nutné osadit stroj závitovacím zařízením, jehož cena je 1,3 milionu Kč. Pro závěrečnou kontrolu výrobku bude zhotoven měřící přípravek v hodnotě cca. 40 000 Kč.

4.2 Závítová příruba M38 x 1,5

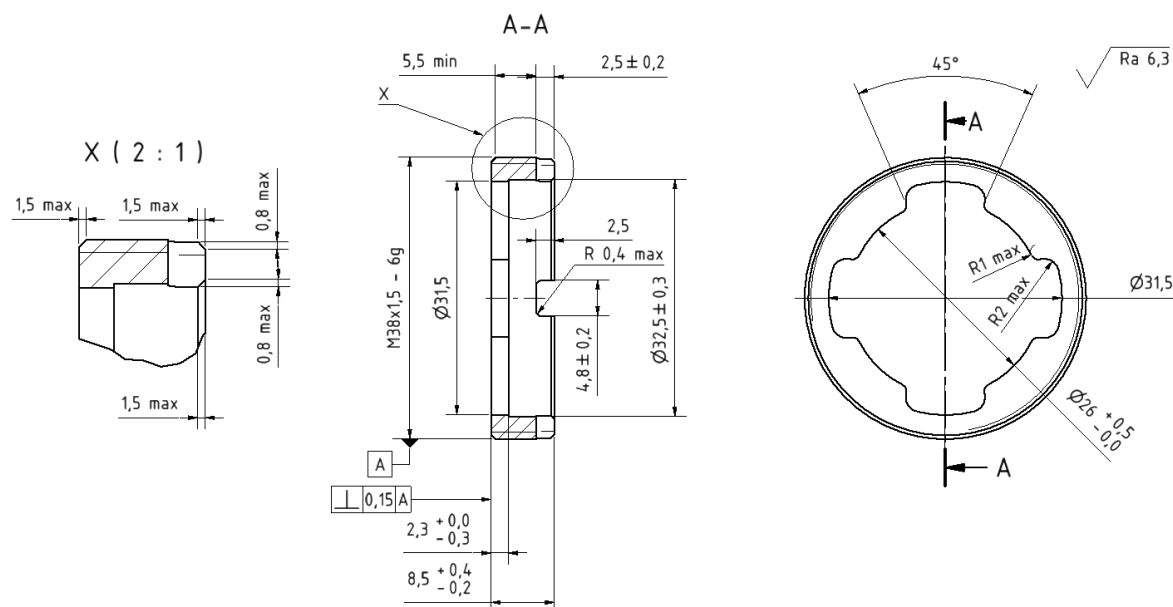
Speciální matice s vnějším závitem M38 a drážkami pro montážní přípravek. Slouží jako zátka pro držení ložiska u řízení volantu osobního automobilu. Požadovaný počet vyrobených kusů se pohybuje okolo 1,6 mil. kusů ročně. Materiál výrobku daný zákazníkem je nelegovaná jakostní ocel vhodná pro tváření za studena s označením 1.0332 s ekvivalentem dle ČSN 11 331.



Obr. 4.6 – Umístění výrobku v sestavě



Obr. 4.7 – Vzorek závítové příruby M38 x1,5



Obr. 4.8 – Výřez z výrobního výkresu závitové příruby M38 x 1,5

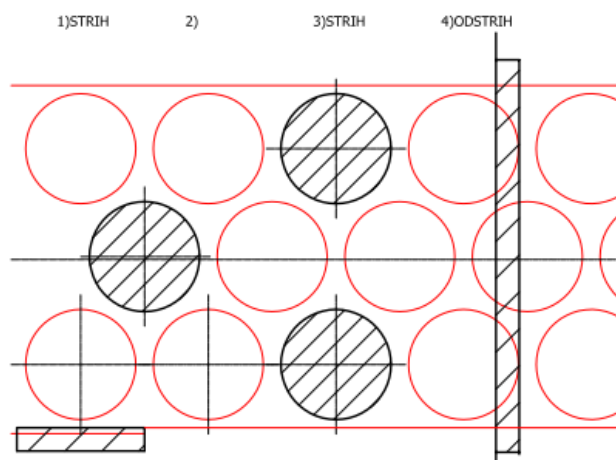
Součást je specifická svým poměrně složitým tvarovým provedením a požadavky na rozměrovou a geometrickou přesnost. Kritickými prvky jsou především geometrická tolerance směru kolmosti dosedací plochy matice vztažená k vnějšímu průměru respektive k závit. Dále tolerance závitů v tolerančním poli 6g a rozměrové tolerance drážek pro montážní klíč. To bude mít zásadní dopad na návrh vhodné technologie výroby. Dalším faktorem je daný počet vyrobených kusů, který se u daného výrobku pohybuje okolo 1,6 milionu ročně. Návrh technologie se dále omezuje na požadavek zhotovit součást na maximálně dvě operace.

Z těchto hledisek vyplývá, že není součást možno zhotovit třískovým obráběním s danými požadavky. Proto jako nejvhodnější technologii bylo zvoleno tváření a to za pomoci výstředníkových lisů o jmenovité síle 160 tun, 100 tun, které jsou součástí strojového parku v podniku. A dále válcovacího zařízení ROSLER.

4.2.1 Návrh technologie výroby M38 x 1,5

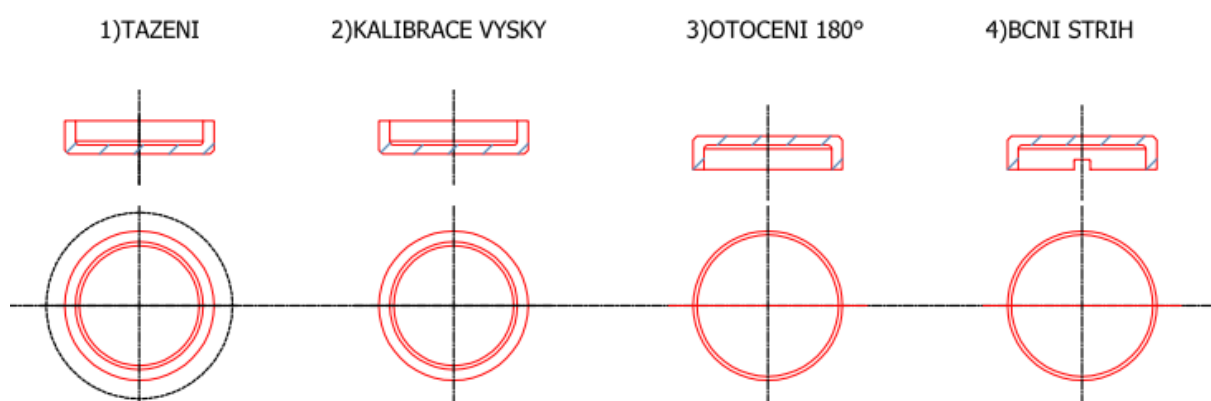
Požadovaným vstupním materiálem pro výrobu dané závitové příruby je nelegovaná jakostní ocel vhodná především pro tváření za studena. Jako polotovar byl zvolen pás plechu o tloušťce 2,3 mm a šířce 150 mm v podobě svitku.

První operací bylo zvoleno děrování kroužků o průměru 38 mm na výstředníkovém lisu o jmenovité síle 160 tun. Kroužky se následně očistí, odmastí a v omýlacím bubnu zbaví otřepů.



Obr. 4.9 – Nástřihový plán kroužků

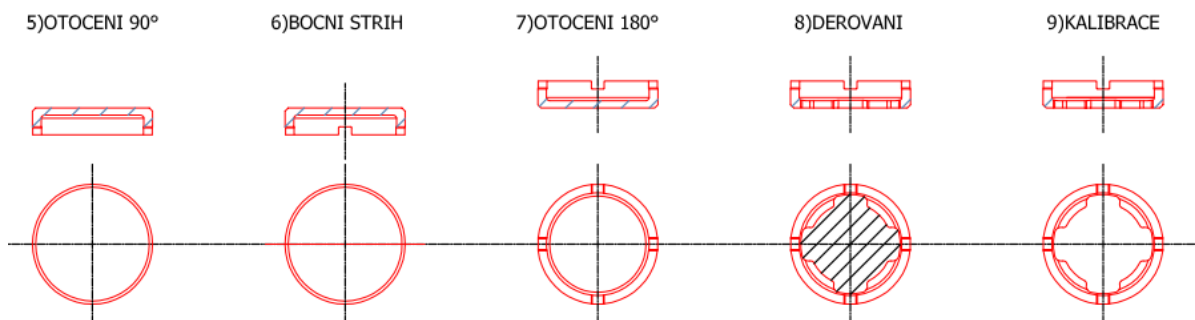
Tyto kroužky budou dále polotovarem pro následující operace prováděné na lisu o síle 100 tun, ve kterém se v prvním kroku zhotoví za pomoci tažení kapsa o \varnothing 32,5 mm a hloubce 2,3 mm. Při tažení se materiál podstatně přetvářel a dojde tak k nárůstu jeho výšky, která se v následujícím kroku bude kalibrovat na požadovaný rozměr 8,5 mm. Za pomoci obraceče se součást otočí o 180° . Po otočení součásti se provede boční stříh dvou průběžných drážek o šířce 4,8 mm a hloubce 2,5 mm určených pro montážní klíč.



Obr. 4.10 – Postupové znázornění: tažení – boční stříh

Součást následně bude otočena o 90° ve směru osy rotace a analogicky se zhotoví zbývající dvě drážky. Nyní je zapotřebí pomocí obraceče dostat součást do původní polohy a to

otočením o 180°. Proběhne děrování tvarového otvoru za pomoci příslušného razníku. Tento otvor se následně kalibruje na požadované rozměry.



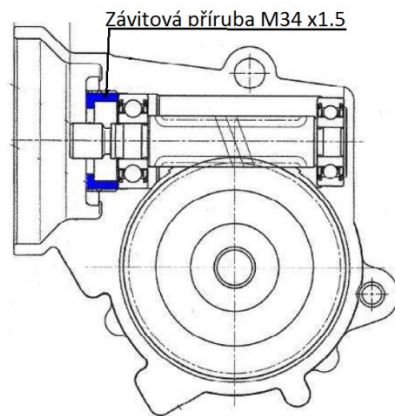
Obr. 4.11 – Postupové znázornění: otočení – kalibrace

V poslední operaci se na válcovacím stroji ROSLER zhotoví vnější závit M38 x 1,5. Součást je nyní hotová, provede se očištění, odmaštění a odstranění otřepů. Celková kontrola dle požadavků výrobního výkresu a kontrolního plánu poskytnutého zadavatelem bude provedena na speciálním měřícím přípravku.

Pro aplikaci navržené technologie výroby daného kroužku je zapotřebí zakoupit razníky, jehož výroba byla zadána externímu podniku, který si za jejich zhotovení kalkuluje na 400 tis. Kč. Dále měřící zařízení v hodnotě cca. 40 000 Kč a válcovací stroj ROSLER.

4.3 Závitová příruba M34 x 1,5

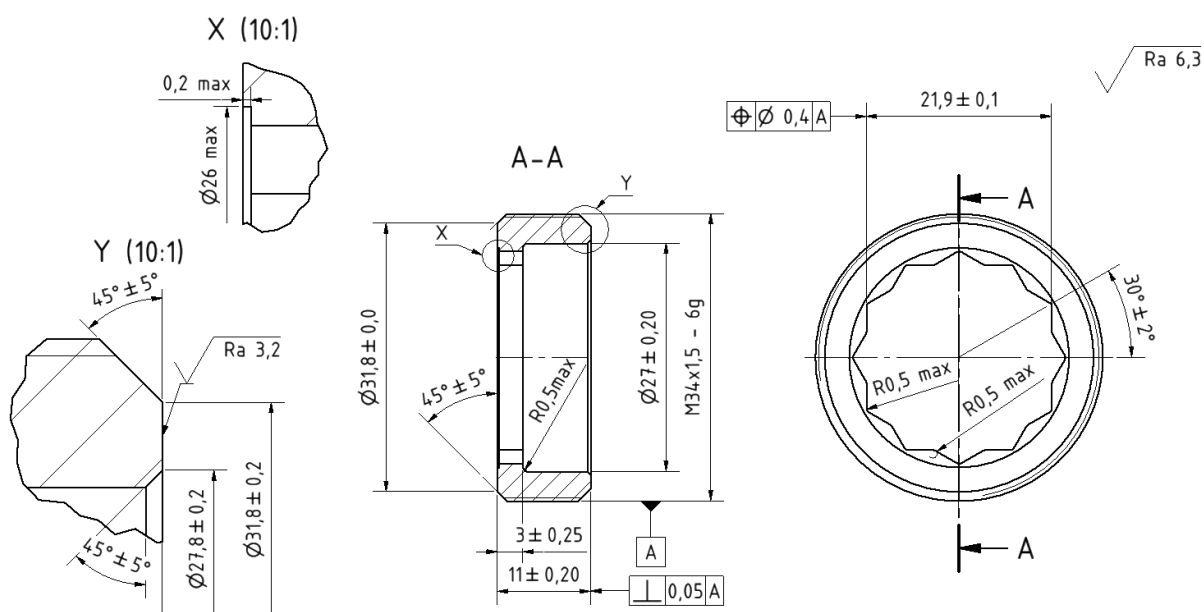
Speciální matice s vnějším metrickým závitem M34 x 1,5 a vnitřním dvanáctihranným otvorem určeným pro speciální montážní klíč. Matice slouží stejně jako u předchozích typů jako podpora ložiska u řízení volantu osobního automobilu. Předpokládaný počet vyráběných kusů se pohybuje okolo 600 tisíc kusů ročně. Materiálem pro dané matice je ocel s označením 1.0736 s ekvivalentem dle ČSN 11 140. Jedná se o automatovou ocel používanou především pro výrobu součástí v automobilovém průmyslu, strojírenství a stavbě přístrojů.



Obr. 4.12 – Umístění výrobku v sestavě



Obr. 4.13 – Vzorek závitové příruby M34 x 1,5



Obr. 4.14 – Výřez z výrobního výkresu závitové příruby M34 x 1,5

Výrobek je specifický především svým dvanáctihřanným vnitřním otvorem jehož stěny mají geometrickou toleranci polohy vztaženou k vnějšímu závitu M34 x 1,5 který se nachází v tolerančním poli 6g. Dalším kritickým prvkem je geometrická tolerance kolmosti dosedací plochy matice taktéž vztažená k závitu. Dále je zapotřebí věnovat pozornost osazení 0,2 mm na vnější straně dvanáctihranu. Aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů a tolerancí je zapotřebí zvolit vhodnou technologii výroby a to s ohledem na počet vyráběných kusů, kterých se má vyrábět cca. 600 tis. ročně. Jako u předchozích výrobků je požadavek zhotovit součást na maximálně dvě operace.

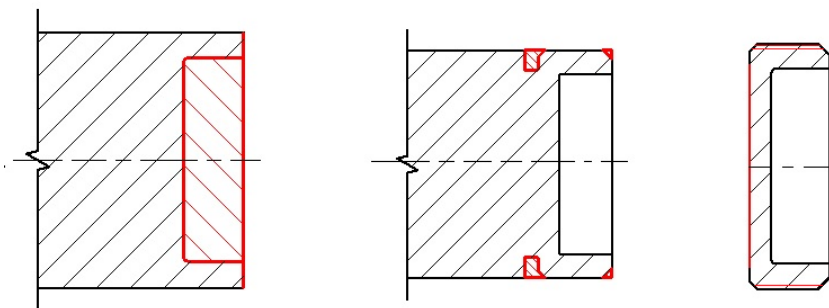
Z daných specifikací vyplývá jako nejvhodnější volba technologie kombinace třískového obrábění a tváření. Třískové obrábění z důvodu poměrně velké tloušťky kroužku, kdy by zajištění prostřihu a požadovaných rozměrů bylo náročné dodržet. Dále tváření tvarově složitých prvků, při kterém by třískové obrábění nebylo ekonomicky ani časově výhodné.

Pro třískové obrábění byl za nejvhodnější stroj zvolen soustruh KMX 436, pro následné lisování hydraulický lis o jmenovité síle 20 tun.

4.3.1 Návrh technologie výroby M34 x 1,5

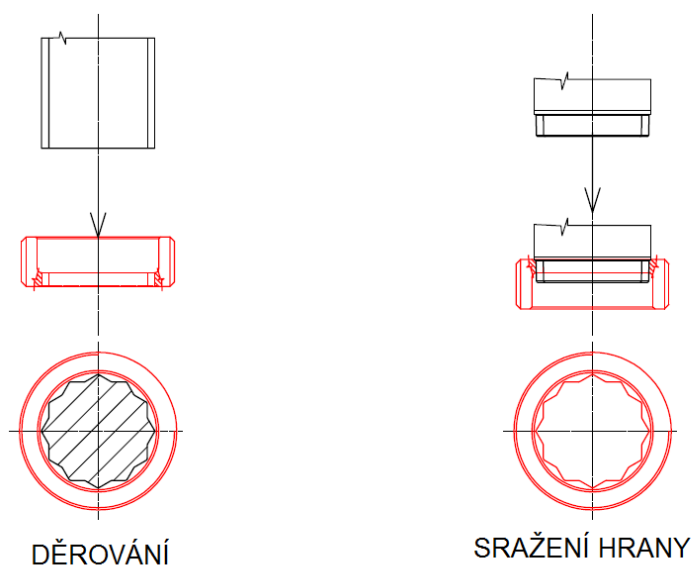
Vstupním materiálem pro výrobu daných přírub je automatová ocel s dobrou obrobitelností. Jako polotovar byla zvolena přesná tyč Ø 34 mm s plusovou tolerancí délky 3 000 mm.

V první operaci na soustruhu KMX 436 bylo zvoleno zarovnat čelo a zhotovit kapsu průměru 27 mm hloubky 8 mm s vnitřním zaoblením hrany maximálně R 0,5 mm. Srazit vnitřní hranu 0,4 x 45°. Následně zhotovit zápich šířky 2 mm ve vzdálenosti 11 mm na Ø 28 mm. Srazit přední i zadní hranu 1,1 x 45°. Zhotovit závit M34 x 1,5 po délce 11 mm. Následně upichnout kus ve vzdálenosti 11mm.



Obr. 4.15 – Postupové znázornění soustružení

Následné tvářecí operace na hydraulickém lisu o jmenovité síle 20 tun. V prvním kroku děrovat dvanáctihran. Následně otočit o 180° a srazit vnitřní hranu 0,2 mm na $\varnothing 25$ mm. Po tváření očistit, odmastit, odstranit otěpy a provést celkovou kontrolu dle výrobního výkresu a kontrolního plánu poskytnutého zadavatelem.

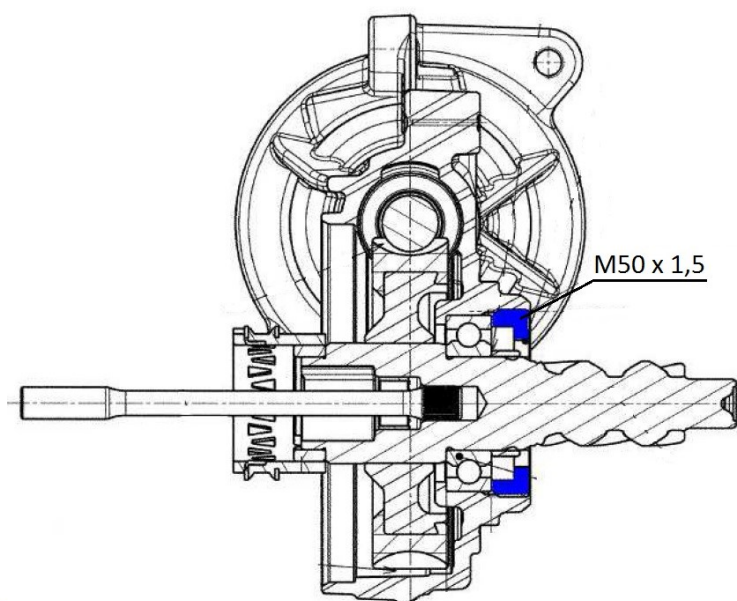


Obr. 4.16 – postupové znázornění: děrování, sražení hrany

Pro aplikaci navržené technologie výroby je nutné zakoupit do podniku soustruh KMX 436. Nákup razníků zhotovené v externím podniku v hodnotě 500 tis. Kč. Dále hydraulické zařízení pro lis v hodnotě cca. 700 tis. Kč.

4.4 Závitová příruba M50 x 1,5

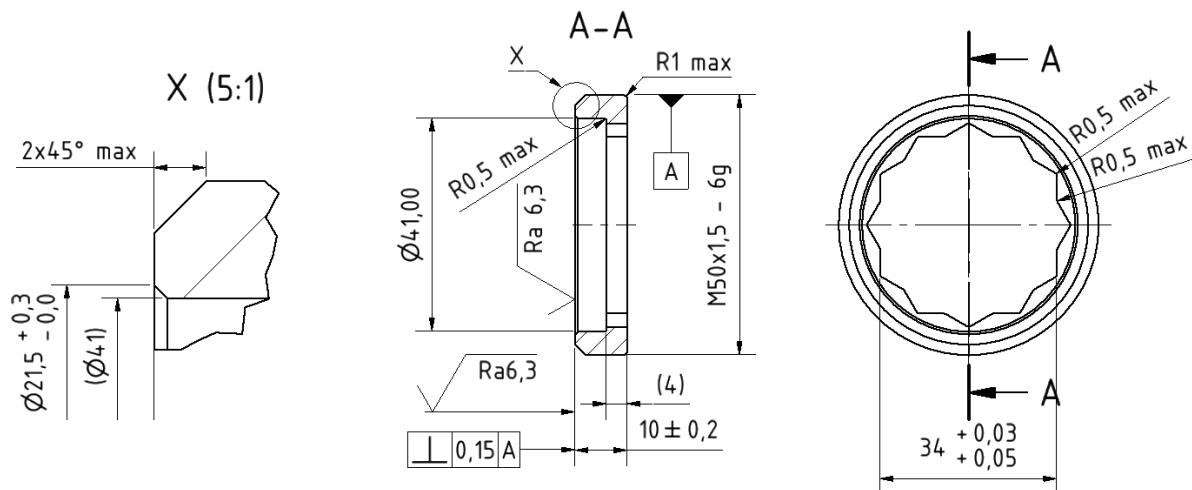
Speciální matice určená pro podporu ložiska u řízení volantu osobních automobilů s vnějším metrickým závitem M50 x 1,5 a vnitřním dvanáctihranným otvorem pro montážní klíč. Předpokládaný počet vyrobených kusů se pohybuje okolo 1,1 milionu kusů ročně. Použitý materiál pro výrobu dané matice s označením 1.0335 a ekvivalentem dle ČSN 11 305. Jedná se o nelegovanou jakostní ocel vhodnou pro tváření za studena a to především pro lisování.



Obr. 4.17 – Umístění výrobku v sestavě



Obr. 4.18 – Vzorek závitové příruby M50 x 1,5



Obr. 4.19 – Výřez z výrobního výkresu M50 x 1,5

Součást je konstrukčně shodná s předcházející závitovou přírubou. Liší se pouze v rozměrovém provedení. Specifickým prvkem součásti je tvarový dvanáctihránný otvor sloužící pro montážní klíč. Za kritický konstrukční prvek můžeme považovat vnější metrický závit M50 x 1,5 který se nachází v tolerančním poli 6g. Dále je zapotřebí věnovat pozornost geometrické toleranci kolmosti dosedací plochy příruby vztažené k vnějšímu metrickému závitu. S ohledem na dosažení předepsaných úchylek a tolerancí je zapotřebí navrhnout vhodnou technologii výroby. Při návrhu bude zohledněn i požadovaný počet vyráběných kusů, jenž se má u tohoto typu závitové příruby vyrábět cca. 1,1 milionu kusů ročně. Jako u všech výrobků je i u následujícího požadavek zhotovit součást na maximálně dvě operace což také ovlivní navrženou technologii výroby.

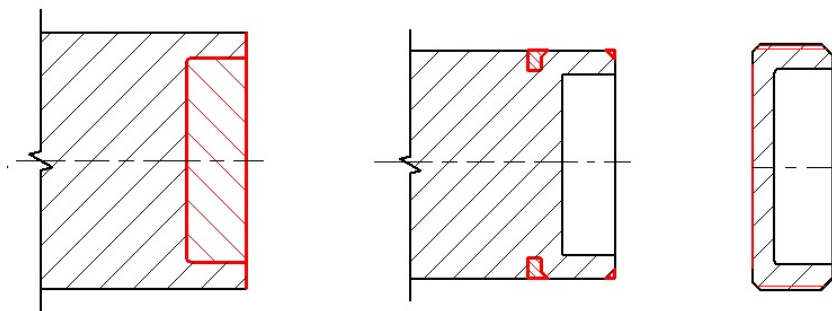
S ohledem na výše uvedené aspekty byla navržená technologie výroby zvolena jako kombinace třískového obrábění v první operaci a následné tváření. Třískové obrábění bylo zvoleno z důvodu poměrně velké tloušťky materiálu, kde by při tváření nebylo dosaženo požadovaných tolerancí. Následné tváření s ohledem na složitost tvarového otvoru a počet vyráběných kusů.

Pro třískové obrábění byl za nejvhodnější stroj zvolen soustruh SP 280. Tvářecí operace se budou provádět na hydraulickém lisu o jmenovité síle 20 tun.

4.4.1 Návrh technologie výroby M50 x 1,5

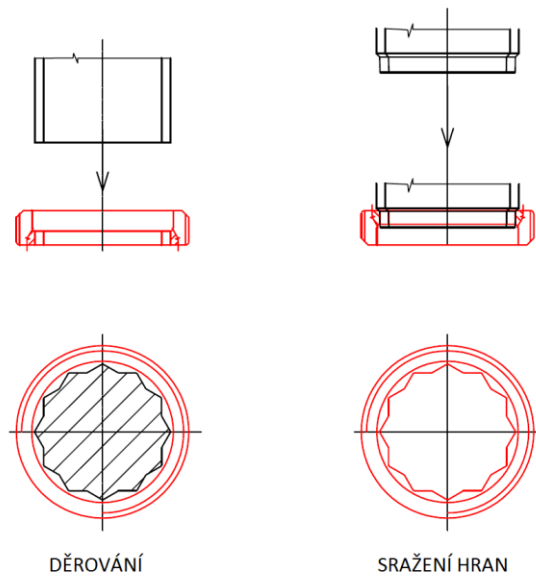
Požadovaným vstupním materiálem pro výrobu dané závitové příruby je nelegovaná jakostní ocel vhodná pro tváření za studena a to především pro lisování. Jako polotovar byla zvolena přesná tyč Ø 50 mm s plusovou tolerancí délky 3 000 mm.

Při první operaci a to na CNC soustruhu SP 280 bylo navrženo zarovnat čelo a zhotovit kapsu Ø 41 mm a hloubce 6 mm s vnitřním zaoblením hrany o maximální hodnotě $R = 0,5$ mm. Následně zhotovit zápich šířky 2 mm ve vzdálenosti 10 mm od čela na Ø 40 mm. Srazit vnější hranu maximálně $2 \times 45^\circ$ a vnitřní hranu vzniklou po zápichu odjehlit. Nyní se provede soustružení závitu po délce kroužku tj. 10 mm, ve stejné vzdálenosti bude kroužek upchnut.



Obr. 4.20 – postupové znázornění soustružení

V druhé operaci prováděné na hydraulickém lisu o jmenovité síle 20 tun bylo zvoleno v prvním kroku děrování tvarového dvanáctihřanného otvoru. Následně bude součást pomocí obraceče otočena o 180° a provede se sražení hran již zhotoveného tvarového otvoru. Po tvářecích operacích bude součást očištěna, odmaštěna a provedena celková kontrola dne výkresové dokumentace a kontrolního plánu poskytnutého zadavatelem.



Obr. 4.21 – Postupové znázornění: děrování, sražení hrany

Pro realizaci navržené technologie výroby je zapotřebí zakoupit do podniku dva CNC soustruhy SP 280. Dále jsou zapotřebí zhotovit razníky, jejichž výrobu si externí podnik vyčíslil na částku 420 tis. Kč. Pro hydraulický lis, jehož výrobu si podnik zajišťuje osobně, je nutné hydraulické zařízení s pořizovacími náklady cca. 900 tis. Kč.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Smyslem technicko-ekonomického zhodnocení je určení nákladů nutných k výrobě daných součástí dle navržených technologií výroby. Dále určení prodejní ceny jednotlivých výrobků a to při dosažení požadovaného zisku s ohledem na vyráběné množství, které je nutno zhotovit pro návrat vložených financí.

Při zadávání zakázky pro její zpracování proběhla předběžná dohoda podniku se zadavatelem o požadovaném počtu vyráběných kusů, počtu let, jenž bude výroba probíhat a tzv. targetové ceně, což je cena, za kterou výrobce předpokládá, že zadavatel zakázky výrobek koupí. Tato cena byla stanovena u jednotlivých druhů výrobků. Úkolem je nyní finančně zhodnotit navržené technologie výroby tak, aby bylo dosaženo targetové ceny a to se ziskem, který si podnik stanovil minimálně na 8% této ceny. Ukazatelem při posuzování zisku z targetové ceny je tzv. krycí příspěvek, který vychází z rozdílu prodejní ceny, která je rovna smluvní targetové ceně a celkových nákladů spojených s výrobou dané součásti vyjádřený procentuálně.

Krycí příspěvek lze vyjádřit dle následujícího vztahu:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

Kde:

KP	krycí příspěvek	[%]
P _c	prodejní cena	[Kč]
V _n	výrobní náklady	[Kč]

Tab. 5.1 – Vstupní informace pro technicko-ekonomické zhodnocení

Výrobek	Výrobní dávka [ks/rok]	Výrobní roky [rok]	Targetová cena [€/ks]
M34 x 1,5	500 000	5 - 7	0,14
M38 x 1,5	1 600 000	5 - 7	0,21
M34 x 1,5	600 000	5 - 7	0,18
M50 x 1,5	1 100 000	5 - 7	0,30

5.1 Závitová příruba M34 x 1,5

Dané závitové příruby se bude vyrábět cca. 500 tis. kusů ročně se smluvní targetovou cenou 0,14 €/ks. Dle navržených technologií výroby, byly podnikem stanoveny výrobní náklady, které se u daného výrobku pohybují okolo 0,12871 €/ks.

Výpočet krycího příspěvku:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = \frac{0,14 - 0,12871}{0,14} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = 8,06 [\%]$$

Krycí příspěvek splňuje podmínku minimálního zisku 8 %.

5.2 Závitová příruba M38 x 1,5

Dané závitové příruby se bude vyrábět cca. 1,6 mil. kusů ročně se smluvní targetovou cenou 0,21 €/ks. Dle navržených technologií výroby, byly podnikem stanoveny výrobní náklady, které se u daného výrobku pohybují okolo 0,18993 €/ks.

Výpočet krycího příspěvku:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = \frac{0,21 - 0,18993}{0,21} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = 9,5 [\%]$$

Krycí příspěvek splňuje podmínku minimálního zisku 8 %.

5.3 Závitová příruba M34 x 1,5

Dané závitové příruby se bude vyrábět cca. 600 tis. kusů ročně se smluvní targetovou cenou 0,18 €/ks. Dle navržených technologií výroby, byly podnikem stanoveny výrobní náklady, které se u daného výrobku pohybují okolo 0,17386 €/ks.

Výpočet krycího příspěvku:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = \frac{0,18 - 0,17386}{0,18} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = 3,4 [\%]$$

Krycí příspěvek nesplňuje podmínku minimálního zisku 8 %. V tomto případě je nutné zvýšit prodejní cenu tak, aby krycí příspěvek vyhovoval podmínce. Nová prodejní cena byla stanovena na 0,19 €/ks. Dále je zapotřebí konzultace se zadavatelem, zdali přistoupí na zvýšení této prodejní ceny.

Výpočet krycího příspěvku po zvýšení prodejní ceny:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = \frac{0,19 - 0,17386}{0,19} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = 8,49 [\%]$$

Krycí příspěvek po zvýšení prodejní ceny již splňuje podmínku minimálního zisku 8 %.

5.4 Závitová příruba M50 x 1,5

Dané závitové příruby se bude vyrábět cca. 1,1 mil. kusů ročně se smluvní targetovou cenou 0,30 €/ks. Dle navržených technologií výroby, byly podnikem stanoveny výrobní náklady, které se u daného výrobku pohybují okolo 0,2939 €/ks.

Výpočet krycího příspěvku:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = \frac{0,30 - 0,2939}{0,30} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = 2,033 [\%]$$

Krycí příspěvek nesplňuje podmínku minimálního zisku 8 %. Jako v předchozím případě je zapotřebí zvýšit prodejní cenu tak, aby krycí příspěvek splňoval požadavek podniku. Nová prodejní cena byla stanovena na 0,32 €/ks. Dále je zapotřebí konzultace se zadavatelem, zdali přistoupí na zvýšení této prodejní ceny.

Výpočet krycího příspěvku po zvýšení prodejní ceny:

$$KP = \frac{P_c - V_n}{P_c} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = \frac{0,32 - 0,2939}{0,32} \cdot 100 [\%]$$

$$KP = 8,15 [\%]$$

Krycí příspěvek nyní splňuje podmínku minimálního zisku 8 %.

5.5 Vyhodnocení technicko-ekonomického zhodnocení

Tab. 5.2 – Sumarizace ekonomického zhodnocení

Výrobek	Vypočtený zisk [%]	Požadovaný zisk [%]	Po zvýšení P _c [%]
M34 x 1,5	8,06	min. 8	-
M38 x 1,5	9,5	min. 8	-
M34 x 1,5	3,4	min. 8	8,49
M50 x 1,5	2,03	min. 8	8,15

Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že při použití navržených technologií výroby závitových přírub je podnik schopen zhotovit dva výrobky za targetovou cenu, která byla smluvně dohodnuta se zadavatelem a to s dosažením požadovaného zisku, který byl stanoven na 8 % prodejní ceny. U následujících dvou výrobků byl zisk nižší než stanovené minimum. Na tento fakt se podepsaly především výrobní náklady. V těchto případech byla stanovena nová prodejní cena tak, aby zisk splňoval stanovenou podmínku. Bude záležet na zadavateli zakázky, zdali přistoupí na zvýšení prodejní ceny těchto dvou výrobků.

6 Závěr

Diplomová práce se týká problematiky zabývající se technologiemi výroby závitových přírub, které slouží jako podpory ložisek u řízení volantu osobních automobilů. Závitové příruby jsou ve čtyřech konstrukčně velmi podobných provedeních, nicméně liší se především svými specifickými tvarovými prvky. Na výrobky jsou dále kladeny poměrně vysoké nároky, co se týče rozměrové a geometrické přesnosti. To bude mít zásadní vliv při zpracování návrhů výroby jednotlivých typů závitových přírub.

V úvodu jsou vytyčeny cíle práce, kterých je nutno při zpracování dosáhnout. Pro dosažení těchto cílů a úspěšné vyřešení dané problematiky v celém rozsahu bylo v teoretické části práce zapotřebí zpracovat veškeré technologie a možnosti výroby vnějších i vnitřních závitů včetně jejich kontroly a měření. Dále bylo nutné zmapovat strojový park v podniku a to především možnosti strojů a zařízení, na kterých by se realizace výroby závitových přírub jevila jako neoptimálnější.

Při samotném zpracování problematiky se zohledňovaly další faktory, které měli zásadní dopad na volbu vhodných technologií výroby. Jednalo se především o požadovaný počet vyráběných kusů, jehož suma dosahuje cca. 5,6 milionu kusů ročně. Dále tvarová složitost jednotlivých typů a dodržení požadovaných rozměrových a geometrických tolerancí. Požadavkem podniku bylo zhotovit všechny typy závitových přírub na maximálně dvě operace.

Při zohlednění těchto činitelů a omezení bylo u prvních dvou typů závitových přírub zvoleno za nejvhodnější technologii tváření. Jednalo se o výrobky poměrně malé tloušťky, při kterém by třískové obrábění nebylo vzhledem k tvarové složitosti otvoru možné a jiná metoda výroby nebyla ekonomicky ani časově efektivní. Na základě znalosti strojového parku byly pro oba typy přírub vhodně zvoleny stroje. Jako polotovary byly zvoleny pás plechu v podobě svitku. Nicméně pro aplikaci navržených technologií na zvolených strojích bylo nutné zakoupit potřebné vybavení. Jednalo se o závitové zařízení a razníky. Dále pro kontrolu měřicí přípravky. U následujících dvou závitových přírub už nebylo možné počítat pouze s tváření a to vzhledem k poměrně velké tloušťce. Jako nejvhodnější technologie výroby byla zvolena kombinace třískového obrábění a tváření. Polotovarem byla zvolena tyč. Třískové obrábění právě s ohledem na tloušťku materiálu, kdy by výroba pomocí tváření nebyla možná

s ohledem na požadované geometrické tolerance. Dále tváření a to s ohledem na tvarovou složitost vnitřního otvoru kdy by naopak třískové obrábění nebylo možné. Pro aplikaci navržené technologie výroby je nutné rozšířit strojový park o jeden soustruh KMX 436 a dva soustruhy s označením SP 280. Dále je potřeba zakoupit razníky a hydraulické zařízení potřebné pro tvářecí stroj a operace na něj prováděném.

V závěru bylo zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení navržených technologií výroby závitových přírub. Zhodnocení se odvíjelo především od tzv. targetové ceny, která byla smluvně dohodnuta se zadavatelem zakázky a dále výrobních nákladů jednotlivých technologií. Při tomto zhodnocení bylo zjištěno, že ve dvou ze čtyř případů je podnik schopen pomocí navržených technologií zhotovit výrobky za targetovou cenu a to s dosažením minimálního zisku, který si podnik určil jako 8% z prodejní ceny. U následujících dvou technologií již tato podmínka nebyla dosažena, a to z důvodů vysokých výrobních nákladů. Proto byla prodejní cena zvýšena tak, aby zisk dosahoval požadovaného minima. Nyní bude záležet na zadavateli, zdali bude ochoten akceptovat vyšší prodejní cenu dvou výrobků a zakázku podniku zadá.

7 Použitá literatura

- [1] *DORMER: Tools* [online]. 2013 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.dormertools.com/en-gb/pages/default.aspx>
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISSN 978-80-248-1290-8.
- [3] KUBÍČEK, Miroslav. *Obrábění: Výroba závitů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-18.pdf
- [4] *MT: nástroje* [online]. 2013 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <http://www.i-zavitniky.cz/>
- [5] *NAREX: Ždánice* [online]. 2006 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: http://www.narexd.cz/cz/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=48
- [6] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007 [cit. 2014-03-04]. ISSN ISBN 978-80-248-1505-3. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [7] HAVRILA, Michal, Jozef ZAJAC, Josef BRYCHTA a Jozef JURKO. *Top trendy v obrábění I.: Obrábené materiály*. Žilina, 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [8] STEPHENSON, David A a John S AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice*. New York: Marcel Dekker, c1997. ISSN ISBN 0-8247-9579-2.
- [9] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008. ISSN ISBN 978-80-248-1822-1.
- [10] *BOUKAL* [online]. Litvínov, 2010, 2014 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <http://shop.boukal.cz/nastroje/zavitorezne-hlavy/>
- [11] *KOVO: Nástroje* [online]. 2014 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Rezani-zavitu/Zavitove-noze/>
- [12] *EMUGE: franken* [online]. Brno, 2013 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <http://www.emugefranken.cz/>
- [13] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění* [online]. Brno, 2004 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [14] *TST: servis a.s* [online]. 2005 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.tstservis.cz/lexn100c.php>

- [15] MAS: KOVOSVIT [online]. 2013 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z:
<http://www.kovosvit.cz/cz/produkty/technologie-soustruzeni/cnc-soustruhy/sp-280>
- [16] TAJMAC: ZPS [online]. 2012 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/dlouhotocne-cnc-automaty>
- [17] FERMAT [online]. 2010 [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/lis/excentricky-nad-100-t/lek-250--cs-101548/>
- [18] ČEP. *Technologie obrábění* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:
home1.vsb.cz/~cep77/
- [19] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie* [online]. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004, 104 s. [cit. 2014-05-12]. ISBN 978-80-248-0671-62. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [20] ČSN 01 4013. *Jednotná soustava tolerancí a uložení: Metrické závity*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření Praha, 1978.
- [21] DILL: *měřicí technika* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.dill.cz/produkty/kategorie-produktu-1/kontrola-zavitu-31>
- [22] AMS: *Automatizace a měření ve strojírenství* [online]. Praha, 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.amspraha.cz/cz/>
- [23] MIKRA: *měřicí přístroje pro strojírenství* [online]. 2005 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.mikra-ub.cz/produkty-detaily.php?id=1314&kategorie=9&znacka=>

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lence Petřkovské, Ph.D. a konzultantovi Ing. Danielovi Otáhalovi, Ph.D. za jejich rady a drahocenný čas, který mi věnovali při řešení dané problematiky.