



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA

DESIGN OF TECHNOLOGY FOR GEAR MANUFACTURING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Urbánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Michal Urbánek
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Petra Sliwková, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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:

Návrh technologie výroby ozubeného kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V diplomové práci bude navržena technologie výroby ozubeného kola obráběním. Dále bude zpracována výrobní dokumentace včetně volby nástrojů.

Cíle diplomové práce:

Technologičnost konstrukce součásti.
Posouzení variant obrábění ozubení.
Volba nástrojového vybavení.
Zpracování technologického postupu.
Technicko–ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. 2nd edition. New York Oxford University Press, 2005. 651 p. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Brno: CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-x.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na návrh technologie výroby a volbě strojů a nástrojů k dosažení požadované přesnosti dle výkresové dokumentace. Během návrhu možností výroby byly popsány výhody a nevýhody variant obrábění ozubení. V teoretické části byly popsány technologie navržených operací jako je soustružení, frézování ozubení odvalovacím způsobem, ševingování a broušení. V praktické části je popsána samotná výroba na všech šestnácti operacích, které byly zapotřebí k výrobě součásti. Ke každé strojní operaci byly vytvořeny návody a tabulky měřených rozměrů. V ekonomickém zhodnocení jsou shrnuty materiálové náklady, strojní i přípravné časy v závislosti na velikosti výrobní dávky.

Klíčová slova

technologický postup, obrábění, ozubení, ševingování, broušení

ABSTRACT

The master's thesis is focused on the design of production technology and the choice of machines and tools to achieve the required accuracy according to the drawing documentation. During the design of production options, the advantages and disadvantages of gear machining variants were described. In the theoretical part, the technologies of the proposed operations were described, such as turning, milling of gears in a rolling method, shaving and grinding. In the practical part, the production itself is described in all sixteen operations that were needed to produce the part. Instructions and tables of measured dimensions were created for each machine operation. The economic evaluation summarizes material costs, machine and preparation times depending on the size of the production batch.

Keywords

technological process, machining, tooththing, shaving, grinding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

URBÁNEK, Michal. *Návrh technologie výroby ozubeného kola* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149604>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petra Sliwková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh technologie výroby ozubeného kola vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

BRNO, 2023

Michal Urbánek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 POPIS VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI	10
1.1 Technologičnost konstrukce	10
1.2 Možnosti výroby	12
2 TEORIE výroby obráběním	14
2.1 Soustružení	14
2.2 Mezioperační kontrola	17
2.3 Frézování ozubení odvalovacím způsobem	17
2.4 Obrázení evolventního drážkování	19
2.5 Odmaštění součástí, mezioperační odstranění ostřin	21
2.6 Zešikmení zubů drážkování	23
2.7 Ševingování	24
2.8 Mezioperační kontrola	26
2.9 Tepelné zpracování – kalení	28
2.10 Broušení	30
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	32
3.1 Volba polotovaru	32
3.2 Soustružení	33
3.3 Mezioperační kontrola	37
3.4 Frézovat ozubení	38
3.5 Obrázení drážkování	40
3.6 Srazit ostříny	41
3.7 Stříškovat	43
3.8 Ševingování	44
3.9 Kontrola	46
3.10 Odmaštění, cementovat a kalit, tryskat	46
3.11 Brousit	49
3.12 Odmaštění, kontrolovat, regulovat	53
3.13 Technologický postup	55
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	57
ZÁVĚR	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam výkresů

ÚVOD

Ve strojírenské výrobě je kladen velký důraz na snižování nákladů, zvyšování kvality, produktivity a bezpečnosti práce. Obrábění na CNC strojích patří mezi nejvíce rozšířené. Postupným rozvojem průmyslu, zejména v oblasti strojírenství, se obráběcí stroje posunuly výrazně vpřed. Původně ručně ovládané stroje se stali plně automatickými, kde nemusí lidská ruka zasáhnout, během procesu výroby, mimo seřízení stroje a upnutí součásti. Práce na nich je o mnoho rychlejší a přesnější, a tedy i kvalitnější. Vývojem těchto plně automatických strojů se sice výroba výrazně zjednodušila, ale návrh správného technologického postupu zůstal stejně důležitý. Ačkoliv vliv lidského faktoru na proces obrábění postupně klesá z důvodu automatizace, je i přesto nezbytné plně využívat potenciál stroje i operátorů, kteří s nimi pracují.

Správná volba technologie a rezných podmínek při obrábění je klíčová pro dosažení optimálních výrobních nákladů a kvality hotového výrobku (obr. 1). Proto je důležité při přípravě výroby pečlivě zvážit výběr obráběcích strojů, nástrojů a materiálů, a také zvolit správnou metodu obrábění a stanovit vhodné rezné podmínky s ohledem na požadované vlastnosti hotového výrobku a obrobitelnost materiálu. Při hrubování je kladen důraz na velký úběr třísky, a proto se volí větší hloubka záběru a posuv na otáčku, ale nižší rezné rychlosti. Při práci načisto se naopak volí menší hloubky záběru a hodnoty posuvu, a rezná rychlost bývá vyšší, aby se dosáhlo požadované drsnosti obráběných ploch a přesnosti rozměrů.

Technologický postup je velmi důležitý dokument pro výrobu, protože stanovuje postup a postupy pro výrobu konkrétního výrobku. Je tedy klíčové, aby byl správně vytvořen a obsahoval všechny potřebné informace. Vzhledem k tomu, že se vychází z konstrukční dokumentace, je důležité, aby byla tato dokumentace kvalitní a přesná. Je také důležité, aby byl technologický postup upravován a aktualizován v závislosti na změnách v konstrukční dokumentaci, výrobních postupech nebo materiálech. To znamená, že je nutné zajistit pravidelnou revizi technologického postupu a jeho aktualizaci, aby byl stále platný a účinný. Kromě toho je důležité, aby byli pracovníci, kteří se podílejí na výrobě, řádně vyškoleni a obeznámeni s technologickým postupem a s jeho požadavky. To zaručí, že se výroba bude provádět správně a bezpečně a že výsledný výrobek bude kvalitní a splní požadavky zákazníka.



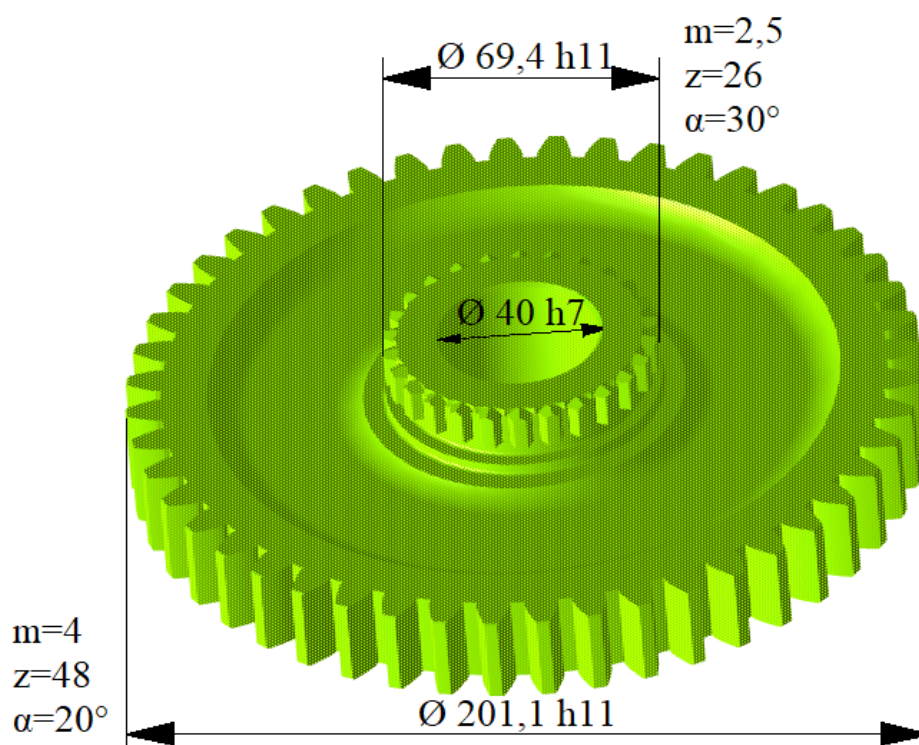
Obr. 1 Obrobené ozubené kolo.

1 POPIS VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Hlavní částí této diplomové práce je návrh technologie výroby součásti Kolo vývodu, dle předepsané výkresové dokumentace viz Výkres 1. Technologický postup je vypracován obecně, na univerzálních strojích, s použitím co největšího možného počtu normalizovaného nářadí. První část této práce představuje základní informace vybrané součásti a možné způsoby výroby, s hlavním zaměřením na třískové obrábění.

1.1 Technologičnost konstrukce

Součást (obr. 2) neobsahuje žádná tvarově složitá místa. Osazení za drážkováním bude vyrobeno zapichováním. Obrobitelnost materiálu dovoluje použití konvenčních obráběcích strojů. Otvor $\varnothing 40$ H7 má být vyhotoven s nízkým požadavkem na průměrnou aritmetickou úchylku profilu Ra 1,6. Jelikož součást projde tepelným zpracováním, tento otvor se musí dokončit tvrdým soustružením, nebo broušením. Stejných hodnot aritmetické úchylky profilu mají dosáhnout čela součásti a boky zubů. Součást neobsahuje žádné geometrické tolerance. Z hlediska technologické náročnosti se součást řadí mezi středně náročné.



Obr. 2 Zadaná součást.

Materiál součásti

Dle výkresové dokumentace, viz Příloha 1, bude pro výrobu ozubeného kola použitý materiál dle EN 10084 s označením 16MnCr5 (tab. 1). Tento materiál je ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel k cementování. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena, je dobře obrobitelná a svařitelná. Složení této oceli a její vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3. [1]

Tab.1 Normy vybraného materiálu [1].

Norma	DIN	ČSN	EN
Označení materiálu	16MnCr5	14 220	16MnCr5

Tab.2 Složení oceli dle chemických prvků [hm %] [2].

C	Mn	Si	Cr	P max.	S max.
0,14 – 0,19	1,10–1,4	0,17–0,37	0,8–1,1	0,035	0,035

Tab.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti [3].

Vlastnost	Jednotky	Hodnota
Mez pevnosti	[MPa]	690–880
Mez kluzu	[MPa]	min. 588
Tažnost	[%]	10
Hustota	[kg·m ⁻³]	7850
Tepelný součinitel roztažnosti	[K ⁻¹]	11·10 ⁻⁶
Tvrdoost	[HB]	min. 152

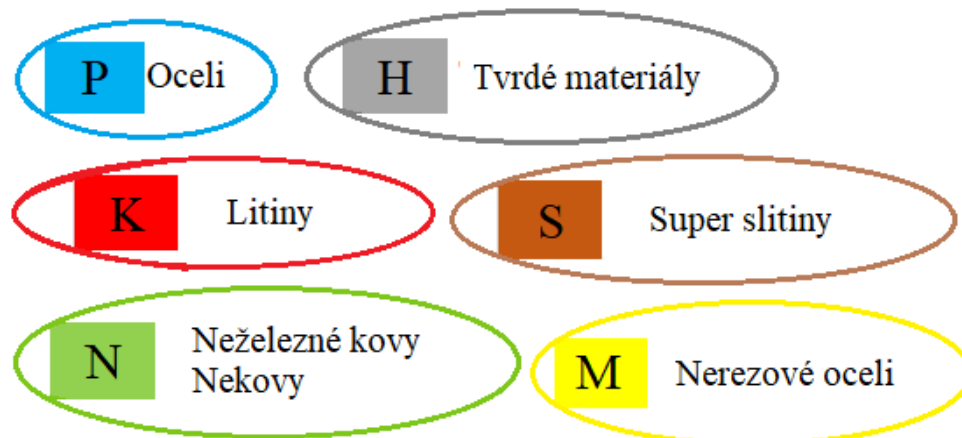
Obrobitelnost materiálu

Obrobitelnost materiálu je velmi důležitým faktorem v průmyslové výrobě. Může ovlivnit výslednou kvalitu výrobku, efektivitu výrobního procesu, spotřebu energie a náklady na výrobu. Často se používají různé testy na posouzení obrobitelnosti materiálu, jako jsou testy tvrdosti, testy proti oteru a testy při řezání. Tyto testy pomáhají inženýrům a výrobcům vybrat správné nástroje a řezné podmínky pro nejlepší výsledky a minimalizaci opotřebení nástrojů. Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují obrobitelnost materiálu. [4]

Faktory nejvíce ovlivňující obrobitelnost [4]:

- chemické a fyzikální vlastnosti materiálu
- mikrostruktura materiálu
- výroba a tepelné zpracování
- metoda obrábění
- geometrie nástroje

Obrobitelnost materiálu je zásadní pro efektivní a kvalitní obrábění a vlivy na ni jsou komplexní, její rozdělení do skupin je uvedeno na obrázku 3. Celkové a přepočtené veličiny používané při testování obrobitelnosti pomáhají posoudit síly a momenty působící při řezání a posuvu materiálu, což je klíčové pro správnou volbu nástroje a nastavení stroje. Jsou to celkové řezné síly F_i [N], které se skládají z F_{ci} [N] - řezné síly, F_{cNi} [N] – kolmé řezné síly, F_{fi} [N] – posuvové síly a F_{fNi} [N] – kolmé posuvové síly. Velikost teploty v místě řezání a potřebná energie jsou důležité při hodnocení tepelného namáhání materiálu. Kvalita povrchu a druh vytváření a dělení třísky jsou také důležité faktory při hodnocení obrobitelnosti materiálu. [4]



Obr. 3 Dělení materiálů dle obrobitelnosti [4].

1.2 Možnosti výroby

- První operací při výrobě součásti je volba polotovaru, což v případě materiálu 16MnCr5 EN 10084 může být buď přířez z tyče kruhové válcované, průměru 210 mm, nebo výkovek. Ve variantě přířezu vzniká více odpadu a strojní čas je vyšší, ale cena polotovaru bývá zpravidla levnější. Při větších výrobních dávkách se ale uspořené náklady přiklání k variantě výkovek.
- Druhá operace je soustružení vnějších a vnitřních rotačních ploch z jedné a z druhé strany.
- Třetí operace hrubování ozubení. Ozubení lze vyrábět:
 - dělicím způsobem,
 - odvalovacím způsobem frézováním odvalovací frézou, nebo obrážením.
- Čtvrtá operace obrázení evolventního drážkování s následným odmaštěním a odstraněním ostřin.
- Pátá operace zešíkmení zubů drážkování a jejich následné stříškování.
- Dokončovací operace ozubení může být provedena broušením, lapováním nebo ševingováním. Dokončování broušením a lapováním se provádí až po tepelném zpracování, ševingování ještě za měkka. Výkres již říká, že má být dokončení provedeno ševingováním.
- Tepelné zpracování, přesněji cementovat do hloubky 0,6 až 0,8 mm a kalit na hodnotu 58–62 HRC.
- Broušení vnitřního otvoru 40 H7 a broušení obou čel součásti. Následné odmaštění, kontrola a případná regulace broušením pro kola, která nebudou vyhovovat výkresové dokumentaci.

Posouzení variant obrábění ozubení:

- frézování kotoučovou frézou dělicím způsobem,
 - výhody: jednoduchost nástroje, pořizovací cena,
 - nevýhody: malá přesnost, použitelnost pro ozubení do rychlosti $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- frézování stopkovou frézou dělicím způsobem,
 - výhody: jednoduchost nástroje, pořizovací cena,
 - nevýhody: malá přesnost, použitelnost pro ozubení do rychlosti $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, nástroj náchylný na ohyb, dlouhé výrobní časy,
- frézování odvalovací frézou,
 - výhody: nástroj pro daný modul s libovolným počtem zubů, vysoká přesnost,
 - nevýhody: složitost nástroje, cena,
- obrázení nožem ve tvaru zubové mezery dělicím způsobem,
 - výhody: lze vyrobit vnitřní ozubení,
 - nevýhody: méně přesný, málo produktivní způsob,
- odvalovací obrázení nožem tvaru základního profilu (MAAG),
 - výhody: obráží se celá hloubka zubové mezery najednou, produktivnější,
 - nevýhody: při obrázení do slepého otvoru je nutné vyměnit hřeben za kolo
- odvalovací obrázení ozubeným kotoučem (FELLOWS),
 - výhody: nástroj pro daný modul s libovolným počtem zubů, produktivní,
 - nevýhody: zhotovení větších modulů vyžaduje několik otáček,

- ševingování,
 - výhody: nástroj pro daný modul s libovolným počtem zubů, produktivní,
 - nevýhody: přídavek na ševingování maximálně 0,15 mm
- broušení profilové,
 - výhody: jednoduchost nástroje, vysoká přesnost,
 - nevýhody: velká kontaktní plocha = tepelné zatížení,
- broušení odvalovacím způsobem,
 - výhody: nejpřesnější metoda, malá kontaktní plocha
 - nevýhody: delší časy.

Shrnutí operací

S ohledem na možnosti výroby byly pro tuto práci zvoleny následující operace:

- volba polotovaru,
- soustružení,
- mezioperační kontrola,
- frézování ozubení odvalovacím způsobem,
- obrázení evolventního drážkování,
- odstranění ostřin,
- zešíkmení drážkovaných zubů,
- ševingování,
- odmaštění, kontrola,
- tepelné zpracování – kalení,
- broušení otvoru,
- broušení čelní,
- odmaštění,
- kontrola.

2 TEORIE VÝROBY OBRÁBĚNÍM

Obrábění je proces odstraňování materiálu z obrobku za účelem vytvoření přesného geometrického tvaru. Existuje několik různých technik obrábění, včetně soustružení, frézování a broušení. [6]

Každá technika obrábění vyžaduje speciální nástroje a technologie a je vhodná pro specifické typy materiálů a geometrických tvarů. Například soustružení se používá k vytváření válcových a kuželových tvarů, zatímco frézování se používá k vytváření plochých nebo složitých geometrických tvarů. [7]

Obrábění je klíčovým procesem v mnoha odvětvích průmyslu, jako jsou strojírenství, automobilový průmysl a letecký průmysl. Je nezbytné pro výrobu přesných komponentů a součástek, které jsou důležité pro funkčnost zařízení a strojů. [8]

2.1 Soustružení

Soustružení je technika obrábění, při které se používá soustruh k odstraňování materiálu z obrobku, aby se vytvořil požadovaný geometrický tvar. Soustruh je stroj, který dokáže otáčet obrobkem kolem své osy a současně přibližovat nástroj, zpravidla jednobřítý, k obrobku, aby odstranil materiál. Jeho hlavní řezný pohyb je označován za rotační pohyb obrobku, je definován řeznou rychlostí, která se počítá ze vztahu [2]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3}, \quad (2.1)$$

kde: v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 D – průměr obrobku [mm],
 n – otáčky obrobku [min^{-1}].

Vedlejší pohyb je vykonávaný nástrojem a je to posuv na otáčku f , který je obvykle udán v normativech, volí se podle požadované jakosti povrchu. Z něj se počítá posuvová rychlost [5].

$$v_f = \frac{f \cdot n}{10^3}, \quad (2.2)$$

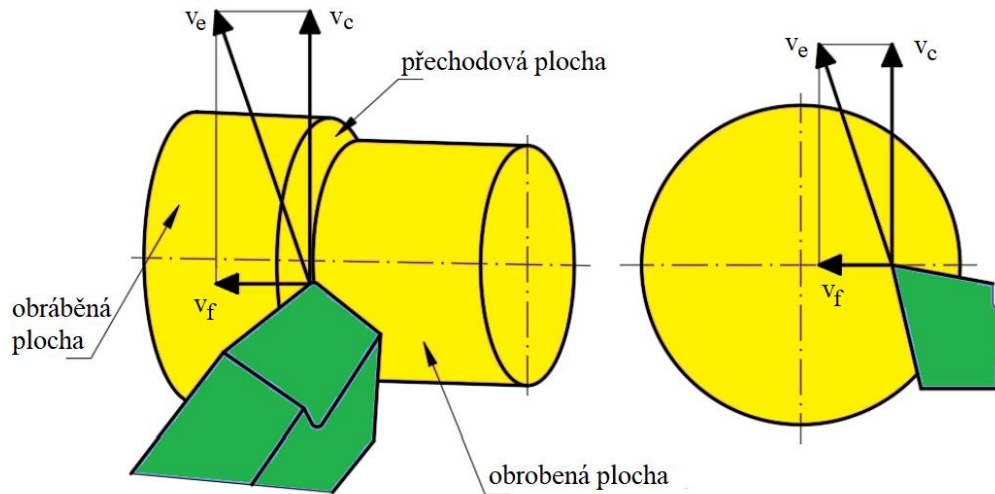
kde: v_f – posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 f – posuv na otáčku [mm].

Z těchto obráběcích rychlostí se vypočítá rychlost řezného pohybu v_e ze vztahu [5].

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}, \quad (2.3)$$

kde: v_e – rychlost řezného pohybu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$].

Hodnota v_f má oproti v_c zanedbatelnou hodnotu, proto se obvykle v_e a v_c téměř rovná. Graficky je tento vztah zobrazený na obrázku 4.



Obr. 4 Směr vektorů hlavního a vedlejšího pohybu [7].

Při stanovení technologického postupu je důležitá i znalost vztahů pro výpočet strojních časů. Při soustružení se jednotkový strojní čas určí ze vzorce [6].

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i, \quad (2.4)$$

kde: t_{AS} – jednotkový strojní čas [min],
 L – celková dráha nástroje [mm],
 i – počet třísek (záběrů) [-].

Pro výpočet celkového času je potřebná i hodnota přípravného času na každou operaci [6].

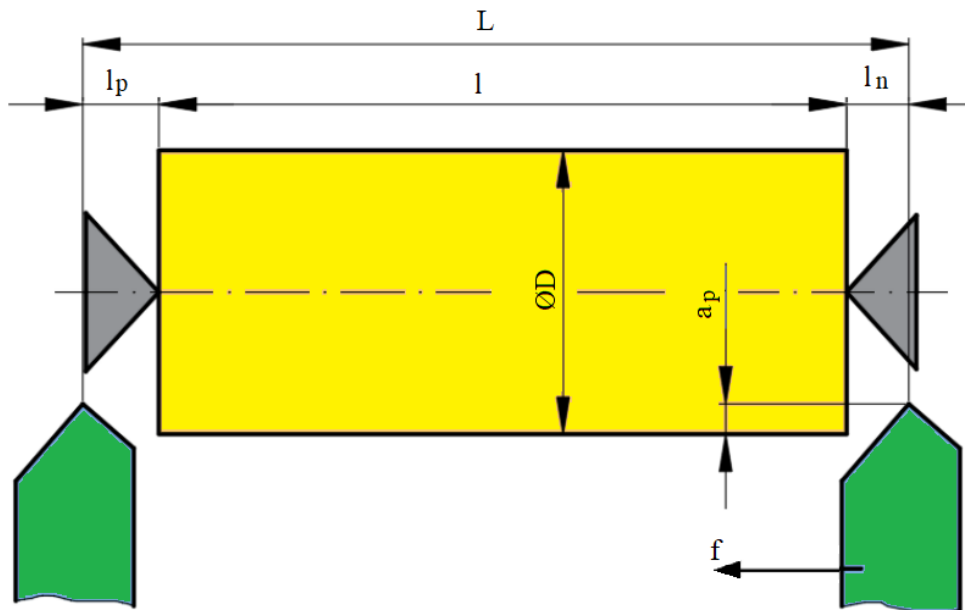
$$t_{AV} = \frac{L}{f_r}, \quad (2.5)$$

kde: t_{AV} – přípravný čas [min],
 f_r – rychloposuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$].

Dráha nástroje je součtem všech úseků, kdy se nůž pohybuje pracovním posuvem, tyto dráhy jsou vyobrazeny na obrázku 5 [6].

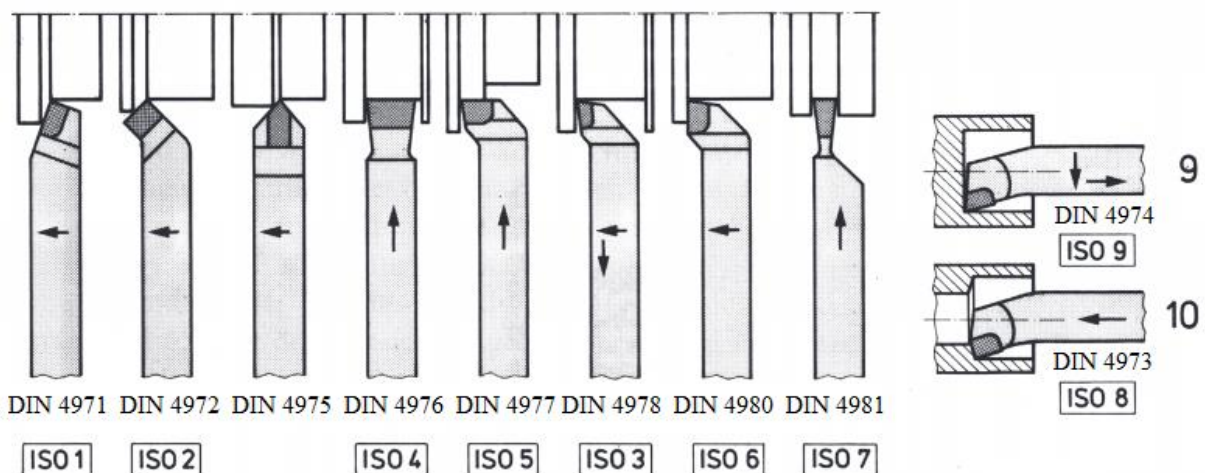
$$L = l_n + l + l_p, \quad (2.6)$$

kde: l_n – délka dráhy náběhu nástroje [mm],
 l – délka obráběné plochy [mm],
 l_p – délka dráhy přeběhu nástroje [mm].



Obr. 5 Dráha nástroje [7].

Soustružení se dělí podle několika hledisek. Jako základní je rozdělení na soustružení vnější a vnitřní, kdy se tyto technologie liší nejen tvarem nože, ale i volbou řezných podmínek, které kvůli většímu vyložení vnitřního nože musí být při vnitřním soustružení takové, aby byl průřez třísky menší než při soustružení vnějším. Vnitřní nůž má navíc válcovou část těla za břitem a je delší, aby dosáhl až na dno otvoru. Dále lze soustružení dělit na hrubování a dokončování, poté na soustružení válcových, čelních, kuželových a tvarových ploch, upichování a zapichování, vypichování a soustružení závitů. Pro jednotlivé soustružnické operace se používají různé typy nástrojů. Soustružnické nože se dělí podle mnoha hledisek, nejdůležitější je dělení podle použití, které je uvedeno na obrázku 6.



Obr. 6 Základní typy soustružnických nožů [7].

2.2 Mezioperační kontrola

Mezioperační kontrola při obrábění je důležitou součástí výrobního procesu, která zajišťuje, že jsou výrobní operace prováděny správně a že jsou výrobky vyrobeny s požadovanou kvalitou. Mezioperační kontrola se provádí mezi jednotlivými operacemi obrábění a zahrnuje kontrolu rozměrů, geometrie, drsnosti povrchu a dalších vlastností výrobku. [11]

Cílem mezioperační kontroly je odhalit případné nedostatky nebo chyby v procesu obrábění co nejdříve, aby bylo možné je opravit, a minimalizovat tak množství vadných výrobků. Mezioperační kontrola umožňuje také kontrolovat dodržování tolerancí a specifikací výrobku a případně upravit proces obrábění, aby bylo dosaženo požadované kvality. [11]

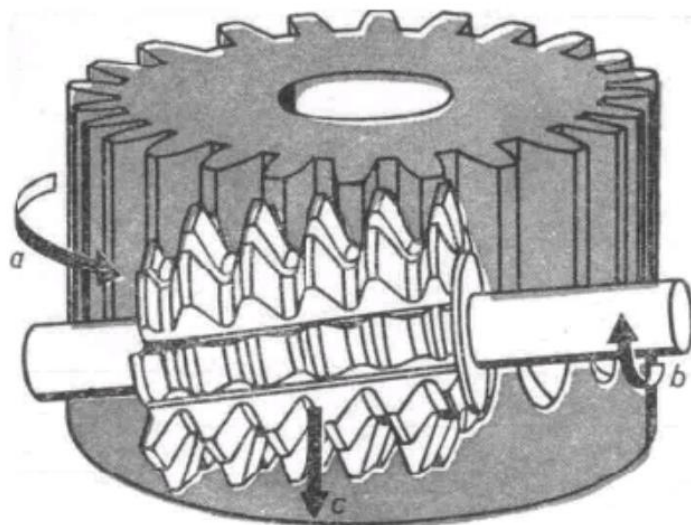
Mezioperační kontrola může být prováděna manuálně nebo pomocí měřicích zařízení, jako jsou například mikrometry, svařovací šablony, laserové měřicí přístroje nebo měřicí stroje s CNC řízením. Moderní technologie umožňují také automatickou mezioperační kontrolu pomocí senzorů, které sledují vlastnosti výrobku během procesu obrábění a případně upravují proces tak, aby byla dosažena požadovaná kvalita výrobku. [8]

2.3 Frézování ozubení odvalovacím způsobem

Frézování ozubení odvalovacím způsobem, často nazývané také frézování ozubení s přímým vedením, je technika frézování ozubených kol s využitím frézy s rotačním nožem. Tento proces se vyznačuje tím, že ozubení je vytvořeno pomocí kontaktního odvalování, což znamená, že fréza je vedena po povrchu zubu a tvar zubu je vytvořen pohybem frézy podél stěny ozubeného profilu, znázorněno na obrázku 7. [9]

Frézování ozubení odvalovacím způsobem se často používá pro výrobu menších ozubených kol, zejména pro jednoduché ozubení s malým počtem zubů. Tento proces se však může využívat i pro výrobu složitějšího ozubení s vyšším počtem zubů a s větší přesností, pokud jsou k dispozici přesné frézovací stroje a vhodné nástroje. [7]

Jednou z výhod frézování ozubení odvalovacím způsobem je to, že tento proces může být automatizován, což umožňuje výrobu ozubení s vysokou přesností a opakovatelností. Další výhodou je to, že frézy mohou být použity pro výrobu ozubení různých velikostí a tvarů, což umožňuje výrobu široké škály ozubených kol. [14]



Obr. 7 Odvalovací způsob [9].

Řezný pohyb je vyvozen rotací frézy, obrobek rotuje otáčkami tak, že se za jednu otáčku frézy pootočí o jednu zubovou rozteč, čímž se plynule frézují všechny zuby. Jednou odvalovací frézou lze obrábět ozubená kola stejného modulu s libovolným počtem a sklonem zubů. [14]

Kinematika řezného pohybu vychází z podmínky [7]:

$$\frac{n_0}{n_f} = \frac{z}{z_0}, \quad (2.7)$$

kde: n_0 – otáčky obráběného kola [min^{-1}],
 n_f – otáčky odvalovací frézy [min^{-1}],
 z_0 – počet zubů obráběného kola,
 z_1 – počet chodů odvalovací frézy.

Při frézování přímých zubů musí být osa frézy skloněna k obrobku o úhel β , který odpovídá úhlu stoupání šroubovice na roztečném válci. Fréza se vyklání podle pravého nebo levého sklonu zubů. Jestliže tedy obrobek vykoná jednu otáčku kolem své osy, fréza vykoná tolik otáček, kolik má mít vyráběné kolo zubů. [10]

Při frézování ozubení odvalovacím způsobem se nejdříve určí tvar a rozměry ozubení na základě technické dokumentace. Poté se na odvalovací frézce (obr. 8) pomocí speciálních frézek a nástrojů vytvoří ozubení postupným odvalováním materiálu, tj. postupného vytváření tvaru ozubení. Odvalování probíhá postupným odstraňováním materiálu z povrchu obrobku. Při každém průchodu frézy se materiál odvalí, a to až do kýžené hloubky. Frézování ozubení odvalovacím způsobem se často používá na tvrdších materiálech, kde je třeba použít menší řezné hloubky a větší počet průchodů frézou. Odvalovací frézky mohou pracovat nesousledným nebo sousledným způsobem. U nesousledného frézování se fréza pohybuje shora dolů, což umožňuje použití větších řezných rychlostí. U sousledného frézování se fréza pohybuje zdola nahoru, což umožňuje větší posuvy a rychlejší obrábění. [10]



Obr. 8 Odvalovací frézka OFA 32 CNC6.

Hlavní důvody, proč je odvalovací způsob výroby výhodnější než dělicí [15]:

- Jednou odvalovací frézou lze frézovat všechny počty zubů pro jednu rozteč
- Frézování je rychlejší
- Boky zubů jsou přesnější a rozteče stejnoměrnější

Odvalovací frézování patří k velmi produktivním způsobům obrábění ozubených kol, vyžaduje složitý systém nastavování a řízení potřebných pohybů obráběcího stroje, klade však vysoké nároky na kvalifikaci a zkušenost obsluhujícího pracovníka. [10]

Výpočet strojního času frézování odvalovacím způsobem se počítá ze vztahu [11]:

$$t_{AS} = \frac{z}{z_s} \cdot \frac{L}{n_s \cdot f_a} \text{ [min]}, \quad (2.8)$$

kde: n_s – frekvence otáček frézy [min^{-1}],
 z_s – počet chodů frézy,
 f_a – axiální posuv stolu [mm/ot.obr.].

2.4 Obrázení evolventního drážkování

Odvalovací a profilové obrázení je jednou z nejuniverzálnějších metod pro obrábění ozubení a profilů. Je nezastupitelnou metodou nejen pro výrobu ozubení tradičních tvarů (vnitřní ozubení), ale i pro zvláštní použití u nekruhových součástí. Obrázením se vyrábí přesná čelní kola s rovnými, šikmými, šípovými zuby na příslušných odvalovacích strojích a obrázečkách Maag a Sunderland (obr. 9). Základní části obrázeček jsou smýkadlo, stojan, pracovní stůl a křížové saně. Velikost obrázeček je dána největším zdvihem smýkadla. [10]

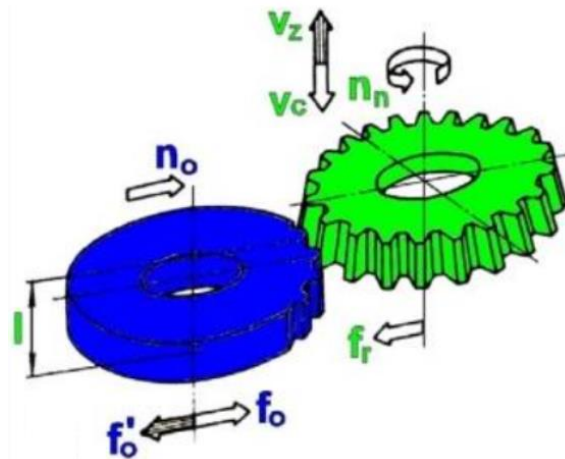


Obr. 9 Odvalovací obrázečka OHA 50.

Obrázení kotoučovým nožem Fellows

Obrázení kotoučovým nožem (obr. 10) je metoda obrábění ozubených kol, která využívá kotoučový nůž. Princip této metody je založen na záběru dvou ozubených kol bez vůle, tzn. že při obrábění se nástroj a obrobek po sobě odvalují tak, jako by spolu zabírala dvě čelní ozubená kola. Kotoučový nůž je vyroben z rychlořezné oceli a je tvarově upraven podle tvaru zubu ozubeného kola, které se má obrábět. Kotoučový nůž se pak přesně umístí do ozubení kola a pomocí vedení se kotouč otáčí kolem vlastní osy a postupně obrábí zuby ozubení. Obrábění kotoučovým nožem je velmi přesné a dá se použít i na tvrdé materiály. Kotoučovými noži lze obrábět i vnitřní ozubení. Šikmé ozubení se obrábí nástrojem s přímými nebo šikmými zuby, který v průběhu pracovního dvoj-zdvihu (do záběru, ze záběru) koná pomocí šroubovitých vodítek přídatný rotační pohyb ve šroubovici s úhlem sklonu zubů obráženého kola. [11]

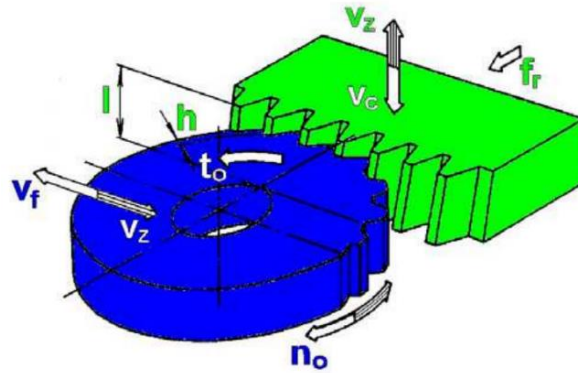
Touto metodou se vyrábějí ozubená kola s modulem od 0,4 do 14 mm a průměru až 3000 mm. Výhodou je vysoká produktivita, řezná rychlost je zde až $415 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Nevýhodou je složitý tvar vodících ploch smýkadla a přesnost je o něco nižší než u metody MAAG. [11]



Obr. 10 Metoda Fellows [12].

Obrázení hřebenovým nožem Maag

Jedná se o speciální metodu, která umožňuje vyrábět ozubení s velmi vysokou přesností a kvalitou povrchu. Metoda spočívá v tom, že se používá speciální nástroj – hřebenový nůž Maag, který má tvar ozubeného hřebene s velmi ostrými zuby (obr. 11). Tento nástroj se pak vkládá do stroje na obrábění ozubení, který umožňuje přesné řízení pohybu nástroje a obrobku. Při obrábění se hřebenový nůž Maag pomalu přibližuje k obrobku a postupně začíná zasahovat do zubů obrobku. Tento zásah musí být velmi přesně řízen, aby nedošlo k poškození nástroje nebo obrobku. Jakmile hřebenový nůž Maag zasáhne do prvního zubu obrobku, začne se tento zub postupně obrábět a vytvářet nové ozubení. Tento proces se opakuje postupně pro všechny zuby obrobku, dokud nejsou všechny zuby dokončeny. Při obrábění hřebenovým nožem Maag je nutné dbát na velkou přesnost a stabilitu stroje, aby bylo dosaženo co nejvyšší kvality a přesnosti ozubení. Tento proces je velmi náročný na kvalifikaci a zkušenosti obsluhujícího pracovníka, a proto se obvykle využívá výhradně pro výrobu ozubení s velmi vysokou přesností a kvalitou. [12]



Obr. 11 Metoda Maag [12].

Výpočet strojního času pro obrázení se vypočítá ze vztahu [13]:

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot z \cdot m_t \cdot n}{n_z \cdot f_r} \text{ [min]}, \quad (2.9)$$

kde: m_t – čelní modul,
 n_z – počet dvojdvojhů [dv.zdv./min],
 f_r – radiální posuv stolu [mm/dv.zdv.].

2.5 Odmaštění součástí, mezioperační odstranění ostrin

Odmaštění součástí

Odmaštění součástí strojírenské výroby je důležitým procesem, který má za úkol odstranit z povrchu součástí různé nečistoty, jako jsou oleje, tuky, prach a další nečistoty, které by mohly ovlivnit kvalitu konečného výrobku. Proces odmaštění se obvykle provádí pomocí odmašťovacích prostředků, které se aplikují na povrch součásti a následně se odstraňují různými způsoby, jako je oplachování vodou, odpařování nebo vysoušení. [13]

Existuje mnoho druhů odmašťovacích prostředků, jako jsou například rozpouštědla na bázi uhlovodíků, alkoholy, ketony a mnoho dalších. Výběr správného odmašťovacího prostředku závisí na materiálu součásti a typu nečistot, které se mají odstranit. [13]

Proces odmaštění je důležitým krokem při výrobě mnoha různých součástí, jako jsou například ložiska, ozubená kola, čerpadla, ventily a mnoho dalších. Kvalita odmaštění může ovlivnit celkovou kvalitu a spolehlivost výrobku, proto je důležité věnovat tomuto procesu dostatečnou pozornost a provádět ho správně a účinně. [14]

Existuje několik metod odmaštění, jako je [17]:

- **mechanické odmaštění** – použití kartáčů, stíracích nožů a jiných abrazivních nástrojů k odstranění nečistot z povrchu součásti,
- **topné odmaštění** – použití tepelné energie k odstranění nečistot. Tento proces se obvykle používá u kovů, které se zahřejí na vysokou teplotu a tím se odstraní nečistoty,
- **parní odmaštění** – použití páry k odstranění nečistot z povrchu součásti,
- **ultrazvukové odmaštění** – použití ultrazvukového vlnění k odstranění nečistot z povrchu součásti. Tato metoda spočívá v tom, že se součást ponoří do speciálního odmašťovacího roztoku a následně se vystaví ultrazvukovým vlnám. Tyto vlny vytvářejí mikrobublinky, které odstraňují nečistoty a tuky z povrchu součásti. Tato metoda je velmi efektivní, avšak je také nákladnější,

- **chemické odmaštění** – použití chemických roztoků a čisticích prostředků k rozpuštění nebo odstranění nečistot:
 1. odmašťování rozpouštědly – jedná se o nejtradičnější metodu odmašťování, při které se používají rozpouštědla jako např. aceton, izopropylalkohol nebo petrolej. Tyto látky rozpouštějí tuk a olej a umožňují tak snadné odstranění nečistot. Tato metoda je však méně šetrná k životnímu prostředí,
 2. odmašťování pomocí emulze – při této metodě se používají speciální odmašťovací prostředky, které se smíchají s vodou a vytvoří emulzi. Tento roztok se následně nanáší na součást a po určité době se opláchnou vodou. Tato metoda je šetrnější k životnímu prostředí a lze ji použít i pro odmašťování citlivějších součástí.

Součásti strojírenské výroby se odmašťují v různých typech zařízení, v závislosti na typu a velikosti součástí a množství, které se má odmašťovat. [14]

Mezi nejčastěji používaná zařízení patří [17]:

- **odmašťovací kabiny** – uzavřené prostory, kde se pomocí stříkání, kartáčování nebo jiných metod aplikuje odmašťovací médium na povrch součástí,
- **odmašťovací zařízení s rotačním bubnem** – zařízení, kde se součásti vkládají do rotačního bubnu a otáčením se na ně aplikuje odmašťovací médium,
- **odmašťovací linky** – automatizované systémy, kde se součásti přepravují po předem definované trase a aplikuje se na ně odmašťovací médium pomocí tryskání, kartáčování nebo jiných metod,
- **ultrazvukové odmašťovací zařízení** – využívají ultrazvukové vlny k odstranění nečistot a olejů z povrchu součástí,
- **řetězové odmašťovací stroje** – zařízení, která umožňují odmašťování součástí v řetězovém systému, kdy se součásti postupně přemísťují po pevně stanovené trase a odmašťují se pomocí různých metod aplikace odmašťovacího média (obr. 12),
- **vodní odmašťovací zařízení** – zařízení, kde se součásti odmašťují pomocí proudu vody s přídavkem odmašťovacího prostředku,
- **parní odmašťovací stroje** – zařízení, kde se součásti odmašťují pomocí páry a vysoké teploty.



Obr. 12 Průmyslová pračka dílů PROGRESS 401.

Mezioperační odstranění ostřin

Mezioperační odstranění ostřin strojírenských součástí se provádí za účelem odstranění ostrých hran, které vznikají během obrábění. Tyto ostré hrany mohou být nebezpečné pro obsluhu strojů, mohou poškodit další součásti nebo mohou ovlivnit kvalitu výsledného produktu. Mezioperační odstranění ostřin se provádí různými způsoby v závislosti na druhu materiálu a typu obrábění. Ostřiny strojírenských součástí se obvykle odstraňují na brousících strojích, jako jsou například brusky s rotačním stolem, brusky s vodícími lištami nebo speciální brusné stroje pro odstraňování ostřin. V některých případech mohou být ostřiny odstraňovány také ručně pomocí brousících nástrojů jako jsou brusné kameny, pilníky nebo brusné papíry. [15]

Mezi nejčastější metody odstraňování ostřin patří [8]:

- pilníkem,
- brusnými kotouči (obr. 13),
- odválcováním,
- leptáním,
- odpařováním,
- výbuchem.

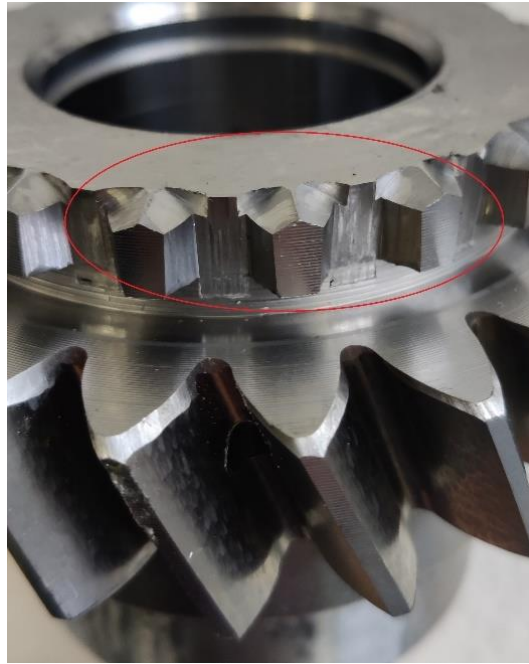
Každá metoda má své výhody a nevýhody a volba závisí na konkrétních požadavcích výroby a materiálu součásti.



Obr. 13 Sada brusných tělísek.

2.6 Zešikmení zubů drážkování

Stříškování zubů drážkování je proces, který se používá při výrobě ozubených součástí, zejména při drážkování ozubených kol. Cílem stříškování zubů je vytvořit stříškový tvar na konci drážky (obr. 14), což slouží ke zlepšení vedení a zapojení ozubených součástí, snižuje koncentrace napětí a zvyšuje jejich odolnost proti lámání a trhání. Stříškování zubů drážkování se provádí pomocí speciálního stroje nazývaného stříškovač. Tento stroj je vybaven dvěma frézami (pravou a levou), úhlově nakloněných od součásti, které odstraňují materiál na konci drážky a vytvářejí stříškový tvar. Při stříškování zubů drážkování je důležité dodržovat správné parametry, jako je velikost, úhel a délka stříšky. Tyto parametry se volí v závislosti na konkrétních požadavcích aplikace a typu ozubeného kolového profilu. [17]



Obr. 14 Stríškované drážkování.

2.7 Ševingování

Ševingování je vhodné pro nekalená ozubená kola, nebo po cementaci před kalením. Příklad na ševingování se volí od 0,04 mm do 0,1 mm, takže ozubená kola pro ševingování musí být vyrobena s vyšší přesností než pro broušení. [11]

Nástrojem (obr. 15) je korigované ozubené kolo, na jehož bocích jsou drážky pro vytvoření rezných hran a pro odvod třísek a je přitlačován k obráběnému kolu, které je unášeno. Osy obráběného kola a nástroje jsou mimoběžné, zkříženy pod úhlem 5–15°. Ševingovací kolo má obvodovou rychlost 80–120 m/min. [11]



Obr. 15 Ševingovací kola.

Nastavení ševingu se počítá v závislosti na konkrétních parametrech ozubeného kola. Mezi hlavní parametry patří: [10]

- Modul ozubení
- Průměr ozubení
- Počet zubů
- Typ ozubení (vnější nebo vnitřní)
- Použitá šířka ozubení
- Požadovaná kvalita

Nastavení se poté provádí pomocí speciálních výpočtů, které jsou založeny na geometrii ozubení a potřebách aplikace. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují nastavení, patří: [11]

- Typ a průměr ševingovacího kola
- Úhel šikmého zubu
- Délka ševingu
- Výška ševingu

Správné nastavení je klíčové pro dosažení požadované kvality a výkonu ozubeného kola. Šev, který je příliš mělký, může vést k předčasnému opotřebení ozubení a snížení životnosti, zatímco šev, který je příliš hluboký, může vést k oslabení ozubení a snížení pevnosti. [11]

Nastavení při ševingování se obvykle počítá podle vztahu [17]:

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{(v_1 - v_2)}{(d_1 + d_2)}, \quad (2.10)$$

kde: β – úhel sklonu zubu [°],
 v_1 a v_2 – rychlosti posuvu ševingovacího stroje a kola [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 d_1 a d_2 – průměry ševingovacího kola a ozubeného kola [mm].

Po výpočtu úhlu šikmého zubu se dá vypočítat hloubka záběru ševingovacího kola do ozubeného kola pomocí následujícího vztahu [17]:

$$h = \frac{(m - p)}{2} \cdot \operatorname{cotg}(\alpha), \quad (2.11)$$

kde: h – hloubka záběru ševingovacího kola do ozubeného kola [mm],
 p – normálová délka ozubení [mm].

Je důležité si uvědomit, že výpočty jsou závislé na specifických parametrech stroje a materiálu zpracovávaných součástí, protože mohou mít různé vlastnosti. Proto je nutné vždy provést pečlivé měření a nastavení před prováděním ševingování. Výpočet strojního času pak probíhá ze vztahu [11]:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot n_z}{f} + \frac{1,5 \cdot n_z}{60}. \quad (2.12)$$

2.8 Mezioperační kontrola

Mezioperační kontrola je proces, při kterém se provádí kontrola výroby v průběhu výrobního procesu, aby se minimalizovaly případné chyby a nedostatky, které by mohly vést k vadným nebo nekvalitním výrobkům. Kontrola může být prováděna v pravidelných intervalech nebo po určitém počtu vyrobených výrobků. Výsledky kontrol se pak mohou zaznamenávat v kontrolních listech nebo elektronických systémech a slouží jako základ pro zlepšování výrobního procesu. Mezioperační kontrola se může provádět různými způsoby, jako jsou například [18]:

- vizuální kontroly – provádí se kontrola vzhledu a povrchu výrobků, aby se odhalily případné vady, trhliny nebo deformace,
- měření rozměrů – měří se rozměry výrobků pomocí různých měřicích přístrojů (obr. 16), aby se ověřila jejich přesnost a shoda s technickým výkresem,
- zkoušení materiálů – provádí se testy na pevnost, tvrdost, odolnost apod., aby se ověřila kvalita použitého materiálu,
- testování funkčnosti – provádí se testy funkčnosti výrobků, aby se ověřila jejich správná funkce a výkonnost.

Mezioperační kontrola se může provádět na různých zařízeních, která jsou používána v průběhu obráběcích operací. Volba konkrétního zařízení pro mezioperační kontrolu závisí na charakteristikách výrobních operací a požadované úrovni přesnosti. Některé příklady zařízení, na kterých se může provádět mezioperační kontrola, zahrnují [11]:

- Měřicí mikroskopy a projekční zařízení – tyto zařízení umožňují operátorům přesně měřit rozměry a geometrické charakteristiky zpracovávaných součástí.
- Sondy a snímače – tyto zařízení mohou být použity k měření průměru, hloubky, polohy a dalších vlastností zpracovávaných součástí.
- Ostatní speciální zařízení – některé výrobní operace mohou vyžadovat speciální zařízení pro mezioperační kontrolu. Například při frézování zubů ozubených kol může být použit speciální analyzátor zubů k zjištění správného tvaru a velikosti zubů.

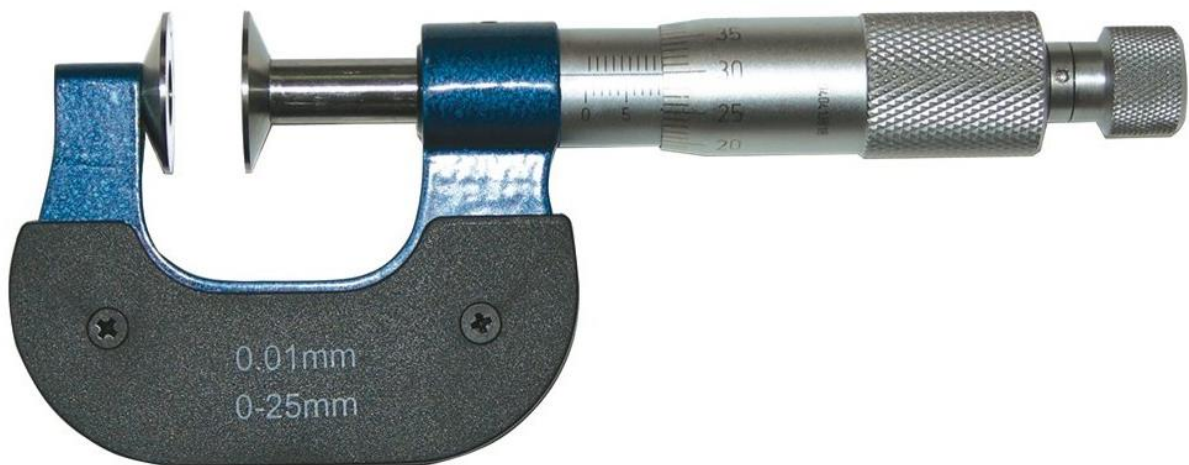


Obr. 16 3D měřicí stroj.

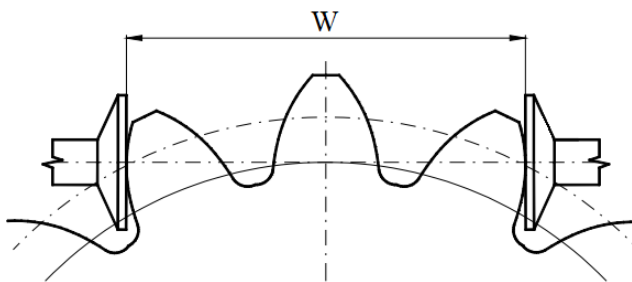
Kontrola a měření ozubených kol

Kontrola a měření ozubených kol začíná u polotovaru, u kterého kontrolujeme čelní a obvodové házení, průměr hlavové kružnice a průměr otvoru. Čím přesnější má být kolo, tím užší má otvor toleranci. Dále se ozubení může kontrolovat šablonou na zub nebo mezeru. Nebo se bok zubu může kontrolovat na profil projektoru. Zub promítneme ve zvětšení na obrazovku a porovnáme ho s přesně vyrobenou šablonou. [11]

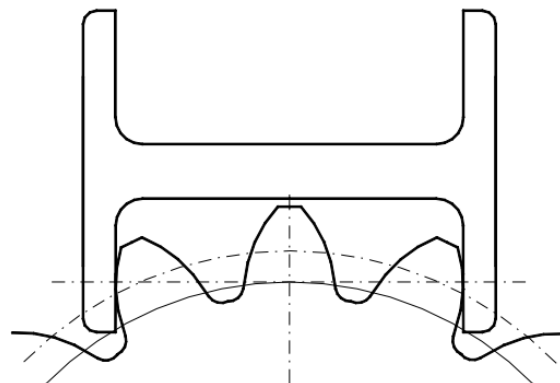
Dále je tu kontrola dvoubokým odvalem, kdy se ozubené kolo dá do záběru s přesně vyrobeným vzorkem. Vyrobené kolo je uloženo na pohyblivých saních. Nepřesnosti se projeví pohyby, které grafické zařízení zaznamená do kruhového grafu. Kontrola mikrometrem s talířkovými dotyky (obr. 17 a obr. 18), nebo kalibrem (obr. 19), kde se měří tzv. míra přes zuby. Je to vzdálenost, kterou vytíná tečna k základní kružnici poblíž roztečné kružnice. Tato vzdálenost je uvedena v normě ČSN pro různý počet zubů, ale pouze pro modul $m=1$. Jestli je modul jiný než 1, je tato vzdálenost rovna násobku. [11]



Obr. 17 Talířkový mikrometr.



Obr. 18 Měření mikrometrem.



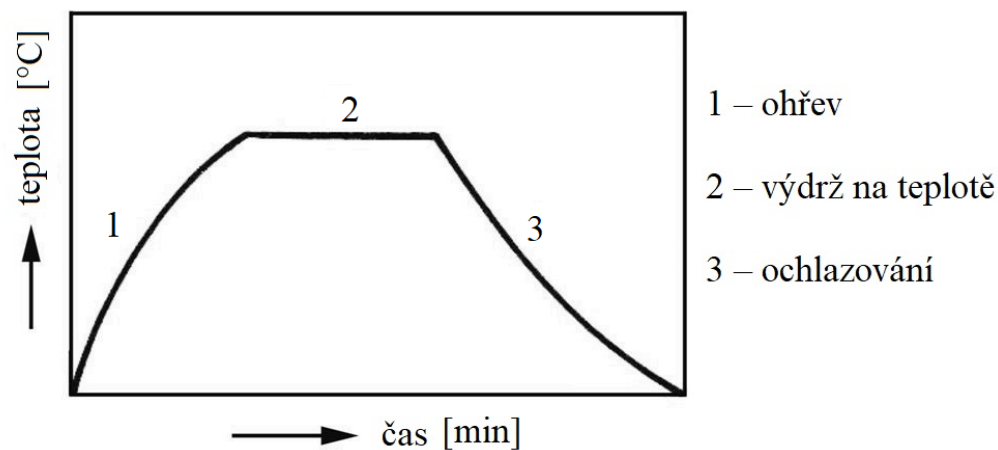
Obr. 19 Měření kalibrem.

2.9 Tepelné zpracování – kalení

Tepelné zpracování kovů je v oblasti kovových materiálů důležitou technologickou operací, která umožňuje upravit vlastnosti kovových materiálů pomocí kontrolovaného ohřevu a chlazení. Jednou z nejdůležitějších operací tepelného zpracování kovů je kalení. Kalení je tepelný proces se vznikem nerovnovážné struktury. Je prováděno jak u nástrojových ocelí, tak u ocelí konstrukčních, a to pro zlepšení určitých mechanických vlastností. [21]

Proces kalení zahrnuje několik fází (obr. 20), jako je ohřev oceli na kalící teplotu, což je teplota, při které v oceli dojde ke vzniku austenitu, což je fázový přechod železa a uhlíku. Udržování této teploty po dobu potřebnou k dosažení homogenního austenitického krystalického zrna, rychlé ochlazení, obvykle v oleji, vodě nebo vzduchu. Tento prudký ochlazovací proces způsobuje změny v mikrostruktúře oceli a má vliv na mnoho vlastností oceli, jako je tvrdost, pevnost, houževnatost a odolnost proti opotřebení. Kromě toho kalení také zlepšuje odolnost oceli proti korozi a zvyšuje její odolnost proti vysokým teplotám. Tyto vlastnosti jsou spojeny se vznikem nerovnovážné struktury martenzitu a bainitu, které jsou požadovány po správném zakalení. [19]

Tento proces může být řízen počítačem nebo manuálně. Je důležité, aby byl proces řízen správně, aby byla dosažena požadovaná tvrdost a vlastnosti oceli. Kaliči musí mít kromě odborných znalostí také praktické zkušenosti s kalíci procesy a schopnosti řešit případné problémy. Kaličské postupy a parametry závisí na druhu oceli, která se kalí, a na požadovaných vlastnostech. Kaličské procesy jsou důležitou součástí průmyslové výroby oceli a dalších kovů. Opakem kalení je žihání, používané k výrobě co nejměkčí oceli. Ocel z hutí je dodávána vyžihána, tedy v základním nebo výchozím stavu. Jestliže se kalení nepodaří, musí být vyžihána (vrácena do výchozího stavu) a znovu zakalena. [20]



Obr. 20 Schéma průběhu kalení.

Druhy kalení [21]:

Martenzitické

- Nepřetržité – kalení součástí jen do určitých rozměrů (při větších rozměrech vzniká velký teplotní rozdíl mezi jádrem a povrchem materiálu)
- Přetržité lomené – kalení do dvou různých prostředí (rychlejší a pomalejší)
- Přetržité termální
- Přetržité se zmrazováním

Bainitické

- Nepřetržité
- Izotermické zušlechťování – součásti se již dále nepopouštějí
- Izotermické patentování – používá se při výrobě drátu, vzniklá struktura je vhodná k protahování skrz průvlak
- Izotermické kalení

Základní pojmy [18]:

- kalitelnost – je schopnost materiálu dosáhnout kalením určité tvrdosti. Je zásadně ovlivněna obsahem uhlíku. Jako kalitelné jsou označovány oceli s obsahem uhlíku nad 0,2 %, kdy lze již zaručit vznik zákalné struktury. Oceli nad 0,35 % C se považují za dobře kalitelné. U legovaných ocelí se obsah uhlíku potřebný k zakalení mírně snižuje, a to díky přísadám legujících prvků v oceli. Legující prvky především zvyšují prokalitelnost,
- prokalitelnost – je schopnost oceli dosáhnout tvrdosti, odpovídající její kalitelnosti v určité hloubce pod povrchem kalené součásti. Lze ji jednoduše ověřit Jomminioho čelní zkouškou prokalitelnosti,
- zakalitelnost – je nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli, která je dána především tvrdostí martenzitu (která je ovlivněna obsahem uhlíku v oceli, se zvyšujícím se obsahem tvrdost martenzitu stoupá).

Kalící prostředí [21]:

je prostředí, ve kterém probíhá kalení kovu. Toto prostředí může být různé a záleží na konkrétním typu kovu a způsobu kalení. Mezi nejčastější kalící prostředí patří voda, olej a vzduch.

- Voda je nejrychlejším kalícím prostředím, což znamená, že kov v ní bude nejrychleji ochlazen a získá tak největší tvrdost. Avšak při kalení ve vodě může docházet ke vzniku trhlin a deformacím kovu, a proto se v praxi používá spíše při kalení menších dílů nebo u ocelí s nižším obsahem uhlíku.
- Olejové kalení je méně drastické než kalení ve vodě a umožňuje větší kontrolu procesu kalení. Výsledná tvrdost kovu závisí na druhu oleje, který se používá. Olejové kalení je oblíbené při kalení nástrojových ocelí a ocelí s vysokým obsahem uhlíku.
- Vzduchové kalení je nejméně drastické a získaná tvrdost je nižší než při kalení ve vodě nebo oleji. Tento způsob kalení se používá především pro oceli s nízkým obsahem uhlíku a pro kalení menších dílů.

Kromě těchto základních kalících prostředí se používají i speciální prostředky, například plyny, solné lázně nebo tavidla s kovovými solemi. Výběr správného kalícího prostředí závisí na mnoha faktorech, jako je druh kovu, tvar a velikost dílu, požadované vlastnosti a také na možnostech a vybavení kalících pecí. [21]

2.10 Broušení

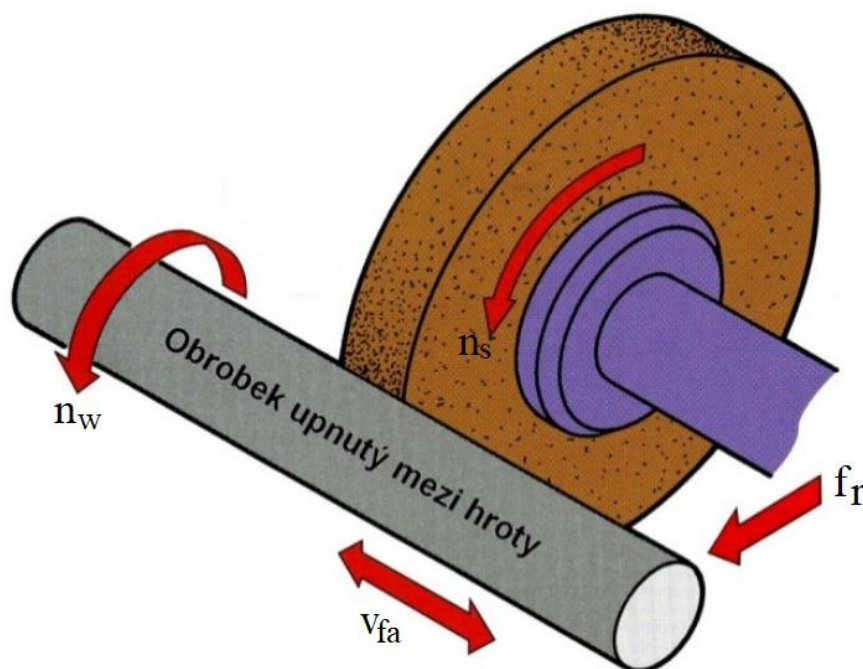
Broušení je proces, při kterém se pomocí abrazivních nástrojů (brousicích kotoučů, brusných kamenů, brousků atd.) odstraňuje materiál z povrchu obrobku s cílem dosáhnout požadovaného tvaru, přesnosti a drsnosti povrchu. Strojní broušení se provádí pomocí brousicího kotouče, který vykonává hlavní a vedlejší pohyby. Tento proces probíhá při značných rychlostech, nejčastěji do $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ve zvláštních případech až do $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Broušením se dosahuje velké přesnosti obrábění. Základním způsobem broušení je broušení vnějších válcových ploch s posuvem podél osy obrobku. V tomto případě je řeznou dráhou zrna šroubovitá hypocykloidní křivka a řeznou plochu tvoří soubor hypocykloidních šroubovic. [11]

Před broušením se obvykle odstraní všechny hrany a ostré rohy na součástce, aby se zabránilo poškození kotouče nebo vzniku vln na povrchu. Při broušení se součástka může otáčet nebo zůstat pevná, zatímco kotouč se pohybuje podél povrchu. Broušení může být prováděno suché nebo mokré, v závislosti na materiálu součástky a použitém brousicím kotouči. [8]

Broušení se vyznačuje vysokou produktivitou určenou velikostí plochy obrobku, opracované za časovou jednotku. Vysokou přesností obrobených rozměrů v mezích od 2 do 3 μm , velkou geometrickou přesností tvaru obrobených ploch, vysokou kvalitou povrchu – průměrná aritmetická úchylka profilu broušené plochy, vysokou kvalitou povrchové vrstvy obrobku s minimálním stavem napjatosti jeho materiálu, možností obrábění velmi tvrdých materiálů (kalené oceli, slinuté karbidy, minerál-keramických materiálů atd.), protože zrna brusiva nástroje jsou velmi tvrdá a tepelně odolná. Tím, že se při broušení odebírá množství velmi jemných třísek z povrchu obrobku při působení malých řezných sil, se dosahuje velmi dobrých vlastností součástí. [11]

Kinematika řezného pohybu (obr. 21):

- hlavní pohyb – rotační, vykonává ho nástroj (n_s)
- vedlejší pohyb – posuv (v_{fa}) – udává dráhu, kterou nástroj urazí vůči obrobku za otáčku
 - přířuv (f_r) – udává tloušťku třísky
 - rotace obrobku (n_w)



Obr. 21 Kinematika řezného pohybu.

Nástroj:

skládá se z pojiva (tab. 4) a brusiva (tab. 5), brusivo v brusném kotouči je tvořeno brusnými zrny, která jsou připojena k pojivu. Tyto brusná zrna jsou rovnoměrně nebo nerovnoměrně rozmístěna v pojivu brusného kotouče. Pojivo slouží k udržení brusného zrna na místě a k přenosu tlaku a tepla během broušení. Různé kombinace brusiva a pojiva umožňují vytvoření brusných kotoučů s různými vlastnostmi, jako je tvrdost (tab. 6), odolnost a schopnost brousit různé materiály. Broušící nástroj je charakterizován geometrickým tvarem a velikostí, druhem brusiva, pojivem, zrnitostí, tvrdostí, strukturou a koncentrací brusiva.

Tab. 4 Druhy pojiva [21].

Druh pojiva	Označení	Poznámka
Anorganická		
Keramika	V	Tuhé nástroje, snáší větší velké opotřebení, křehké.
Silikát	S	
Magnezit	O	Chladný řez, pouze za sucha, nesnáší vlhkost.
Kovy		Převážně pro diamantové kotouče.
Organická		
Šelak	E	
Pryž	R	Pro tenké a lešticí kotouče.
Umělá pryskyřice	B	Velmi pevné, hlavně pro řezné kotouče.
Klíh	G	

Tab. 5 Základní druhy brusiva [21].

Druh brusiva	Označení	Barva
Organická		
Granát	G	
Smírek	S	
Pazourek	P	
Anorganická		
Umělý korund	99A	Bílá
	98A	Růžová
	96A	Hnědá
	85A	Černá
Karbíd křemíku	49C	Zelená
	48C	Černá
Karbíd boru	B	
Kubický nitrid boru	BN	
Diamant (přírodní i umělý)	D	

Tab. 6 Označení tvrdostí [21].

Tvrdost	Označení
Maximálně měkký	A – D
Velmi měkký	E – G
Měkký	H – K
Střední	L – O
Tvrký	P – S
Maximálně tvrdý	T – Z

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola je věnována tvorbě technologického postupu od volby polotovaru, včetně volby strojů, nástrojů a měřidel, až po kontrolu hotových součástí. Ke každé výrobní operaci je zhotovena operační návodka, která charakterizuje, co se na dané operaci dělá.

3.1 Volba polotovaru

Polotovar součásti, ze kterého se vyrábí finální součást je nutno volit s ohledem na výrobní náklady, ekologické aspekty výroby, jako je snížení produkce odpadu, minimalizace emisí a úspora energie. Využití materiálu by mělo být co nejvyšší, proto se volí přídavky na obrábění co nejnižší.

Pro polotovar výkovek se volí přídavky na obrábění dle tab.7

Tab. 7 Přídavky na obrábění výkovek dle ČSN 42 0278.

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku					
		přes	25	40	63	100	160
		do 25	40	63	100	160	250
přes	do	Přídavky na obrábění ploch					
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

Stanovení normy spotřeby materiálu

Dle rozborově propočtové metody se vypočítá norma spotřeby materiálu [22]:

- hmotnost hotového dílu: $Q_s = 3,8766 \text{ kg}$
- hmotnost výkovku $Q_p = 6,1 \text{ kg}$

Stupeň využití materiálu k_m [-] se vypočítá dle vztahu [22]:

$$k_m = \frac{Q_s}{Q_p}, \quad (3.1)$$

$$k_m = \frac{3,8766}{6,1} = 0,636$$

Dle hodnoty koeficientu využití materiálu se hodnotí pracnost výrobku. Hodnota blíží se nule znamená velké množství odpadu, zatímco hodnota blíží se jedné znamená přesný opak. Z výkovku máme využitelnost materiálu 63,6 %.

3.2 Soustružení

Soustružnická operace se bude provádět na dvě upnutí ve stroji Muratec MW 200 (obr. 22), tento stroj má dva samostatné obráběcí prostory, v každém z nich vřeteno, dvanácti-nástrojovou revolverovou hlavu, i samostatný ovládací panel. Obě strany součásti se tak mohou obrábět ve stejnou chvíli. Seznam měřidel s četností měření v tabulce 8. Nástroje pro soustružení jsou zobrazeny v tabulkách 9 a 10. Operační návody se strojními časy t_{AS} (dle 2.4) v tabulkách 11 a 12.



Obr. 22 Soustruh Muratec MW 200.




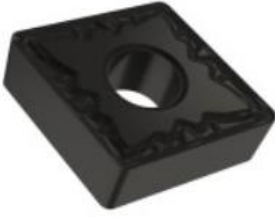


Tab. 8 Přehled měřidel.

Poř.	Měřený rozměr [mm]	Označení měřidla	Četnost měření
1	$\varnothing 69,4 \text{ h}11$	CSN253180-69,4h11	10
2	$\varnothing 62 - 0,4$	Kalibr 40116	10
3	$15 + 0,1$	Výškoměr 0555	10
4	$38,1 - 0,2$	Třmenový kalibr 30057	5
5	$36,8 - 0,2$	Třmenový kalibr 30058	5
6	$\varnothing 39,7 + 0,03$	CSN253126-39,7+0,03	1
7	$\varnothing 201,1 \text{ h}11$	CSN253182-201,1h11	5

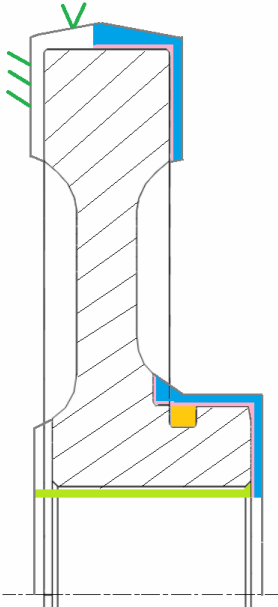
Tab. 9 Navržené soustružnické nástroje pro první stranu [23].

Číslo nástroje	Nůž	VBD	Řezné podmínky f [mm], a _p [mm], v _c [m · min ⁻¹].
1 Hrub.	 PCLNR 2525 M12	 CNMM 120412E-OR, T9335	f = 0,3 – 0,7 a _p = 2,5 – 8 v _c = 175
2 Dok.	 PCLNR 2525 M12	 CNMG120408E-FM, T9325	f = 0,15 – 0,45 a _p = 0,8 – 3 v _c = 155
3 Otvor	 S25T-PCLNR 12	 CNMM 120412E-OR, T9335	f = 0,3 – 0,7 a _p = 2,5 – 8 v _c = 175
4 Zápich	 XLCFR 2520-K05	 LFUX050802TN, 6640	f = 0,12 – 0,2 v _c = 100

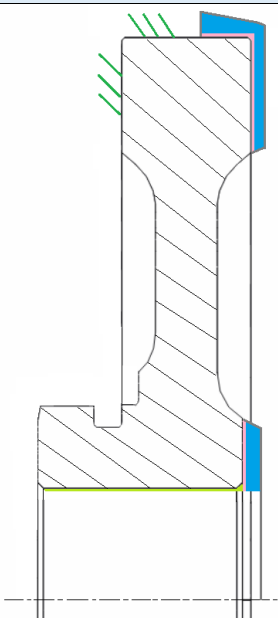
Tab. 10 Navržené soustružnické nástroje pro druhou stranu [23].

Číslo nástroje	Nůž	VBD	Řezné podmínky f [mm], a_p [mm], v_c [$m \cdot min^{-1}$].
1 Hrub.	 PCLNL 2525 M12	 CNMM 120412E-OR, T9335	$f = 0,3 - 0,7$ $a_p = 2,5 - 8$ $v_c = 175$
2 Dok.	 PCLNL 2525 M12	 CNMG120408E-FM, T9325	$f = 0,15 - 0,45$ $a_p = 0,8 - 3$ $v_c = 155$
3 Otvor	 S25T-PCLNL 12	 CNMM 120408E-OR, T9335	$f = 0,3 - 0,7$ $a_p = 2,5 - 8$ $v_c = 175$

Tab. 11 Operační návodka první strana.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil: Michal Urbánek			
		Datum: 20.04.2023			
		Stroj: Muratec MW 200			
Polotovar: Výkovek		Číslo operace 1/1			
		Nástroj	n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]
		1	600	85	0,4
		2	800	85	0,5
		3	1400	45	0,25
		4	500	5	0,15

Tab. 12 Operační návodka druhá strana.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil: Michal Urbánek			
		Datum: 20.04.2023			
		Stroj: Muratec MW 200			
Polotovar: Výkovek		Číslo operace 1a/1			
		Nástroj	n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]
		1	600	70	0,4
		2	800	70	0,5
		3	1400	45	0,15

3.3 Mezioperační kontrola

Během mezioperační kontroly se měří rozměry součásti, aby nemohlo dojít ke kolizi při následujících operacích. Součást se měří na specializovaném kontrolním pracovišti, obsahujícím 3D rameno od firmy Trimos (obr. 23). Měření 3D ramenem se provádí do přesnosti $\pm 0,041$ mm (opakovatelnost bodu) a $\pm 0,055$ mm (prostorová přesnost). Zařízení se využívá při kontrole tvarově složitých dílů. 3D měřící rameno umožňuje získat potřebné informace tam, kde konvenční měřící metody jsou nedostatečné. Výsledkem je nejen exaktní zjištění skutečných rozměrů a jejich odchylek, ale také významné zkrácení času potřebného pro kontrolu. Z každého 3D měření se vystavuje protokol naměřených hodnot. Během této operace se měří hodnoty uvedené v tab. 13.



Obr. 23 3D měřící rameno Trimos A6.

Tab. 13 Měřené hodnoty.

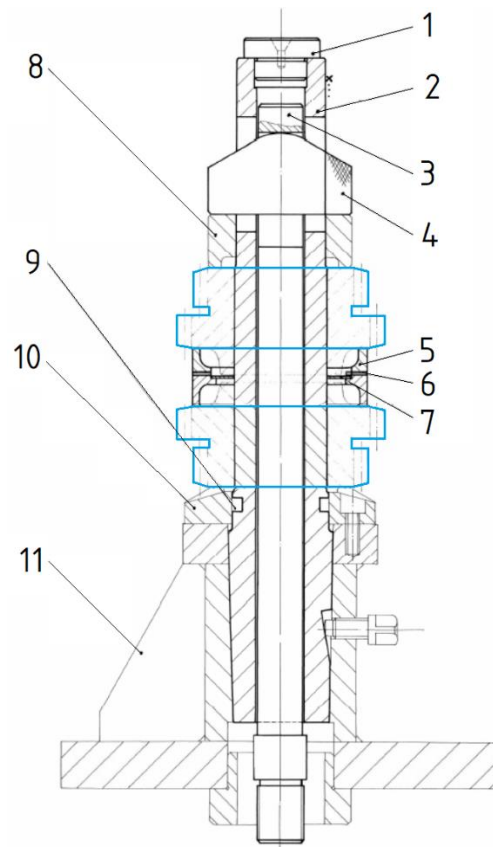
Měřený rozměr [mm]	Četnost měření	Měřený rozměr [mm]	Četnost měření
$\text{Ø } 69,4 \text{ h}11$	5	$38,1 - 0,2$	5
$\text{Ø } 62 - 0,4$	5	$36,8 - 0,2$	5
$\text{Ø } 39,7 + 0,03$	5	$15 + 0,1$	5
$\text{Ø } 201,1 \text{ h}11$	5	Axiální házení 0,03	5
		Radiální házení 0,04	5

3.4 Frézovat ozubení

Frézování ozubení bude probíhat na odvalovací frézce OFA 32 CNC6 (obr. 24), součást bude upnuta po dvou kusech na upínači znázorněném na obr. 25, modře jsou zvýrazněny polohy obrobků. Upínání probíhá hydraulicky, díky změně podložek (čísla 4, 8, 5, 6, 7 na obr. 25) je upínač univerzální pro více typů součástí. Ozubení se obrábí s přídavkem na ševingování, to je pak zhotoveno mírně pod výkresovou toleranci, z důvodu pokrytí cementační vrstvou. Nástroj se základními parametry je vyobrazen v tabulce 14. Označení měřidla a měřeného rozměru v tabulce 15, operační návodka pak v tabulce 16.

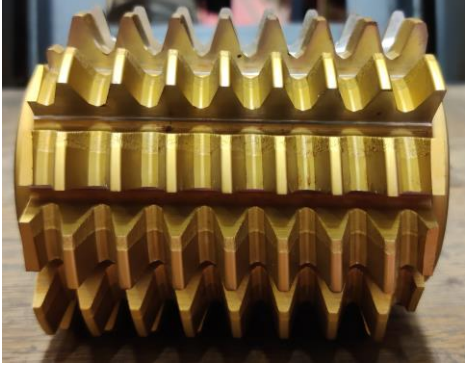


Obr. 24 Odvalovací frézka OFA 32 CNC6.



Obr. 25 Upínač na frézování ozubení.

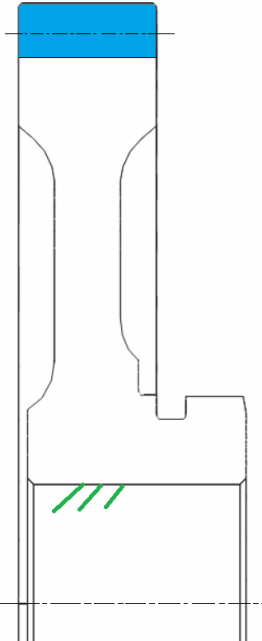
Tab. 14 Navržené nástroje pro frézování ozubení.

Číslo nástroje	Nástroj	Základní parametry
1	 <p>Fréza odvalovací M4 × 20°</p>	Materiál hřebene: 19 852 L = 180 mm Ø = 128 mm Ø upínacího otvoru: 40 mm Povlak: TiN – PVD 3 µm $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Tab. 15 Měřené hodnoty frézování.

Měřený rozměr	Četnost měření	Popis rozměru
68,182 -0,07 -0,120 /6	5	Rozměr přes šest zubů

Tab. 16 Operační návodka frézování ozubení.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:	Michal Urbánek			
		Datum:	20.04.2023			
		Stroj:	OFA 32			
Polotovár: Výkovek		Číslo operace 3/3				
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]		
		1	250	140	9,6	

Výpočet strojního času dle vztahu (2.8):

$$t_{AS} = \frac{48}{1} \cdot \frac{140}{250 \cdot 1} = 19,2 \div 2 \text{ ks} = 9,6 \text{ min.}$$


3.5 Obrázení drážkování

Evolventní drážkování bude zhotoveno na obrážecím stroji Gleason-Pfauter P200 (obr. 26), tento stroj pojme ozubená kola do průměru 200 mm, s modulem 0,5 – 5. Nástrojem je obrážecí kotouč se základními parametry uvedenými v tabulce 17. Operační návodka se zvýrazněnou částí a strojním časem je zhotovena v tabulce 18.

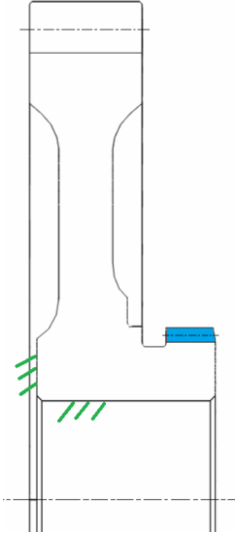


Obr. 26 Odvalovací obrážecí P200.

Tab. 17 Nástroje obrázení.

Číslo nástroje	Nástroj	Základní parametry
1	 <p>Obrážecí kotouč M2,5 × 30°</p>	<p>Materiál: 19 830 H = 20 mm Ø = 104,67 mm Ø upínacího otvoru: 44,45 mm z = 40 $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p>

Tab. 18 Operační návodka obrážení.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil: Michal Urbánek			
		Datum: 20.04.2023			
		Stroj: Pfauter P200			
Polotovar: Výkovek		Číslo operace 4/4			
		z	m	t _{AS} [min]	
		1	26	2,5	10,72

Výpočet strojního času dle vztahu (2.9):

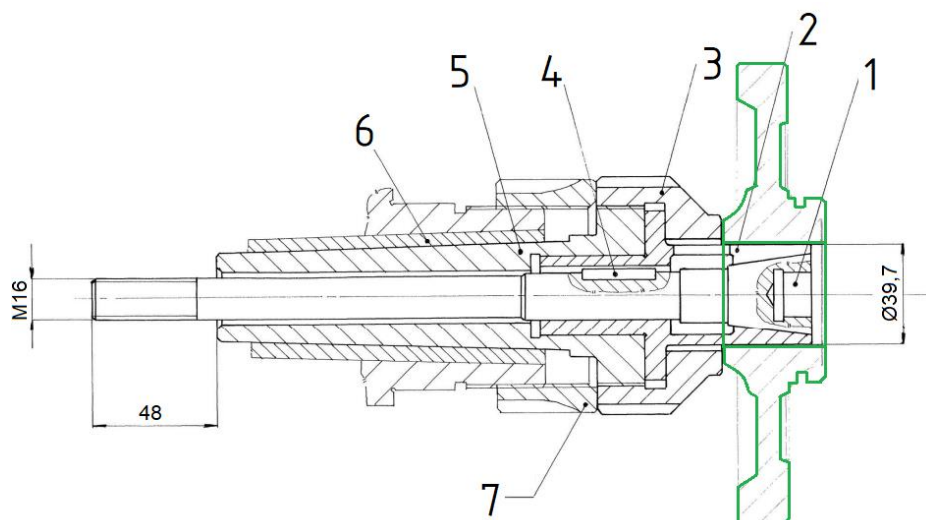
$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot 26 \cdot 2,5 \cdot 1}{100 \cdot 0,25} + \frac{\pi \cdot 26 \cdot 2,5 \cdot 1}{200 \cdot 0,4} = 8,17 + 2,55 = 10,72 \text{ min.}$$

3.6 Srazit ostřiny

Po operaci obrážení vznikají ostřiny uvnitř zápichu, po výjezdu nástroje. Ostřiny se budou srážet strojně, na klasickém soustruhu SV18RA/1000 (obr. 27), na soustruhu bude nastaven doraz v ose „x“ pro zjednodušení obsluhy, v ose „z“ se poloha nastaví na prvním kusu a poté se s ní nebude hýbat. Součást se nasadí na trn upnutý ve vřeteni (obr. 28) s pneumatickým rozpínáním. Vzhledem k nízkým pracovním silám není nutné součást dále zajišťovat proti vypadnutí. Nástrojem je zapichovací nůž s pájenou destičkou ze SK (tab. 19). V operační návodce (tab. 20) je pak strojní čas, včetně času upnutí, měřený dle skutečnosti.




Obr. 27 Soustruh SV18RA/1000.

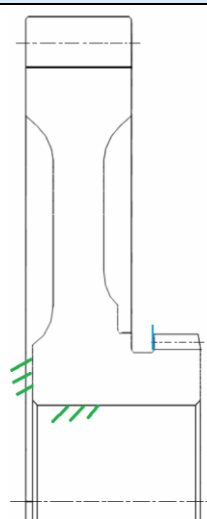


Obr. 28 Upínač na srážení ostřin.

Tab. 19 Nástroj srážení ostřin.

Číslo nástroje	Nástroj	Základní parametry
1	 Soustružnický nůž zapichovací pravý	Materiál: SK Rozměr: 16 × 10 mm Šířka ostří: 4 mm ČSN 223730 $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Tab. 20 Návodka srážení ostřin.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:		Michal Urbánek	
		Datum:		20.04.2023	
		Stroj:		SV18RA	
Polotovár: Výkovek		Číslo operace 5/5			
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]	
		1	400	70	0,62


3.7 Stříškovat

V případě tohoto ozubeného kola má stříškování na drážkování funkci spojky, pro snadnější nasunutí objímky, díky které se přenáší rotace z jedné součásti na druhou. Bez stříškovaní by se přesuvná objímka při pokusu o nasunutí zastavila o čelo součásti a k přenosu rotace by nedošlo. Obrábění probíhá na stroji HURTH ZK10 (obr. 29), nástrojem jsou stříškovací frézy se základními parametry v tabulce 21, v návodce (tab. 22) je pak například strojní čas, který je změřen dle skutečnosti. Frézy jsou levá a pravá, stříškují současně obě v rozpětí šesti zubů (závisí na nastavení rozteče). Hotová součást se pak kontroluje jen vizuálně.

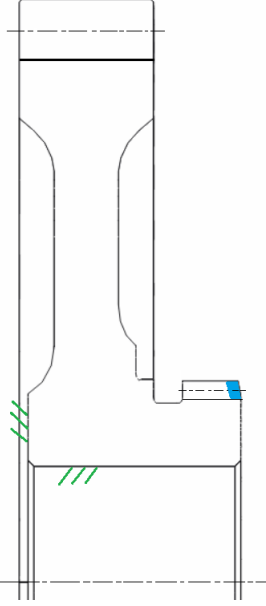


Obr. 29 Stříškovací stroj ZK10.

Tab. 21 Nástroje pro stříškování.

Číslo nástroje	Nástroj	Základní parametry
1	 <p style="text-align: center;">Stříškovací frézy</p>	<p>Materiál: SK $\varnothing = 16 \text{ mm}$ $L = 80 \text{ mm}$ $L_1 \text{ (břit)} = 30 \text{ mm}$ Počet břitů: 4 $v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ Povlak: TiN</p>

Tab. 22 Návodka stříškování.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:	Michal Urbánek		
		Datum:	20.04.2023		
		Stroj:	ZK10		
Polotovary: Výkovek		Číslo operace 6/6			
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]	
		1	500	26 × 10	1,3


3.8 Ševingování

Ševingování probíhá na stroji ZSA 220 (obr. 30), tento stroj je staršího data výroby, nicméně díky pravidelné údržbě vyrábí stále v požadované kvalitě. Nástrojem je ševingovací kotouč s hlavními parametry v tabulce 23. Během operace se měří rozměr přes zuby (tab. 24), strojní čas pak v tabulce 25.



Obr. 30 Ševingovací stroj ZSA 220.

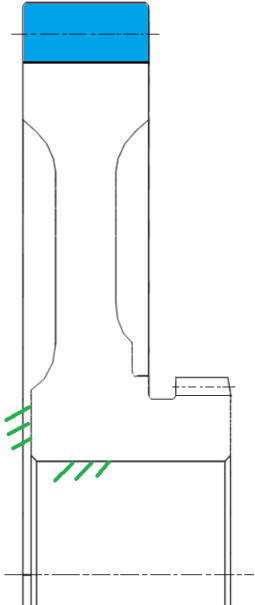
Tab. 23 Nástroj pro ševingování.

Číslo nástroje	Nástroj	Základní parametry
1	 <p>Ševingovací kotouč</p>	<p>Materiál: SK Rozměr: Ø 253,34 × 30 mm Počet zubů: 59 Norma: ČSN 222561 $v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p>

Tab. 24 Kontrolovaný rozměr.

Měřený rozměr	Četnost měření	Měřidlo
68,182 -0,11 -0,18 /6	1	Kalibr třmenový vnější

Tab. 25 Návodka ševingování.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:	Michal Urbánek		
		Datum:	20.04.2023		
		Stroj:	ZSA 220		
Polotovary: Výkovek		Číslo operace 7/7			
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]	
		1	200	15	2,43

$$t_{AS} = \frac{24 \cdot 1}{10} + \frac{1,5 \cdot 1}{60} = 2,4 + 0,025 = 2,425 \text{ min.} \quad (3.4)$$

3.9 Kontrola

Během tohoto procesu se kontrolují nejdůležitější rozměry (tab. 26) všech předchozích operací. V případě neshody se některé opracované kusy dají opravit, což by v případě kalených kusů bylo složité a neekonomické. V případě podkročených rozměrů pak vyřadit a ušetřit zbytečnou následující práci, když by se na neshodu přišlo až během výstupní kontroly. Kontrolní pracoviště obsahuje stejné 3D měřicí rameno Trimos A6 (obr. 23) stejně jako mezioperační kontrola v kapitole 3.3.

Tab. 26 OTK měřené rozměry.

Měřený rozměr	Četnost měření	Popis rozměru
5,37 -0,15 -0,25	1	Tloušťka zubu [mm]
68,182 -0,11 -0,18 / 6	1	Rozměr přes šest zubů [mm]
30°	1	Úhel záběru zubů
Ø 69,4 h11	1	Hlavová kružnice drážkování [mm]
Fr 0,095	1	Radiální házení

3.10 Odmaštění, cementovat a kalit, tryskat

Odmaštění – operace 9/9

Odstranění povrchových nečistot, jako jsou oleje, mastnota, prach a jiné povrchové kontaminanty před procesem cementace se provádí z důvodu negativního ovlivnění kvality cementace a přilnavosti povlaku. V místech s mastnotou se součást nenasytí uhlíkem a povrch pak nedosáhne požadované pevnosti a tvrdosti, což může vést k deformaci ozubení, či stranovému ohybu celého ozubeného kola. Proces odmaštění bude probíhat v průběžné pračce Progress 901 (obr. 31). Součásti se položí přímo na pás, jelikož pračka disponuje jemným síťováním a součásti tak nepropadnou. Odmastí se celá dávka, tím se zkrátí celková doba tohoto procesu.



Obr. 31 Průběžná průmyslová pračka Progress 901.

Cementovat, kalit – operace 10/10

Přípravou na cementaci, kalení, praní a popouštění v průběžném agregátu AICHELN (obr. 32) je uložení součástí do přípravku na rošttech, ukládá se ve dvou patrech, na každém patře 6 tyček, na každou tyčku 4 ks součástí. Celkem tedy operace probíhá s 48 kusy součástí. Během automatického cyklu tedy dochází k předehřevu, cementování, podchlazení, ohřevu na kalící teplotu, kalení, praní v olejové lázni a popouštění. Cementovat se má do hloubky 0,6 – 0,8 mm, kalit na požadovanou tvrdost 58 – 62 HRC. Na požadovanou tvrdost se kontroluje 10 % součástí. Teploty jsou uvedeny v tabulce 27.



Obr. 32 Kalící zařízení AICHELIN.

Tab. 27 Kalící teploty.

Cyklus	Teplota
Předehřev	920 ± 10 °C
Cementace	920 ± 10 °C
Podchlazení	670 ± 10 °C
Kalení	835 ± 5 °C
Olejová lázeň	145 ± 5 °C
Popouštění	175 ± 5 °C

Tryskát – operace 11/11

Součást bude otryskána v metacím zařízení TS 2000 (obr. 33), princip spočívá v mechanickém metání ocelové drti (tab. 28) pomocí lopatek do pracovního prostoru stroje, kde na rotačním roštu volně leží součásti. Ty zajedou jednou stranou do stroje, kde se otryská jedna strana součásti. Součásti vyjedou do stejného prostoru, kam se vkládaly, ručně obsluha tyto součásti otočí a stejným procesem vyjede součást otryskána z obou stran. Takto se otryská dávka 30 ks, kusy se zavěsí na vozík (lze vidět na obr. 33) a proces se opakuje s další dávkou kusů.



Obr. 33 Tryskací zařízení a závěsný vozík.

Tab. 28 Nástroj tryskání.

Nástroj	Základní parametry
 <p data-bbox="359 1653 606 1688">Ocelová drť GH50</p>	<p data-bbox="1005 1339 1189 1375">Materiál: ocel</p> <p data-bbox="861 1384 1340 1420">Tvar zrna: ostrohranný, nepravidelný</p> <p data-bbox="941 1429 1252 1464">Rozměr: 0,18 – 0,3 mm</p> <p data-bbox="957 1473 1236 1509">Tvrдость min.: 700 HV</p> <p data-bbox="933 1518 1260 1554">Hustota min.: 7 kg · dm⁻³</p> <p data-bbox="933 1563 1260 1599">Obsah uhlíku: 0,8 – 1,2 %</p> <p data-bbox="957 1608 1236 1644">Norma: ISO 11124–3</p>

3.11 Brousit



Brousit otvor

K broušení otvoru bude použit stroj Studer S33 (obr. 34), součást se upne do tvarových čelistí troj-bodě, mezi zuby, s dosedací plochou na straně součásti, na niž se nenachází drážkované ozubení (znázorněno v návodce tab. 31). Za součástí musí být ve vřetení volný prostor pro výjezd broušícího kotouče (tab. 30). K měření se použije válcový kalibr a tříbodový dutinoměř (tab. 29).




Obr. 34 Bruska Studer S33.

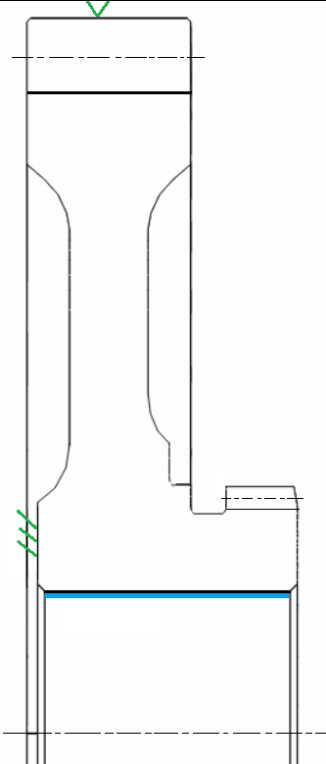
Tab. 29 Měřidla broušení otvoru.

Měřidlo	Četnost měření	Měřený rozměr
 <p>Tříbodový digitální mikrometr</p>	5	Ø 40 H7
 <p>Kalibr válečkový oboustranný</p>	1	Ø 40 H7

Tab. 30 Nástroj broušení.

Nástroj	Základní parametry
 <p>Brousicí kotouč 32 × 32 × 10</p>	<p>Brusivo: speciální korund Pojivo: keramika Použití: ocel do 67 HRC, nerez Barva: modrá Zrnitost: 60 (střední) Tvrdost: J (měkká) Max. rychlost: 32 m · s⁻¹ Označení: AT60J6V80</p>

Tab. 31 Návodka broušení otvoru.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:	Michal Urbánek		
		Datum:	20.04.2023		
		Stroj:	Studer S33		
Polotovar: Výkovek		Číslo operace 12/12			
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]	
		1	15 000	45	1,6

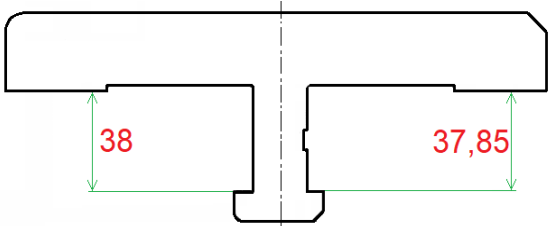
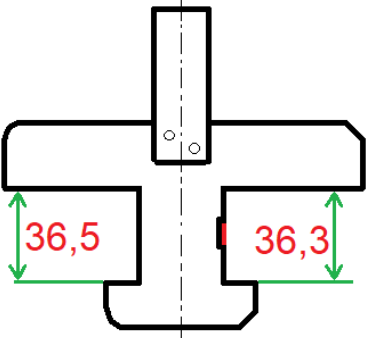
Brousit čela

Broušení obou čel součásti proběhne na stejném stroji Studer S33 (obr. 34), jako v operaci broušení otvoru. Tyto stroje firma vlastní dva, jeden na otvory, druhý na vnější válcové plochy a čela, takže operace nemusí čekat k dokončení předchozí. Součást bude v první fázi upnuta za již dokončený otvor 40 H7, s dosedací plochou na levém čele (otryskaný povrch). Poté se součást vyjme ze stroje, nasadí se na trn podložka tloušťky 0,2 mm a na ni součást. Po spuštění stejného cyklu programu bude mít součást dokončena obě čela. Nástrojem je brusný kotouč se základními parametry uvedenými v tab. 32. Měřidla pro každou stranu (tab. 33) jsou třmenové kalibry. Operační návodky pak v tab. 34 a tab. 35.

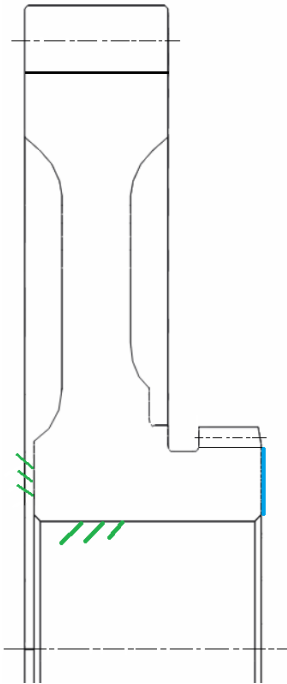
Tab. 32 Nástroj broušení čel.

Nástroj	Základní parametry
 <p>Broušící kotouč 40 × 40 × 13</p>	<p>Brusivo: speciální korund Pojivo: keramika Použití: ocel do 67 HRC, nerez Barva: modrá Zrnitost: 60 (střední) Tvrdost: J (měkká) Max. rychlost: 32 m · s⁻¹ Označení: AT60J6V80</p>

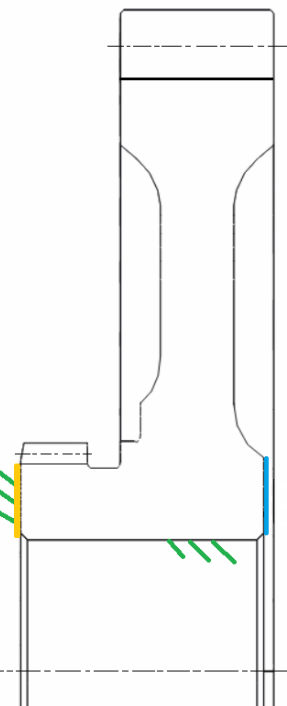
Tab. 33 Měřidla broušení čel.

Měřidlo	Četnost měření	Měřený rozměr
 <p>Kalibr třmenový do otvoru</p>	5	38 – 0,15 mm
 <p>Kalibr třmenový do otvoru</p>	5	36,5 – 0,2 mm

Tab. 34 Brousit pravé čelo.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:	Michal Urbánek		
		Datum:	20.04.2023		
		Stroj:	Studer S33		
Polotovary: Výkovek		Číslo operace 13/13			
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]	
		1	15 000	18	1

Tab. 35 Brousit levé čelo.

VUT FSI ÚST BRNO	Název součásti: Kolo vývodu	Vyhotovil:	Michal Urbánek		
		Datum:	20.04.2023		
		Stroj:	Studer S33		
Polotovary: Výkovek		Číslo operace 13a/13			
		n [min ⁻¹]	L [mm]	t _{AS} [min]	
		1	15 000	18	1

Podložka tloušťka 0,2 mm.
 Vnitřní Ø 41 mm.

3.12 Odmaštění, kontrolovat, regulovat

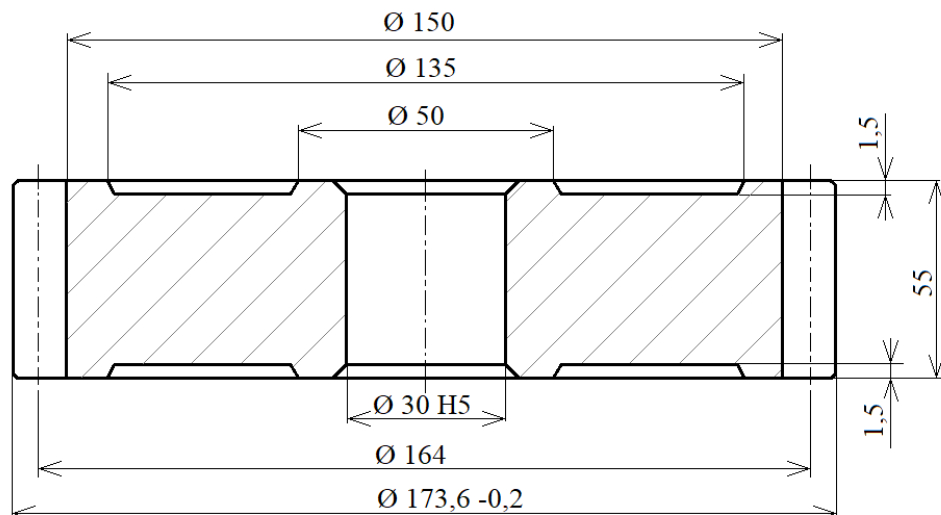
Odmaštění 14/14

Odstranění povrchových nečistot, jako jsou oleje, mastnota, prach a jiné povrchové kontaminanty před výstupní kontrolou z obrobny se provádí z důvodu ochrany měřicích přístrojů a možnému negativnímu ovlivnění výsledků měření. Odmaštění bude provedeno ve stejné průběžné pračce Progress 901 (obr. 31), tato pračka je uvnitř rozdělena do sektorů, které zajistí oplach, mytí, pasivaci a horkovzdušné sušení. Šířka dopravníkového pásu je 2000 mm a jeho rychlost je nastavitelná v rozsahu $0,1 - 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Konstrukce, opláštění a používané agregáty jsou vyrobeny z nerezové oceli DIN 1.4301. Provoz tohoto zařízení je v souladu se stoupajícími požadavky na ochranu životního prostředí, např. automatickou regenerací mycích roztoků včetně základní dvoustupňové filtrace.

Délka pračky umožňuje klást na pás tyto kusy až do celkového počtu 80 ks, než se kusy začnou objevovat na druhém konci agregátu. Je tedy doporučeno větší dávku obsluhovat ve dvou dělnících – jeden kusy vkládá, druhý vykládá. Vzhledem k rychlosti pojezdu pračky a počtu kusů, které za tuto dobu projdou byla stanovena norma na kus $t_{AS} = 0,2 \text{ min}$.

Kontrolovat 15/15

Tato operace kontroly je stanovena převážně na funkčnost, každá součást je tedy protočena s přesně vyrobeným vzorovým kolem (obr. 35), simulujícím skutečnou proti-součást. Vzorové kolo je vyrobeno z nástrojové oceli DIN 1.2842 a rozměry úchylek tohoto kola jsou uvedeny v tab. 36. V případě, že vyráběné ozubené kolo nepůjde protočit, nebo půjde obtížně, tato součást se vloží na vozík označený jako „neshoda“. Tyto součásti postoupí na operaci Regulovat 16/16 a poté se vrátí opět na tuto operaci 15/15. Součásti nevykazující neshodu se vloží do bedny, která půjde zaskladnit. Součásti ze skladu si bude přebírat montážní pracoviště. Norma pro tuto operaci je stanovena dle podobnosti jiných součástí stejného typu, a to v rozsahu 1,7 minut na kontrolu jednoho kola.



Obr. 35 Náčrt vzorového kola.

Tab. 36 Úchylky vzorového kola.

Název	Označení	Úchylka
Modul	m	4
Úhel záběru	α	20°
Počet zubů	z	41
Korekce	k	0,8
Rozměr přes zuby	M/z	55,9824 / 5
Úhel sklonu zubů	β	–
Úchylky základní rozteče	Δ_{tb}	$\pm 0,0025$
Úchylka sousedních roztečí	Δ_t	0,007
Úchylka polohy boků zubů	ΔB	0,22
Úchylka evolventy	ΔE	0,005
Úchylka úhlu sklonu zubů	$\Delta \beta$	0,012
Radiální házení ozubení	Δ_{eb}	0,016
Horní úchylka polohy základního profilu	Δ_{EH}	0,014
Horní úchylka rozměru přes zuby a konst. Tl. Zubu	ΔM	0,009
Horní úchylka tloušťky zubu na sečně	Δ_{sin}	0,010
Dolní úchylka hlavového průměru	Δ_{DaO}	– 0,014
Radiální házení hlavového válce	Δ_{Ha}	0,011
Axiální házení	Δ_{Hi}	0,013


Regulovat 16/16

Tato operace souží pro ozubená kola, která projdou výstupní kontrolou obrobny jako neshodná. Tyto kola se budu opravovat na stroji FKA 326 (obr. 36). Nástrojem je modulový brousicí kotouč s hlavními parametry uvedenými v tab. 37.



Obr. 36 Stroj na broušení ozubení FKA 326.

Tab. 37 Nástroj pro regulaci ozubení.

Nástroj	Základní parametry
 <p style="text-align: center;">Brousicí kotouč</p>	<p>Brusivo: speciální korund Pojivo: keramika Použití: ocel do 67 HRC, nerez Barva: šedá Zrnitost: 80 (střední) Tvrdost: K (měkká) Max. rychlost: $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ Označení: 35A80FG13VN</p>

3.13 Technologický postup

Výroba Kola vývodu je řízena níže navrženým technologickým postupem, který se skládá z kroků potřebných k výrobě hotové součásti. Tento postup obsahuje informace o strojích a použité technologii, strojního času i předpokládaného dávkového času na seřízení strojů a podpůrných prací, jako je výměna VBD. Technologický postup kusu je popsán v tab. 38

Tab. 38 Technologický postup součásti.

Technologický postup výroby					Datum:	
Název:	Kolo vývodu		Číslo výkresu: 2023_DP_212597	20.05.2023		
Vypracoval: Michal Urbánek			Polotovar: Výkovek			
Číslo operace:	Stroj:	Technologie:	Popis operace:	Čas		
				t _{AS}	t _{BS}	
1/1	MW 200	Soustružení	Vyvolat program pravá strana Upnout součást do čelistí Hrubovat obvod Dokončit Ø 69,4 h11 Dokončit Ø 201,1 h11 Dokončit L 15+0,1 Dokončit L 18,1 Hrubovat otvor Dokončit zápch Ø 62 -0,4	1,3	150	
1a/1	MW200	Soustružení	Vyvolat program levá strana Upnout do čelistí Hrubovat obvod Dokončit Ø 201,1 h11 Dokončit L 38,1 -0,2 Dokončit L36,8 -0,2 Dokončit otvor Ø 39,7 +0,03	1,05	150	
2/2	Trimos A6	Kontrola	Měřit rozměry dle návodky	1	0	
3/3	OFA 32	Ozubení	Vyvolat nastavení parametrů Upnout 2 ks součásti dle návodky Frézovat ozubení s ohledem na ševing Kontrolovat předepsané rozměry	9,6	180	

Technologický postup výroby					
Číslo operace:	Stroj:	Technologie:	Popis operace:	Čas	
				t _{AS}	t _{BS}
4/4	P200	Obrázení	Vyvolat nastavení parametrů Upnout součást na trn, drážky. nahoru Obrážet drážkování Kontrolovat předepsané rozměry	10,7	120
5/5	SV18RA	Soustružení	Upnout součást na trn, drážky. vpravo Srazit ostříny posuvem v ose X na doraz	0,62	60
6/6	ZK10	Stříškovat	Nastavit parametry počtu zubů Upnout na trn, aretovat do drážky Spustit cyklus stříškování	1,3	20
7/7	ZSA 220	Ševingovat	Zkontrolovat/nastavit parametry Nasadit součást na trn, utáhnout. Trn upnout mezi hroty Spustit cyklus ševingování Kontrolovat předepsané rozměry	2,43	80
8/8	Trimos A6	Kontrola	Měřit rozměry dle návodky	3	0
9/9	Progress 901	Odmaštění	Součásti pokládat na pás Zkontrolovat vlhkost, dosušit Součásti skládat na tyčový vozík	0,5	0
10/10	AICHELIN	Cementovat, kalit	Zkontrolovat nastavení teplot Součásti vložit s tyčovým vozíkem Spustit cyklus	3,75	0
11/11	TS 2000	Tryskat	Součásti pokládat na pás drážky. nahoru Součásti otočit	1,3	0
12/12	Studer S33	Brousit	Vyvolat program Součást upnout do čelistí Brousit Ø 40 H7 Kontrolovat předepsané rozměry	1,6	60
13/13	Studer S33	Brousit	Vyvolat program Součást upnout na rozpínací trn Brousit pravé čelo L 38 -0,15 Kontrolovat předepsané rozměry	1	20
13a/13	Studer S33	Brousit	Součást vyjmout, vložit podložku Součást otočit Brousit levé čelo L 36,5 -0,2 Kontrolovat předepsané rozměry	1	20
14/14	Progress 901	Odmaštění	Součásti pokládat na pás Zkontrolovat vlhkost, dosušit	0,5	0
15/15	Ručně	Kontrola	Nasadit součást na trn přípravku Protočit součást o 720° Odložit těžko otočitelné součásti	1,7	15
16/16	FKA 326	Brousit	Platí pro součásti vyřazené kontrolou Zkontrolovat parametry Upnout součást Spustit cyklus	3	180

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude provedeno zhodnocení ekonomického hlediska na základě jednotkových a dávkových časů předepsaných k výrobě součásti. Dále bude zhodnocena cena materiálových nákladů a výrobní cena v dávce 1, 100 a 1000 kusů. Náklady na opotřebení nástrojů jsou započítány v sazbách daných pracovišť. Cena výkovku v kovárně není ovlivněna počtem odebraných kusů, minimální kovací dávka však byla stanovena na 100 ks. Náklady na materiál uvádí tabulka 39.

Tab. 39 Náklady na materiál.

Počet kusů	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Cena [Kč/ks]
100 ÷ 1000	3,8766	127,4	494

Náklady na jednotlivé operace jsou uvedeny v tab. 40 ÷ 54.

Tab. 40 Náklady operace 1/1 a 1a/1.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	2,35	300	950	4787,2
100	2,35	3	950	84,7
1000	2,35	0,3	950	42

Tab. 41 Náklady operace 2/2.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	1	0	600	10
100	1	0	600	10
1000	1	0	600	10

Tab. 42 Náklady operace 3/3.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	9,6	180	950	3002
100	9,6	1,8	950	180,5
1000	9,6	0,18	950	154,8

Tab. 43 Náklady operace 4/4.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	10,7	120	1000	2178,3
100	10,7	1,2	1000	198,3
1000	10,7	0,12	1000	180,3

Tab. 44 Náklady operace 5/5.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	0,62	60	800	808,3
100	0,62	0,6	800	16,3
1000	0,62	0,06	800	9,1

Tab. 45 Náklady operace 6/6.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	1,3	20	550	195,3
100	1,3	0,2	550	13,75
1000	1,3	0,02	550	12,1

Tab. 46 Náklady operace 7/7.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	2,43	80	750	1030,4
100	2,43	0,8	750	40,4
1000	2,43	0,08	750	31,4

Tab. 47 Náklady operace 8/8.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	3	0	600	30
100	3	0	600	30
1000	3	0	600	30

Tab. 48 Náklady operace 9/9.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	0,5	0	650	5,4
100	0,5	0	650	5,4
1000	0,5	0	650	5,4

Tab. 49 Náklady operace 10/10.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	3,75	0	1200	75
100	3,75	0	1200	75
1000	3,75	0	1200	75

Tab. 50 Náklady operace 11/11.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	1,3	0	700	15,2
100	1,3	0	700	15,2
1000	1,3	0	700	15,2

Tab. 51 Náklady operace 12/12.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	1,6	60	1200	1232
100	1,6	0,6	1200	44
1000	1,6	0,06	1200	33,2

Tab. 51 Náklady operace 13/13 a13a/13.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	2	40	1200	840
100	2	0,4	1200	48
1000	2	0,04	1200	40,8

Tab. 52 Náklady operace 14/14.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	0,5	0	650	5,4
100	0,5	0	650	5,4
1000	0,5	0	650	5,4

Tab. 53 Náklady operace 15/15.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	1,7	15	450	125,25
100	1,7	0,15	450	13,9
1000	1,7	0,015	450	12,9

Tab. 54 Náklady operace 16/16.

Počet kusů	Jednotkový čas [min/ks]	Dávkový čas [mm/ks]	Cena pracoviště [Kč/hod]	Cena [Kč/ks]
1	3	180	800	2440
100	3	1,8	800	64
1000	3	0,18	800	42,4

Souhrn nákladů za všechny operace je uveden v tab. 55, náklady na operaci 16/16 Broušení kusů, které neprojdou kontrolou bude uvažováno v množství 5% kusů.

Tab. 55 Souhrn nákladů za všechny operace.

Počet kusů	Cena nákladů všech operací [Kč/ks]	Cena výkovku [Kč/ks]	Cena 5% operace 16/16 [Kč/ks]	Cena celkem [Kč/ks]
1	14380,15	494	122	14996,15
100	780,85	494	3,2	1278,05
1000	700	494	2,12	1196,12

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh technologie výroby vybraného ozubeného kola včetně volby vhodného nástrojového vybavení, konstrukční posouzení z hlediska technologie a shrnutí ekonomiky výroby z pohledu strojních a přípravných časů. Použité technologie byly podpořeny teoretickou částí. Při zpracování technologického postupu a návodek byl ve většině případů spočítán čas obrábění a v některých případech byl stanoven odhadem, dle podobnosti součástí velikostí a tvarem.

Hlavními výstupy této práce jsou:

- použití polotovaru výkovku namísto přířezu má o 32 % větší využití materiálu,
- v případě dávky větší než 100 kusů tvoří téměř polovinu nákladů na výrobu součásti nákup polotovaru,
- dle ekonomického zhodnocení je značný rozdíl ve výrobní ceně v závislosti na velikosti výrobní dávky, z důvodu náročné přípravy výroby,
- výroba ozubeného kola je tvořena z šestnácti operací, na osmi obráběcích strojích, kalici pece, tryskače, pračky a kontrolního pracoviště,
- strojní čas na výrobu jedné součásti je 45,3 minut, zatímco přípravný čas 17,5 hodin,
- polovina obráběcího času byla spotřebována na strojích k výrobě ozubení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Ferona a.s* [online]. Praha: Ferona, 2021 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>
2. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
3. JKZ [online]. Bučovice: online, 2020 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-14-220-17131-16mncr5/>
4. *TECH portal* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/mn-cr-ocel-k-cementovani-14220-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EppFhJYVc3tssqZTAe300gprJfTGJxQrnQ/?query=14220&serp=1>
5. HOZA, Jiří. *Obrobitelnost materiálů: Jednotné normativy* [online]. Brno, 1994 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_technologicke_procesy/ETR_cviceni_03/Tabulky_obrobitelnosti.pdf. Podklady. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
6. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN isbn80-214-2219-x.
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
8. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN isbn978-80-214-4025-8.
9. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2219-X.
10. *STIMZET a M & V, spol. s r.o. online katalog: Řezné nástroje na obrábění otvorů* [online]. Vsetín: Stimzet, 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.stimzet.cz/>
11. MILITKÝ, Jiří a Dana KŘEMENÁKOVÁ. *Metrologie a řízení jakosti*. Vydání 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-242-6.
12. BOTEK, Marek, Pavel HRADECKÝ a Irena VOLEJNÍKOVÁ. *Základy řízení podnikových procesů*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN isbn80-7080-576-5.
13. *Současné trendy v obrábění ozubených kol* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/346/cs/>
14. KLEPAL, Václav. *Výroba ozubených kol*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. Řada strojírenské literatury.
15. ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-336-3.
16. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění*. Brno, 2004. Studijní opora. VUT v Brně: Fakulta strojního inženýrství.
17. SOUKUP, Miloslav a Vladimír RUMML. *Odmašťování v průmyslu a zemědělství*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978.
18. KORECKÝ, Jan, Bohumil DOBROVOLNÝ, ed. *Povrchové zušlechťování kovů: praktické pokyny pro broušení, leštění, odmašťování ... kovů*. 3. doplněné vydání. Praha: Práce, 1950. Technické příručky Práce.
19. SMITH, Graham T. *Advanced machining: the handbook of cutting technology*. Berlin: IFS Publications, 1989.

20. DUDLEY, Darle W. *Handbook of practical gear design*. 2nd. Boca Raton: CRC Press, 1994. ISBN 1-56676-218-9.
21. PETRAŠ, L. V. *Kalici prostředí pro tepelné zpracování kovů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
22. WALLA, Viktor. *Praktická metalografie*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. Kurs technických znalostí.
23. *Dormer Pramet: E-katalog nástrojů* [online]. Šumperk: Pramet, 2021 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
a_p	velikost třísky	[mm]
D	průměr	[mm]
d_1	průměr ševingovacího kola	[mm]
d_2	průměr ozubeného kola	[mm]
f	posuv na otáčku	[mm]
f_a	axiální posuv stolu	[mm ⁻¹]
F_{ci}	řezná síla	[N]
F_{cNi}	kolmá řezná síla	[N]
f_f	rychloposuv	[mm · min ⁻¹]
F_{fi}	posuvová síla	[N]
F_{fNi}	kolmá posuvová síla	[N]
F_i	celková řezná síla	[N]
f_r	radiální posuv stolu	[mm]
h	hloubka záběru ševingovacího kola	[mm]
i	počet třísek	[-]
k_m	stupeň využití materiálu	[-]
k	korekce ozubení	[mm]
L	celková dráha nástroje	[mm]
l	délka obráběné plochy	[mm]
l_n	délka dráhy náběhu nástroje	[mm]
l_p	délka dráhy přeběhu nástroje	[mm]
m	modul	[-]
M/z	rozměr přes zuby	[mm]
m_t	čelní modul	[-]
n	otáčky obrobku	[min ⁻¹]
n_0	otáčky obráběného kola	[min ⁻¹]
n_f	otáčky odvalovací frézy	[min ⁻¹]
n_s	frekvence otáček frézy	[min ⁻¹]
n_z	počet dvojzdvihů	[-]
p	normálová délka ozubení	[mm]
Q_p	hmotnost výkovku	[kg]
Q_s	hmotnost hotového dílu	[kg]
R_a	střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
t_{AS}	jednotkový strojní čas	[min]
t_{AV}	přípravný čas	[min]
t_{BS}	dávkový čas	[min]
v_1	rychlost posuvu ševingovacího stroje	[m · min ⁻¹]
v_2	rychlost posuvu ševingovacího kola	[m · min ⁻¹]
v_c	řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
v_e	rychlost řezného pohybu	[m · min ⁻¹]
v_f	posuvová rychlost	[m · min ⁻¹]
v_{fa}	axiální posuv stolu	[mm]
Z	počet zubů	[-]
Z_0	počet zubů obráběného kola	[-]
Z_1	počet chodů odvalovací frézy	[-]
Z_s	počet chodů frézy	[-]

Symboly

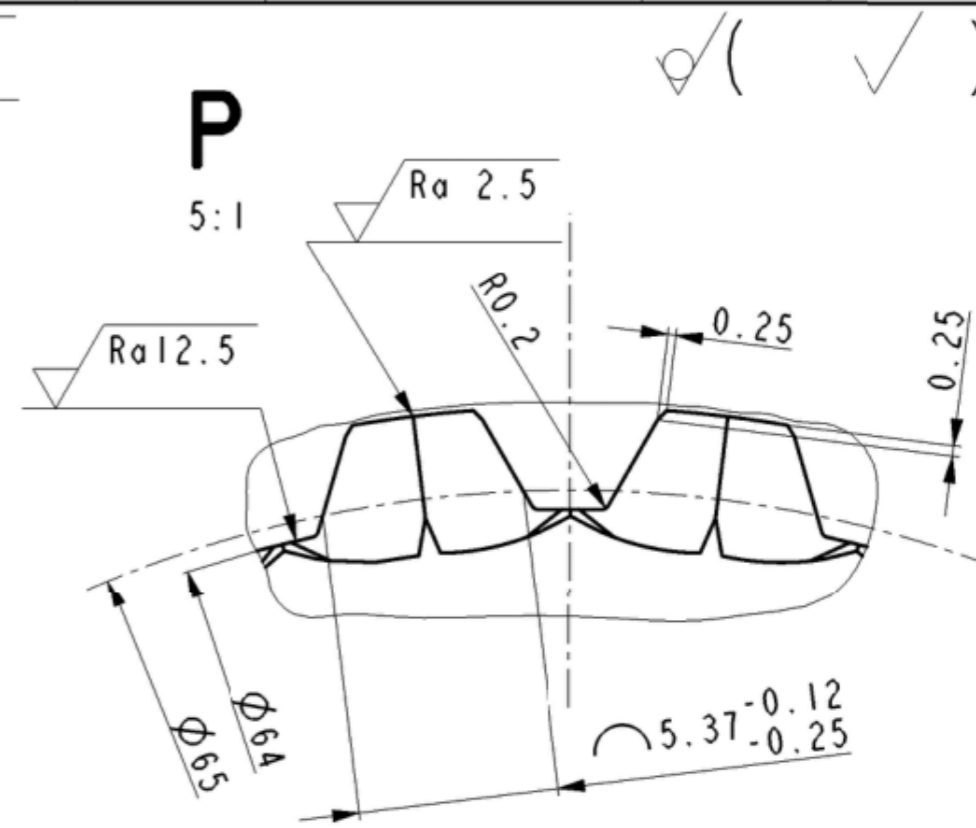
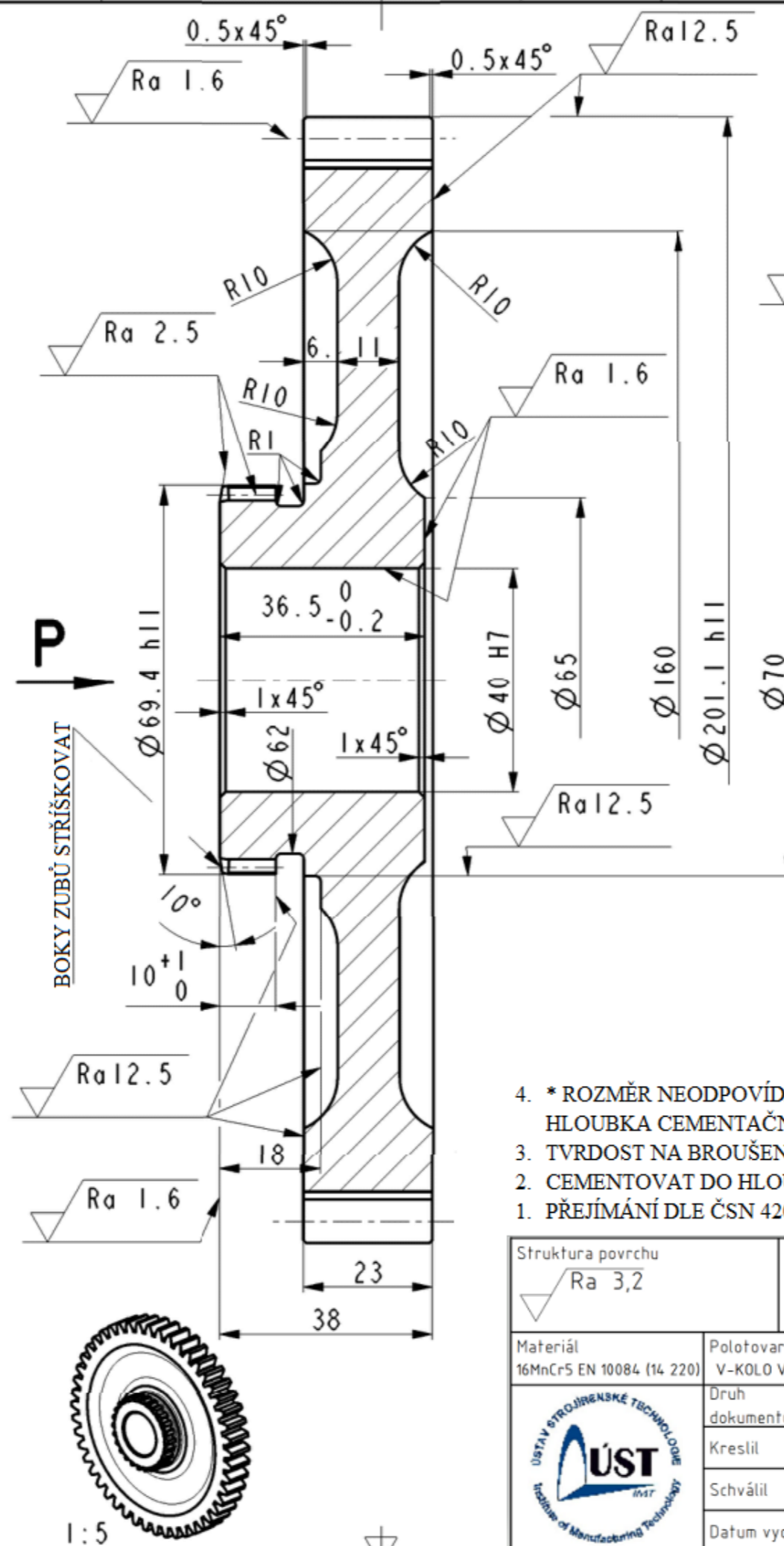
Označení	Legenda	Jednotka
α	úhel záběru zubu	[mm]
β	úhel sklonu zubu	[mm]
Δ	úchylka	[mm]

Označení	Legenda
SK	slinutý karbid
HRC	tvrdost dle Rockwella

SEZNAM VÝKRESŮ

Výkres součásti 2023_DP_212597_1

NÁZEV VÝKRESU		-	KOLO VYVODU 0001	
POVRCH BOKU ZUBU		-	ŠEVINGOVANÝ	
MODUL		m	4	
POČET ZUBŮ		z	48	
ÚHEL SKLONU ZUBŮ		β	0°	
SMYSL ŠROUBOVICE ZUBŮ		-	-	
JEDNOTKOVÉ POSUNUTÍ		x	+0,2	
PRŮMĚR ZÁKLADNÍ KRUŽNICE		db	180,421	
PRŮMĚR ROZTEČNÉ KRUŽNICE		db	192	
PRŮMĚR PATNÍ KRUŽNICE		df	183,2	
STUPEŇ PŘESNOSTI DLE ČSN 01 4682		-	8-Cd	
ÚHEL ZÁBĚRU ZUBU		α	20°	
KONTROLNÍ ROZMĚR	PŘES ZUBY / POČET ZUBŮ	w/zw	68,183	-0,1 / -0,2 / /6 *
	PŘES VÁLEČKY / PRŮMĚR VÁLEČKŮ	M/dM	203,444	-0,253 / -0,506 / /7 *
	DĚLKOVÉ PARAMETRY EVOLVENTY	Ma/L/Le	22,278/14,946/21,312	
SPOLUZABÍRAJÍCÍ KOLO	CISLO VÝKRESU	-	KOLO VYVODU 0002	
	POČET ZUBŮ	z	13	
	VZDÁLENOST OS	aw	124,95	



EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ		-	70x2,5 ČSN 01 4950.2	
MODUL		m	2,5	
POČET ZUBŮ		z	26	
ÚHEL ZÁBĚRU		α	30°	
POSUNUTÍ ZÁKLADNÍHO PROFILU		xm	+1,25	
PRŮMĚR ROZTEČNÉ KRUŽNICE		d	65	
ROZMĚR PŘES ZUBY / POČET ZUBŮ	W/zw	34,884	-0,104 / -0,217	/5
	TLOUŠŤKA ZUBU	s	5,37	-0,12 / -0,25
	PROTISOUČÁST	-	OBJIMKA 0003	

1. PŘEJÍMÁNÍ DLE ČSN 420271.0
2. CEMENTOVAT DO HLOUBKY 0,6 ÷ 0,8 mm, KALIT NA 58 ÷ 62 HRC
3. TVRDOT NA BROUŠENÝCH PLOCHÁCH MIN. 54 HRC.
4. * ROZMĚR NEODPOVÍDÁ STUPNI PŘESNOSTI 8-Cd
HLOUBKA CEMENTAČNÍ VRSTVY MIN 0,4 mm

Struktura povrchu Ra 3,2	Hrany +0,2 / -0,2	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mK
Materiál 16MnCr5 EN 10084 (14 220)		Hmotnost 3,8766 kg	Tolerování ISO 8015
Polotovary V-KOLO VYVODU 0001		Promítání ☉	
Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI		CHRÁNĚNO DLE ISO 16016	
Kreslil Michal Urbánek		Název	
Schválil		Číslo dokumentu 2023_DP_212597	
Datum vydání 01/2023		List: 1/1	