



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

CNC TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

CNC CUTTING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN BLAŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student(ka): Martin Blažek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie**

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 bakalářské práce:

CNC technologie obrábění

V anglickém jazyce

CNC cutting technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza technologických charakteristik CNC obráběcích strojů a jejich programování

Cíle bakalářské práce:

1. Technologická charakteristika CNC obráběcích strojů
2. Programování CNC soustružnických obráběcích strojů
3. Návrh CNC technologie obrábění zadaného hřídele

Seznam odborné literatury

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
3. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
4. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
5. SIEMENS AG. Návody k programování, návod k obsluze. 4. vyd. Erlangen: Siemens, a. s., 2000. 469 s.
6. SIEMENS AG. Návody k programování, základy. 4. vyd. Erlangen: Siemens, a. s., 2000. 456 s.
7. SIEMENS AG. Návody k programování, cykly. 4. vyd. Erlangen: Siemens, a. s., 2000. 320 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc Ing. Jaroslav Prokop, CSc

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 3.2.2014

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá technologickou charakteristikou CNC obráběcích strojů a programování soustružnických obráběcích CNC strojů. Rozebírá možnosti výroby zadaného hřídele.

Klíčová slova

CNC obráběcí stroje, programování CNC soustruhů, hřídel, technologický postup

Abstract

This is a bachelor`s thesis concerning technological characteristics of cutting machines and CNC programing of lathes. Discusses the possibility of manufacturing assign shaft.

Key words

CNC machines, CNC programing of lathes, shaft, technological process

Bibliografická citace:

BLAŽEK, M. *CNC technologie obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s, 4 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Doc. ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **CNC technologie obrábění** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum-----
Martin Blažek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Jaroslavovi Prokopovi, CSc. za připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1. TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	9
1.1 Charakteristické znaky CNC obráběcích strojů.....	9
1.1.1 Technologické parametry.....	9
1.1.2 Přesnost CNC strojů.....	10
1.2 Konstrukce CNC obráběcích strojů.....	11
1.2.1 Rámy.....	11
1.2.2 Vřetena.....	14
1.2.3 Posuvové soustavy.....	15
1.3 Automatizované výrobní soustavy.....	17
1.4 Mechatronika v konstrukci CNC obráběcích strojů.....	18
1.5 Faktory a směry vývoje CNC obráběcích strojů.....	19
2. PROGRAMOVÁNÍ SOUSTRUŽNICKÝCH CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	21
2.1 Skladba programu.....	21
2.2 Cykly a podprogramy.....	21
2.3 Volba nástroje a korekce.....	25
2.3.1 Volba nástroje.....	25
2.3.2 Korekce nástroje.....	25
2.4 Programování CNC soustruhů.....	27
3. NÁVRH CNC TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ ZADANÉHO HŘÍDELE.....	32
3.1 Výrobní podmínky – členění výrobních operací.....	32
3.2 Podklady pro navrhování výrobního postupu.....	32
3.2.1 Vyráběná součást.....	33
3.2.2 Obráběcí stroje.....	33
3.2.3 Nástroje.....	35
3.3 Rámcový technologický postup.....	36
3.4 NC program zadaného hřídele.....	36
ZÁVĚR.....	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	39

Úvod

Číslicově řízené CNC (**C**omputer **N**umeric **C**ontrol) obráběcí stroje umožňují dosažení libovolné, předem dané polohy pracovního uzlu stroje podle záznamu na záznamovém médiu (u CNC systémů pak počítač vlastního řídicího systému i z jiného počítače).

Určení tvaru a rozměru obrobku je specifikováno vhodným číselným vyjádřením souřadnic, směrů a smyslů pracovních pohybů stroje resp. nástrojů. Výhodou je snadné a rychlé předávání potřebných informací, libovolná opakovatelnost, jednoduchá a nenáročná archivace živých programů atd.

Program je zcela oddělen od vlastního stroje a připravuje se nezávisle na stroji, mimo výrobní dílnu. Oddělení programu od obráběcího stroje přináší možnost přizpůsobit se častému střídání tvarově i rozměrově rozdílných výrobků, při minimálních časech potřebných pro seřízení stroje na novou dávku.

Vzhledem ke své vysoké pružnosti a vysokému stupni automatizace se NC a CNC obráběcí stroje staly vhodným prostředkem pro automatizaci malosériové výroby. Dále umožnily řešit velmi složité technologické operace (např. výrobu tvarově velmi složitých součástí, obrábění tvarových ploch rovinných i prostorových (např. formy pro tlakové lití, zápustky, vačky, křivkové kotouče, atd.), pro které se předtím musely vyrábět drahé modely, šablony nebo přípravky. Pro tyto stroje platí, že tvar obrobku a údaje o uskutečňování pomocných úkonů jsou vyjádřeny čísly a zaznamenány vhodným kódem na nosič programu. Seřizovací čas je zkrácen na minimum a čas na přípravu se zmenšuje využitím výpočetní techniky.

Číslicové řízení je automatické řízení procesu prováděné zařízením, které využívá informací v číslicové formě postupně zaváděné v průběhu řízení operace. Vyznačuje se vysokou přizpůsobitelností nejrůznějším výrobním úlohám, všechny informace nutné k provedení těchto úloh (řídicí informace) jsou vytvářeny v alfanumerických znacích. Každý číslicově řízený stroj (zařízení) je tvořen dvěma základními samostatnými celky a to:

- **řízeným strojem** (objektem) vybaveným takovými zařízeními, která mu umožňují realizovat požadovaný průběh technologického procesu na základě řídicích signálů určené struktury, přijímaných jednotlivými částmi stroje v souladu se sekvencí prováděním jednotlivých operací,
- **řídicím systémem** - na základě údajů zakódovaných ve formě programu a uložených na vhodném médiu a s využitím údajů zpětnovazebního charakteru přicházejících od řízeného stroje generuje na výstupu signály pro řízený objekt. [17]

1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

1.1 Charakteristické znaky CNC obráběcích strojů

Číslicovým řízením (často se používá zkratky z angličtiny CNC – Computer Numerical Control), rozumíme v širším slova smyslu činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku definovanou rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo rovině. Při číslicovém řízení obráběcích strojů jde konkrétně o řízení procesu obrábění i pomocných funkcí na základě číselných údajů a příkazů. Všechny informace potřebné pro obrobení součásti jsou zaznamenány ve formě řady numerických znaků. Informace potřebné k obrobení určité součásti jsou:

- informace charakterizující rozměry součástí;
- informace charakterizující různé funkce (posuv, otáčky, ...);
- pomocné informace (zapínání chladicí kapaliny, ...)

CNC obráběcí stroj je tedy obráběcí stroj, který je numericky řízen a konstrukčně uzpůsoben tak, aby měl automatickou výměnu nástrojů.

Číslicově řízené obráběcí stroje starších generací užívaly NC řídicí systémy, zatímco dnes jsou výhradně využívány CNC řídicí systémy. Číslicovým řízením (NC - Numerical Control) rozumíme automatické řízení procesu prostřednictvím zařízení, které využívá zavedená číselná data, zatímco činnost pokračuje. [3]

1.1.1 Technologické parametry

Pro CNC obráběcí stroje se nastavují tyto základní parametry: řezné podmínky, otáčky - řezná rychlost a velikost posuvu.

Řezné podmínky – pro stanovení řezných podmínek na konkrétní výrobek má vliv zejména obráběný materiál a jeho povrch dále pak druh, typ a způsob obrábění, jakost a přesnost obráběné plochy, obráběcí nástroj, výkon stroje, tuhost soustavy a jiné. Díky mnoha atributům lze správné řezné podmínky velice obtížně nastavit. Vyžaduje to dlouhodobé zkušenosti obsluhy i programátora. Pro stanovení řezných podmínek výrobci nástrojů poskytují uživatelům katalogy, které doporučují pro danou technologii výroby, výběr a použití svých produktů.

Otáčky – řezná rychlost – stanovení velikosti otáček (př. M03 S1500). Otáčky se nemění, pokud je nezměníme v programu nebo ručně na stroji. Nevýhoda: při soustružení různých průměrů v cyklech a při soustružení čela se vzhledem k rozdílné řezné rychlosti využívá stroj neekonomicky.

- stanovení řezné rychlosti – přímo funkcí G96 v programu. Výhodné je použití tam, kde nástroj obrábí rozdílné průměry součásti. Tím je vždy zajištěna správná řezná rychlost. [2]

1.1.2 Přesnost CNC obráběcích strojů

Geometrická přesnost

Patří sem úchyly rovnoběžnosti, úchyly kolmosti, úchyly rovinnosti, úchyly přímosti a úchyly kruhovitosti vodicích, přestavitelných a odměřovacích prvků obráběcích strojů.

Kvantifikace geometrické přesnosti se provede pro pracovní prostor obráběcího stroje, s uvážením všech lineárních a rotačních, případně jiných pohybů na základě geometrické identifikace funkčních částí obráběcího stroje. Geometrická přesnost charakterizuje tedy relaci mezi funkčními plochami jednotlivých částí obráběcího stroje. Při realizaci obráběcího procesu v důsledku působení různých sil dochází ke změnám těchto relací. Pro aplikaci vysoce přesného obrábění jsou však tyto změny relativně malé. [4]

Přesnost polohování

Správná technická diagnostika obráběcího stroje souvisí s délkou jeho životnosti a do jisté míry s přesností obrobeneho dílce. Průběžnou kontrolou technického stavu a diagnostiky obráběcího stroje v průběhu jeho životnosti se předchází řadě poruchových činitelů, které mohou způsobit snížení životnosti strojních částí obráběcího stroje a nepřesnost obrobku.

Typický tříosý obráběcí stroj má nejméně 21 stupňů volnosti (odchylky od ideálních hodnot včetně lineárního polohování, přímosti, úhlových natočení a kolmosti mezi osami). Každá z těchto chyb má nepříznivý vliv na celkovou přesnost polohování stroje a na tvarovou a rozměrovou přesnost obrobků.

Pro kontrolu technického stavu a diagnostiky se používají kalibrační systémy, které obráběcí stroj proměří a na základě naměřených hodnot vyhodnotí odchylky v souladu s mezinárodními normami, jako jsou ISO 230-4 a ASME B5.54. [6]

Pracovní přesnost obráběcího stroje

Pracovní přesnost obráběcího stroje je především ovlivňována:

- kvalitou zpracování jeho funkčních částí a pečlivá dílčí i celková montáž;
- tuhostí celku i rozhodujících prvků (pracovní vřeteno, ložiska, vodicí dráhy).
- přesností nastavení nástroje vzhledem k obrobku
- tepelnými deformacemi

Pracovní přesnost při obrábění ovlivňuje ještě celá řada dalších činitelů, především však nástroj, obráběná součást a strategie obrábění. Všechny uvedené vlivy jsou zpravidla mimo dosah konstrukce obráběcího stroje.

Obráběcí stroje se při nasazování do výrobního procesu podrobují přijímacím zkouškám geometrické i pracovní přesnosti, a to dle předepsaných norem řady ISO 9000 apod. [7]

1.2 Konstrukce CNC obráběcích strojů

1.2.1 Rámy

Lože i stojany, popřípadě příčník, sloupy a konzoly jsou základní částí rámu obráběcího stroje. Na jejich tuhosti, odolnosti proti opotřebení vodících ploch, dynamické stabilitě a stálosti tvaru závisí v převážné míře přesnost obrábění. Při návrhu těchto částí je nutností dodržet tyto základní požadavky:

- kvalitní materiál rámu
- dobrá statická tuhost
- vyhovující dynamická a tepelná stabilita
- umožnění dobrého odvodu třísek
- jednoduchá a efektivní výroba
- malá hmotnost
- snadná manipulovatelnost
- dobré uložení na základ

Materiál rámu - lze využít různé materiály, nejčastěji však šedou litinu, ocel i ocelolitinu, ale i různé neželezné materiály. V tabulce číslo 1.1 jsou uvedeny nejpoužívanější materiály pro konstrukci rámu a jejich vlastnosti. [3]

Tab. 1.1 [3].

Druh materiálu	Výhody	Nevýhody
Odlitky ze šedé nebo tvárné litiny	Ekonomicky výhodné pro větší série; Vyšší materiálové tlumení než u oceli; Lepší obrobiteľnosť než u oceli.	Malý měrný modul pružnosti; Technologická omezení tvarování, proporcí a přechodů; Nevhodné pro malé série.
Svařence z ocelí třídy 11	Ekonomické řešení pro kusovou výrobu; Možnost konstrukce velmi složitých tvarů.	Malé materiálové tlumení; Horší obrobiteľnosť než u litiny; Větší vnitřní pnutí a nákladnější odstraňování vnitřních pnutí.
Vláknové kompozity na bázi uhlíkových vláken	Možnost navrhovat dílce s optimálně orientovanou tuhostí; Vynikající hodnoty měrného modulu pružnosti; Materiálové tlumení vyšší než u šedé litiny; Nízká či nulová teplotní roztažnost.	Vysoké výrobní náklady; Komplikované prostředky pro spojování s ostatními dílci konstrukce; Omezené možnosti zasáhnutí do hotové konstrukce;
Keramika na bázi Al a Si	Velmi nízká tepelná roztažnost; Možnost třískového obrábění polotovarů; Vynikající rozměrová stálost	Vysoké výrobní náklady; Komplikované prostředky pro spojování s ostatními dílci konstrukce.
Přírodní žula	Bez vnitřních pnutí; Dokonalá rozměrová stálost; Materiálové tlumení na úrovni šedé litiny.	Náročná a nákladná výroba přesných dílců, potřeba broušení všech ploch.
Polymerní betony	Ekonomicky výhodné pro větší série strojů; Materiálové tlumení na úrovni šedé litiny; Možnost do dílce integrovat elektrické fluidní rozvody a také ocelové inserty pro následné doobrobení;	Nákladná výroba – nutnost kovové formy; Komplikované a nákladné spojování s ostatními dílci konstrukce; Velmi omezené možnosti zasáhnout do hotové konstrukce (nelze vyřezat závit, snadno vyvrtat otvor).
Hybridní struktury a materiály	Možnost dosažení specifických vlastností konkrétních dílců, např. tuhost, tlumení kmitů;	Vyšší náklady na vývoj i výrobu;; Ne-standardní technologie výroby.

Tuhost rámu

Při návrhu převážné většiny rámu obráběcích strojů je určujícím hlediskem velikost deformace, pevnost a tuhost, kterou můžeme rozdělit na tuhost statickou, dynamickou a teplotní.

Statická tuhost se dělí podle druhů zatížení na tahovou, tlakovou, ohybovou a tuhostí v krutu. Rám CNC obráběcího stroje musí přenášet jak ohybové, tak i krutové zatížení. Odolnost prvků rámu (loží, příčnicků, stojanů) vůči ohybu i krutu lze zlepšit účelným žebrováním.

Dynamickou stabilitou rámu obráběcího stroje rozumíme *odolnost vůči kmitání*. Tento jev je velmi škodlivý. Značně zvyšuje namáhání součástí, způsobuje hluk, zhoršuje jakost obráběné plochy a snižuje trvanlivost nástrojů. Příčinou vzniku mohou být vlastnosti stroje nebo vlastní řezný proces.

Negativní vlastnosti stroje:

- nevyváženost rotujících součástí (nástroje, vřetena, obrobku, hřídelí, ozubených kol, spojky, rotoru elektromotoru apod.);
- setrvačné síly prvků, které konají přímočarý nebo kruhový vratný pohyb nepřesnosti převodových mechanismů (házení ozubených kol, ložisek, aj.);
- periodické síly dané principem pohonů (zubová nebo pístová čerpadla);
- nesymetričnost rotačních součástí (hřídele s drážkou), kdy se projeví proměnlivá hodnota tuhosti a vznikne periodická deformace během otáčení;
- periodické síly vnější přenášené z okolí přes základ na stroj.

Uvedme některé zásady, jejichž respektování přispěje k vyloučení vzniku vynuceného kmitání:

- rotující součásti (hřídele, ozubená kola, spojky, nástroje, rotory elektromotorů apod.), je nutno dokonale dynamicky vyvážit na speciálních strojích na vyvažování;
- je třeba zvýšit jakost výroby ozubených kol, valivých ložisek a dalších rozhodujících součástí a zdokonalit jejich montáž;
- při frézování se použije torzní tlumič nebo frézovací hlavy s nestejnou roztečí nožů;
- zmenšením hloubky třísky se sníží amplitudy vynuceného kmitání, ovšem za cenu sníženého výkonu;
- zvýšením nebo snížením otáček hlavního vřetena se lze vyhnout rezonanci a pracovat v oblasti, ve které účinek kmitání není tak výrazný;
- zvýšení tuhosti rozhodujících částí obráběcího stroje má podstatný vliv na zvýšení frekvence vlastních kmitů technologické soustavy, a tím se potlačí vliv budící síly, jestliže je nelze odstranit;
- uložením obráběcího stroje na zvláštní základ se zabrání přenosu chvění z okolí nástroj. [3]

Teplotní tuhost – obráběcí stroje jsou v provozu vystaveny působení řady zdrojů tepla, které v závislosti na zatížení a čase ovlivňují změny teploty jednotlivých uzlů stroje. Rušivé vlivy ovlivňující tepelnou stabilitu obráběcích strojů lze členit dle tab. 1.2 do dvou hlavních skupin.

Tab. 1.2 [3].

Teplotní rušivé vlivy	vnitřní	pohony - ztráty	motory, ložiska, spojky, čerpadla, mazání, hydraulika, převody
		obráběcí proces	nástroj, obrobek, třísky, chlazení
	vnější	teplota okolí	
		tepelné záření	topná tělesa, slunce
		pohyb vzduchu	

Zlepšení teplotní tuhosti lze docílit zejména následujícími čtyřmi opatřeními:

- konstrukční opatření
 - zvyšování účinnosti všech uzlů a prvků;
 - umístění zdrojů tepla pokud možno mimo vnitřní prostor stroje;
 - dodržování zásad symetričnosti konstrukce uzlů, které podléhají vlivu oteplování;
 - volba dělicích rovin uzlů tak, aby deformace v kritickém směru byly minimální (směr deformace volit ve směru tečny k obráběné ploše).
- odvod tepla
 - odvod vznikajícího tepla z ložisek, převodů vedení;
 - chlazení při řezném procesu nebo některých hlavních uzlů (vřeteník);
 - zajištění plynulého odvodu třísek z pracovního prostoru;
 - dimenzování ploch pro odvod tepla.
- Kompenzace
 - využití materiálu s různými součiniteli roztažnosti;
 - nahřívání určitých částí stroje;
 - aktivní NC kompenzace teplotních deformací (využívání teplotně-stabilizačních zařízení zejména pro velmi přesné a nákladné stroje).
- Klimatizace
 - konstantní teplota v hale (např. $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$);
 - kontrola proudění vzduchu;
 - clonění záření. [3]

Odvod třísek



Obr. 1.1 [8].

zobrazen hrablový dopravník.

Stroje pracující v automatickém cyklu musí mít řešení plynulý, automatický odvod třísek z pracovního prostoru. Optimálním řešením je, když základní koncepce obráběcího stroje umožňuje gravitační odvod třísek. Další důležitou otázkou je řešit pokud možno automatický odvod třísek mimo vlastní obráběcí stroj. K tomu účelu lze využít různé typy dopravníků třísek, např. magnetické, rotační, pásové, šnekové atd. [3] Na obrázku 1.1 je

Uložení obráběcího stroje na základ přispějí ke zvýšení tuhosti stroje. Tuhé spojení stroje se základem zvýší celkovou tuhost na několikanásobek. Volba provedení základu na principu uložení obráběcího stroje závisí od druhu stroje a požadavků na jeho přesnost a tuhost. V praxi se využívají různé druhy uložení strojů dle tab. 1.3. [3]

Tab. 1.3 [3].

Druh uložení stroje na základ			
Použití - vlastnosti	volné ustavení na základové desce - podlaze	uložení na samostatném izolovaném základě	uložení na samostatném základě
oblast využití	malé (lehké) stroje	přesné obráběcí stroje	střední a velké obráběcí stroje
tuhost obráběcího stroje	vlastní tuhost dobrá (samonosný rám)	celková tuhost rámu nízká (nesamonosný rám)	celková tuhost rámu nízká (nesamonosný rám)
účel ovládacích prvků	tlumení + ustavení stroje	tlumení -ustavení stroje -tuhé spojení se základem	ustavení stroje + tuhé spojení se základem

1.2.2 Vřetena

Úlohou vřetena je zaručit obrobku (u soustruhů) nebo nástroji (u frézky, vrtačky, brusky) přesný otáčivý pohyb, tj. takový, při němž se dráhy jednotlivých bodů obrobků nebo nástroje liší od kružnice jen v přípustných mezích. Vřeteno je u CNC obráběcích strojů ukládáno z 99% do valivých ložisek. Vřeteno představuje velmi důležitý prvek ve skladbě obráběcích strojů, a proto jsou na konstrukční provedení kladeny náročné požadavky:

- vysoká přesnost chodu – je určena velikost tzv. radiálního a axiálního házení;
- dokonalé vedení – vřeteno nesmí měnit polohu v prostoru;
- ztráty v uložení vřetena musí být co nejmenší;

- vřeteno musí být tuhé (předepnuté) – jeho deformace spolu s přesností chodu má rozhodující vliv na přesnost práce obráběcího stroje;
- v uložení vřetena musí být možné vymezovat vůli vzniklou opotřebením;
- dlouhodobá životnost a provozní spolehlivost.

Při návrhu valivého uložení vřetena CNC obráběcího stroje je nutné dodržet postup šesti kroků dle tabulky 1.4. [3]

Tab. 1.4 [3].

Typ ložiska a uspořádání	určí se typ ložiska a jeho uspořádání s ohledem na provozní podmínky	krok 1
Rozměr ložiska	provede se výpočet životnosti, ekvivalentního dynamického namáhání	krok 2
Třída přesnosti ložiska	zvolí se třída přesnosti s ohledem na požadovanou přesnost	krok 3
Uložení ložiska a typ klece	volba předpětí a lícování včetně materiálu klece, tuhost ložiska	krok 4
Mazání	na základě provozních podmínek je určen druh mazání	krok 5
Montáž a demontáž	Je zvážena metoda montáže a demontáže	krok 6

1.2.3 Posuvné soustavy

V současné době se využívá ve stavbě obráběcích center pro realizaci posuvu elektromechanická posuvová soustava nebo náhon lineárními servomotory. [3]

Elektromechanické posuvové soustavy

Skládají se z elektrického servomotoru, který je napojen na hřídel kuličkového šroubu. Jsou tvořeny elektromotorem, výkonovým polovodičovým měničem pro napájení a řízení motoru a regulátorem pro řízení polohy, respektive otáček. Součástí motoru bývají obvykle podle druhu užitého doměřování snímače rychlosti, popřípadě polohy. Skladba:

konstrukční prvky na hřídeli
 kuličkový šroub a matice
 pastorek a hřeben
 šnek a šnekový hřeben

Konstrukční prvky na hřídeli

Řemeny používané ve stavbě CNC stroje jsou klínové a synchronní a jsou vyztuženy ocelovými nebo skleněnými vlákny.

Řemenice synchronních řemenů jsou vybaveny bočnicemi z lisovaného ocelového plechu, mají vyhnutý náběh (cca 15°). Nejčastěji se upevňují pomocí kuželových svěrných pouzder.

Ve stavbě CNC obráběcích strojů se používají speciální *mechanické převodovky* cykloidní, vlnové a excentrické.

Kuličkový šroub a matice

Přímočarý pohyb u CNC obráběcích strojů je buď hlavní posuvný řezný pohyb (nástroje nebo obrobku) nebo pomocný pohyb. Využijeme-li pro náhon kuličkového šroubu a matice viz obr. 1.2, vyvozuje motor rotační pohyb, který je přes kuličkový šroub transformován na přímočarý pohyb. Jsou dva druhy provedení, buď se šroub otáčí a matice stojí nebo se otáčí matice a šroub stojí. Někdy je využito obou případů. V závitech mezi šroubem a maticí obíhají kuličky. Šroub a matice jsou ocelové, povrchy závitů kalené a broušené. Závitky jsou vyrobeny s velkou přesností. K hlavním přednostem kuličkového šroubu a matice patří vysoká účinnost, minimální oteplování během provozu, možnost úplného odstranění vůle a možnost vytvoření předpětí (vysoká tuhost a přesnost), malé opotřebení a tím vysoká životnost, potlačení vzniku trhavých pohybů či možnost převodu přímočarého pohybu na rotační.

Všeobecně lze pro uložení pohybového šroubu stanovit některé hlavní konstrukční zásady:

- přednostně volit ložiska s přímkovým stykem válečková, jehlová;
- minimalizovat počet opěrných, vložených kroužků, neboť každá styková plocha snižuje tuhost;
- přípojovací a dosedací plochy mají být opracovány s vysokou jakostí povrchu;
- všechny prvky uložení mají mít maximální tuhost;
- jednotlivá ložiska je vhodné předeprnout.

Pastorek a hřeben

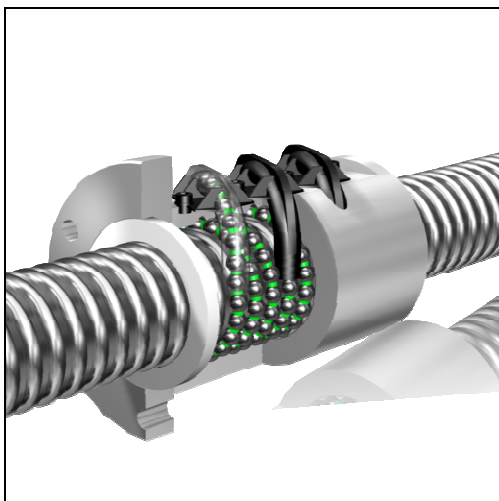
Pro pohony posuvů CNC pracovních stolů s dlouhými zdvihy je použití posuvových šroubů již nevhodné (tuhost, vysoké otáčky). Zde nachází výhodné uplatnění princip pohonu ozubeným hřebem a pastorkem. Má proti šroubu a matici menší převod, lepší účinnost a menší tuhost.

Šnek a šnekový hřeben

Pro posuvové soustavy s vysokou hodnotou převodu lze často využít výhodně i princip hydrostatického šnekového hřebenu. Vhodná oblast využití je zejména u velkých obráběcích strojů pro pohon posuvů pracovních stolů, např. u portálových frézek. Výhody spočívají zejména v minimálním tření a vysoké tuhosti. [3]

Lineární motor

Technologické aplikace dnešní doby provozované na CNC obráběcích strojích se pohybují mezi dvěma krajními hodnotami: vysokorychlostní obrábění HSC (High Speed Cutting) a výkonné obrábění HPC (High Performance Cutting). Těmto strojům odpovídají i pohonné soustavy. Zatímco pro HPC použijeme spíše náhon lineárních souřadnic s kuličkovým šroubem, pro HSC lineární motor viz obr.1.3. [3]



Obr. 1.2 Kuličkový šroub s kuličkovým řetězem [9].



Obr. 1.3 Válcový lineární motor [10].

Vedení CNC obráběcích strojů

Kluzná – využívají s principiálně ve dvou variantách na podle třecích poměrů na: hydrodynamické otevřené a hydrostatické otevřené, uzavřené servostatické. Typy vodících ploch můžeme rozdělit na: válcovou, prizmatickou, plochou nebo rybínovou.

Valivá a přímočará – se zřetelem na požadavky CNC obráběcích strojů se zvyšují nároky na dokonalou plynulost posuvových pohybů.

Přednosti: celkově menší součinitel tření;
minimální opotřebení a tím dlouhá životnost;
možnost vymezení vůle a předepnutí;
vysoká přesnost pohybu i při malých rychlostech.

Nevýhody: vysoká náročnost na přesnost výroby a tím někdy vyšší ceny
větší rozměry než vedení kluzná
menší schopnost útlumu chvění. [3]

1.3 Automatizované výrobní soustavy

Automatizace výroby je celosvětově sledovaný proces, jehož cílem je zvýšení produkce a kvality výroby a vyloučení člověka z přímých obslužných činností ve výrobním procesu.

Vývoj automatizace se v současné době odehrává ve dvou směrech:

- přechod od dílčí automatizace jednotlivých technologických operací a zařízení k úplné automatizaci výrobních procesů;
- úsilí a počítačovou podporou stále většího podílu tvůrčí činnosti člověka, která je nutná pro průběh výroby (konstrukce, postupy atd.).

Do automatizovaných výrobních soustav je zahrnuto jedno nebo více technologických pracovišť, u kterých jsou všechny hmotné a informační toky automatizovány a tvoří ucelenou soustavu. Struktura je tvořena čtyřmi typy pracovišť:

- pružná výrobní buňka – tvoří jedno, maximálně tři technologické pracoviště, nejčastěji typu obráběcích center, která jsou propojena automatickou mezioperační manipulací se součástkami. Na obr. 1.4 je obráběcí centrum s robotem.
- pružná výrobní soustava – jsou tvořeny větším počtem technologických pracovišť, zpravidla obráběcích center, vzájemně propojených mezioperační dopravou součástí a pomůcek. Je určena pro vyšší objemy součástí, obvykle s nižším počtem druhů.
- pružná výrobní linka – strukturu tvoří převážně vícevřetenová obráběcí centra doplněná dalšími typy jednovřetenových obráběcích center či jednoúčelových strojů. Je určena v oblasti středně sériové výroby s opakovaně zadávanými součástmi o užším sortimentu.
- tvrdá automatická linka – její skladba je převážně realizována stanicemi tvořenými jednoúčelovými stroji, které jsou propojeny dopravou obrobků zpravidla s technologicky vázaným taktem. Jsou určeny pro oblasti velkosériových výrob, kde je jejich nasazení většinou velmi efektivní. [3]



Obr. 1.4 Výrobní buňka s robotem Nachi [11].

1.3 Mechatronika v konstrukci CNC obráběcích strojů

Pojem mechatronika byl vytvořen pro označení takových prvků/komponent, jejichž funkce jsou rozšířeny implementací elektroniky a počítačového řízení. Výsledkem značného zvýšení rychlosti zpracování informace se ve strojírenství dostává do popředí integrace „inteligence“ do technických systémů.

Mechatronické systémy jsou v zásadě charakterizovány rozšířením mechanického systému funkční nebo prostorovou integrací senzorů a aktuátorů a použitím řídicích systémů.

Účelné je rozlišit následující systémové úrovně:

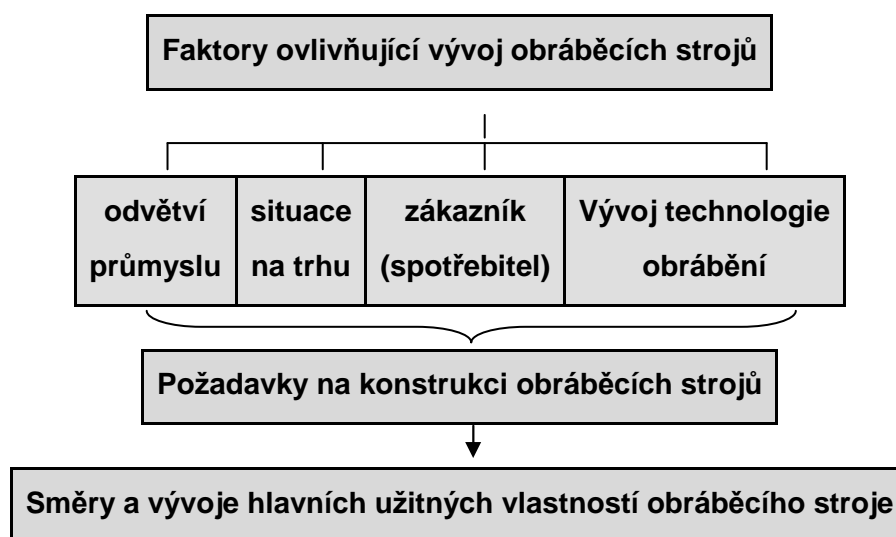
- mechatronické komponenty výrobního stroje
 - zahrnují především hlavní pohony a pohony posuvu
- integrace pomocných mechatronických komponent do základních komponent výrobního stroje
 - cílem zásahů na této systémové úrovni je potlačit nesprávnou funkci stroje takovými autonomními komponentami, které buď působí přímo jako pomocné aktuátory ke kompenzaci geometrických chyb blízko zdroji poruchy, nebo je cílem zlepšit chování komponent základní struktury výrobního stroje pro potřeby řídicího systému vyšší úrovně.
- mechatronický systém výrobního stroje
 - oblastí aplikací, pro kterou je to zejména vhodné, je kalibrace strojů nebo eliminace kvazistatických zdrojů chyb, např. tepelných dilatací.

Rozvržení funkčnosti:

- vytvořit snadno ovladatelné moduly s autonomní funkčností a s co nej-jednodušším rozhraním;
- pracovat v co nejmenší vzdálenosti od polohy, kde vzniká důvod k akčnímu zásahu;
- maximálně využít existující řídicí jednotky a senzorů tak, aby bylo potlačeno zavlečení poruch z dalších prvků. [3]

1.4 Faktory a směry vývoje CNC obráběcích strojů

Faktory ovlivňující vývoj obráběcích strojů (obr. 1.5) generují požadavky a ty posléze směry vývoje hlavních užitečných vlastností obráběcích strojů. Mezi hlavní směry vývoje patří těchto šest aspektů: zvyšování přesnosti, jakosti, výrobního výkonu, spolehlivosti, hospodárnosti a snižování negativních dopadů na životní prostředí.



Obr. 1.5 [3].

Odvětví průmyslu

Zákonitost, že směr vývoje u CNC obráběcích strojů určoval vždy letecký a kosmický průmysl, je platná i v dnešní době. Tato oblast je specifická používáním nových druhů materiálů, které vyžadují nové technologické postupy, nástroje a tím i stroje. Důležité jsou i ostatní oblasti průmyslu, jako je průmysl dopravní (automobilový a železniční), energetický, petrochemický a lodní. Každá tato oblast průmyslu vyžaduje specifickou konstrukci obráběcího stroje od těžkých konstrukcí po přesné a rychlé obráběcí stroje. [3]

Vývoj technologie obrábění

Směry vývoje – lze spatřovat v následujících devíti aspektech:

- *Růst řezných výkonů – HPC (High Performance Cutting)*
U HPC jde na rozdíl mezi HSC o zvýšení nejenom řezné rychlosti, ale i o posuv a hloubku řezu, abychom docílili v krátkém čase vysokého úběru objemu třísek. HPC vyžaduje robustní, termosymetrickou konstrukci s dobrým odvodem třísek, tuhým upnutím nástroje, výkonné a tuhé náhony.
- *Růst posuvových a manipulačních rychlostí* – tyto veličiny mají velký vliv na vývoj CNC obráběcích strojů.
- *Vysokorychlostní suché a tvrdé obrábění – High Speed Cutting (vysokorychlostní obrábění)*

Podstatou je odebrání malého průřezu třísky vysokými řeznými rychlostmi.

Tvrdé obrábění se používá pro kalené materiály o tvrdosti 60 – 80 HRC, které se dříve obráběly pomocí broušení. Jako nástrojový materiál se užívá povlakovaný slinutý karbid (TiAlN), kubický nitrid bóru CBN, polykrystalický diamant PCD, řezná keramika a cermety.

Pod pojmem minimální mazání rozumíme dodávání minimálního množství lubrikantu do místa řezu. V dopravním vzduchu se z něj vytvoří aerosol

a jeho úlohou je mazací funkce, čímž je snižována teplota v místě řezu. Lubrikant je dodáván externě nebo interně (skrze vřeteno).

- *Zvyšování teplotní, statické a dynamické stability*
Té dosahujeme termosymetrickou konstrukcí rámu, odváděním tepla z třisek, ložisek a uložení, vinutí motorů či účelným žebrováním.
- *Zvyšování polohovací a pracovní přesnosti* – tohoto aspektu mechanickou nebo elektronickou kompenzací
- *Konstrukce spolehlivých uzlů* - zkušenostmi, výběrem vhodných prvků a spolehlivou konstrukcí dosáhneme této požadované vlastnosti.
- *Stavebnicovosti a rekonfigurovatelnosti*
Na tu nahlížíme hlavně ze dvou pohledů: konstrukce obráběcích strojů (změna stroje na jiný typ obrobku) a výroby (změna technologie na jiný typ obrobku).
- *Diagnostika a aktivní kontrola* – minimalizace ztrátových časů
- *Uživatelská přívětivost* – vyznačuje se malou zastavěnou plochou, ergonomií či instalací bez nutnosti základu. [3]

2 PROGRAMOVÁNÍ SOUSTRUŽNICKÝCH CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

2.1 Skladba programu

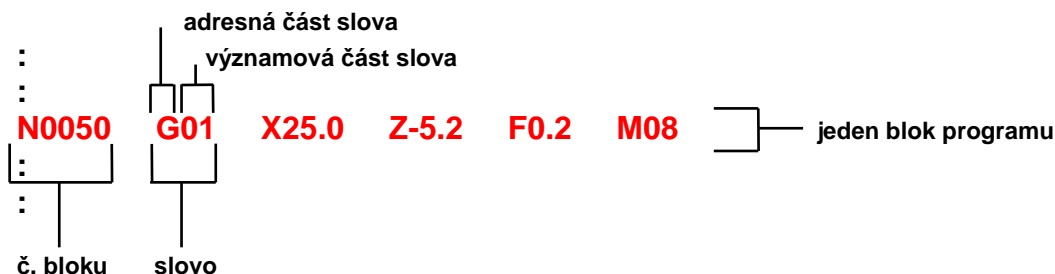
NC program se skládá ze čtyř hlavních částí:

- | | | |
|---------|------------------|-------------------------|
| 1. část | – název programu | %0001 |
| 2. | – přípravná část | technologické údaje |
| 3. | – obsahová část | geometrie drah nástroje |
| 4. | – závěrečná část | M30 |

NC program začíná číslem programu (např. **%100**, **P0005** nebo **O0123**) – pod tímto číslem je zpravidla i CNC systém uložen. Program pokračuje nastavením nulového bodu obrobku, nástroje a jeho korekce, nastavením řezných podmínek a roztočením vřetene. Další část již obsahuje vlastní popis geometrie drah řezů – vlastní obrábění součásti. V běžném NC programu se obvykle tato druhá a třetí část několikrát opakují (změna řezných podmínek, výměna nástroje apod.), program končí funkcí **M30**.

Celé obrábění na CNC strojích je rozloženo na jednotlivé kroky, každý krok představuje jeden blok (větu) programu. Jednotlivé bloky jsou vzestupně číslovány, jeden blok zpravidla obsahuje jeden nebo několik (málo) příkazů.

Formát bloku (jednoho řádku) NC programu



Každý blok (věta, jeden řádek programu) se skládá z čísla bloku (označuje jednotlivé bloky, začíná písmenem **N** – number), jednotlivých slov (např. **G01**, **X25.0**, **M08** apod.), jednotlivá slova se dále sestávají z tzv. adresné části tvořené jedním písmenem (např. **G**) a významové části tvořené posloupností číslic (např. **01**). Slova jsou od sebe navzájem oddělena alespoň jednou mezerou, části slova se neoddělují.[12]

2.2 Cykly a podprogramy

Cykly pro obrábění

Obráběcí cykly jsou řešeny různým způsobem dle potřeb výrobců a dle možností daných strojů. Používají se funkce G s číslem, které není obsazeno číslem daným normou (jako jsou např. G01, G90 atd.). Cykly usnadňují práci programátora tím, že nemusí programovat např. několik třisek (např. použít opakovaně G00, G01 při hrubování povrchu), ale stačí zadat funkci G s číslem požadovaného cyklu a další potřebné adresy k této funkci. Obecně se jedná o podprogramy (makra) pa-

rametricky programované a upravené pro vyvolání danou funkcí. Cykly končí v bodě, ve kterém byly spuštěny.

U soustruhů cykly řeší hrubování čelní a podélné, řezání závitů, vrtání hlubokých děr, otvory na roztečné kružnici a další.[2]

Tab. 2.1 Vybrané přípravné funkce [1].

Název	Význam
G0	Lineární interpolace rychloposuvem
G1	Lineární interpolace pracovním posuvem
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G4	Časově předurčená prodleva
G18	Volba pracovní roviny Z/X
G25	Dolní omezení pracovního pole
G26	Horní omezení pracovního pole
G33	Řezání závitů s konstantním stoupáním
G40	Vypnutí korekce poloměru nástroje
G54	1. nastavitelné posunutí nulového bodu
G55	1. nastavitelné posunutí nulového bodu
G56	2. nastavitelné posunutí nulového bodu
G57	3. nastavitelné posunutí nulového bodu
G58	Osové programovatelné posunutí nulového bodu, absolutní
G59	Osové programovatelné posunutí nulového bodu, aditivní
G70	Zadávané dráhy v palcích
G71	Zadávané dráhy v mm
G74	Nájezd do referenčního bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální programování
G94	Posuv F [min.]
G95	Posuv F [mm]
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti

Podprogramy

Podprogramy zjednodušují a snižují pracnost tvorby hlavního programu zejména tam, kde se vícenásobně opakují stejné tvary.

Podprogramy na rozdíl od programů si vytvářejí programátoři podle svých potřeb při tvorbě programu. Vytvořený hlavní program vyvolává podprogram v té části, kde je uvedena adresa **L** (s číslem podprogramu). Aktivizuje se podprogram, který musí být ukončen funkcí **M17** (navrací činnost do hlavního programu).

Podprogramy podle použitého softwaru řídicího systému lze psát za hlavním programem nebo v jiných softwarech samostatně, v takovém případě lze podprogram použít v různých programech.

Specifikum v oblasti podprogramů mají některé řídicí systémy Sinumerik. Programátor v podprogramu zadává konturu, která ohraničuje v hlavním programu napsané cykly. V tabulkách 2.2 a 2.3 jsou vybrané adresové znaky a pomocné funkce.[2]

Tab. 2.2 Vybrané adresové znaky [1].

Název	Význam
F	Posuv
H	Přídavné funkce
I	Nastavitelný identifikátor adresy
J	Nastavitelný identifikátor adresy
K	Nastavitelný identifikátor adresy
L	Volání podprogramu
N	Číslo vedlejšího bloku
P	Počet opakování programu
R	Identifikátor proměnné
S	Velikost otáček vřetene
T	Číslo nástroje
X	Nastavitelný identifikátor adresy
Y	Nastavitelný identifikátor adresy
Z	Nastavitelný identifikátor adresy
%	Počáteční a oddělovací znak při přenosu souborů
:	Číslo hlavního bloku
/	Identifikátor vypuštění bloku

Tab. 2.3 Vybrané pomocné funkce [1].

Název	Význam
M0	Programovatelný stop programu
M1	Volitelný stop
M2	Konec programu
M3	Start vřetena ve směru hodinových ručiček
M4	Start vřetena proti směru hodinových ručiček
M5	Zastavení vřetena
M6	Výměna nástroje (při ruční výměně)
M8	Zapnutí chlazení
M9	Vypnutí chlazení
M17	Konec podprogramu
M30	Konec programu a návrat na začátek programu
M41	Převodový stupeň 1 (nižší řada otáček)
M42	Převodový stupeň 2 (vyšší řada otáček)

Tyto funkce neumožňují rozšířený formát adresového bloku

2.3 Volba nástroje a korekce

3.3.1 Volba nástroje

Podle toho jaký materiál se soustružením obrábí, jaká je předepsaná struktura povrchu obrobku a další výkresově předepsané požadavky, je nutné zvolit tomu odpovídající nástroje, soustružnické nože a tomu odpovídající geometrie.

Pro optimální geometrii nože je nejdůležitější správná volba úhlu čela γ a úhlu hřbetu α . Hodnoty optimálních úhlů čela jsou závislé zejména na mechanických vlastnostech obráběného materiálu, ohybové pevnosti nástrojového materiálu a na tloušťce odebírané třísky. Velikost úhlu hřbetu závisí hlavně na tloušťce třísky. Nástroje pro jemné a přesné obrábění musí mít úhel hřbetu menší než nástroje hrubovací. Hodnoty úhlů čela a hřbetu jsou v následující tabulce 2.1, která udává přibližné velikosti úhlů čela a hřbetu nožů z rychlořezné oceli (RO) a s břitovými destičkami ze slinutých karbidů (SK).[14]

Tab. 1.4 [14].

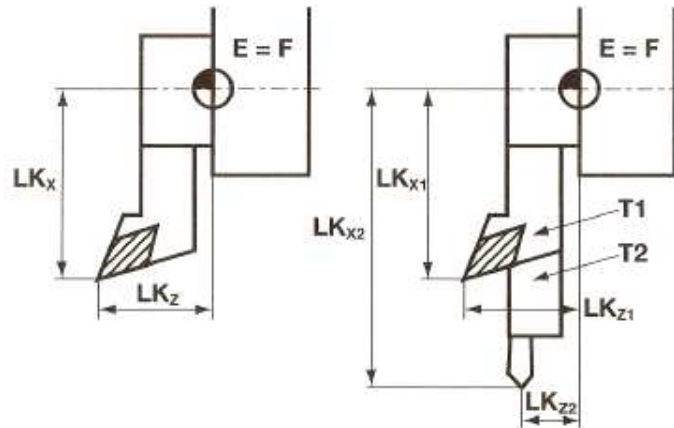
Rychlořezná ocel		Obráběný materiál	Slinutý karbid	
$\gamma(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$		$\gamma(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$
20	8	Uhlíková ocel pevnosti až 50 kp/mm ² , slitiny hliníku lité	15	8
15	8	Uhlíková ocel pevnosti až 70 kp/mm ² , měkký bronz a mosaz	10	6
10	8	Slitinnová ocel pevnosti až 85 kp/mm ² , slitiny hliníku kované	8	6
8	8	Slitinnová ocel pevnosti až 100 kp/mm ² , bronz střední tvrdosti	5	5
-	-	Nástrojová a manganová ocel, bronz tvrdý, porcelán, sklo	0	5
-	-	Tvrzená a kokilová litina	-4	4
10	8	Temperovaná litina, silumin	6	6
5	6	Šedá litina, mosaz tvrdá	2	6
25	15	Měd, hliník	20	10
10	10	Slitiny zinku, tvrzený papír	10	8
15	12	Plastické hmoty, tvrdá pryž	12	12

3.3.2 Korekce nástroje

Korekce nástroje dělíme na délkové, rádiusové a výsledné. Korekce délkové (i rádiusové) se pro soustruhy zjišťují u všech nástrojů. Měření se provádí způsobem:

- V měřicím přístroji mimo obráběcí CNC stroj. Změřené hodnoty se ručně zapíše k danému nástroji v řídicím systému stroje do tabulky korekcí. Nově se zavádějí v nástrojích čipy, do kterých se automatizovaně zapisují z měřicího přístroje tyto a další hodnoty potřebné pro práci s daným nástrojem. Nástroj při umístění do stroje předá tyto informace řídicímu systému stroje.
- Přímou na stroji. Na stroji je umístěn dotek (na páce, kterou pro toto měření nastaví do prostoru stroje obsluha), na který v ručním režimu najede ob-

sluha nástrojem. Po doteku se naměřené hodnoty automaticky zapíší do paměti k danému nástroji. [2]

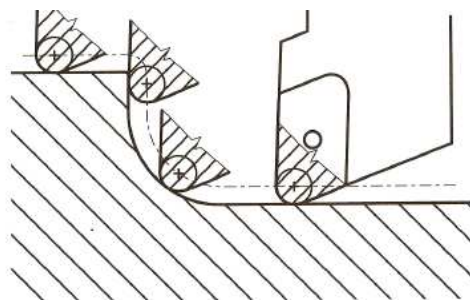


Obr. 2.1 Měření délkových korekcí nástroje – soustruh [2].

Obrázek 2.1 ukazuje velikost délkových korekcí nástrojů vůči bodu výměny nástroje (s držákem). Pro porovnání jsou dále v obrázku uvedeny dva nástroje, kde je patrné, že mezi nástroji **T1** a **T2** a dalšími musí být délkové (korekční) rozdíly.[2]

Korekce rádiusové

Soustružnický nůž má vždy zaoblenou špičku nástroje s rádiusem. (Důvodem je požadovaná jakost obráběné plochy, která mimo jiné závisí na velikosti R špičky nože a na případném uražení nebo upálení špičky při obrábění.). Vyrobená geometrie kontury se bude odchylovat od zadané, pokud nebudeme s velikostí rádiusu počítat. Při soustružení bod na rádiusu vytváří konturu obrobku, posunuje se v závislosti na tvaru kontury viz. obr. 2.3. Z důvodů požadované geometrické přesnosti musíme provést korekční výpočty. Výpočty, které by byly velice pracné, řeší software v CNC programu. Funkce **G41** nebo **G42** zapíná matematický aparát, který vypočítává ekvidiantu která je vzálená o poloměr rádiusu od zadané geometricky správné kontury. Po této ekvidistantě se pohybuje střed rádiusu špičky nástroje, tzn. že střed rádiusu nože se pohybuje po ekvidistantě, která je rozdílná od zadaného CNC programu. Funkce **G40** matematický aparát vypíná. [2]



Obr. 2.2 Pohyb bodu špičky nástroje po tvarové ploše (kontuře obrobku) [2].

2.4 Programování CNC soustruhů

V této části se zaměříme na obecné programování CNC soustruhů.

Při tvorbě programu se snažíme, aby popis dráhy nástroje byl co nejjednodušší. Většinou používáme způsob programování **absolutní**, někdy (například při tvorbě podprogramu nebo při řetězcovém kótování součásti) volíme způsob programování **inkrementální** (přírůstkový). [13]

■ G90 – absolutní programování

Souřadnice všech bodů se zadávají absolutně vzhledem k počátku souřadného systému. V ose (**X**) zadáváme průměry součásti, v ose (**Z**) zadáváme délky průměrů. Absolutní programování zrušíme funkcí **G91**. [13]

■ G92 – absolutní programování s posunutím nulového bodu

Pro souřadnice bodů platí totéž jako funkce **G90**, funkce **G92** nám umožňuje posunout nulový bod kamkoliv do pracovního prostoru stroje. Výhodná poloha nulového bodu je na ose rotace a na pravém čele obrobku. [13]

■ G91 – inkrementální programování (přírůstkové)

Souřadnice každého cílového bodu se zadávají jako velikosti přírůstků v ose (**X**) a (**Z**) od předchozího cílového bodu, jehož souřadnice považujeme za nulové. [13]

■ G00 – rychloposuv

Funkce se používá pro rychlé přestavení nástroje mimo záběr. Nástroj se pohybuje maximální možnou rychlostí z výchozího bodu (**X, Y** – výchozí bod) do cílového bodu určeného souřadnicemi (**X, Y** – cílový bod) po přímkové dráze. [13]

■ G01 – lineární interpolace

Funkce **G1** je základní pohybová funkce při pracovním pohybu nástroje, nástroj se pohybuje po přímce pracovním posuvem (**F**) z výchozího bodu (**X, Y** – výchozí bod) do cílového bodu určeného souřadnicemi (**X, Y** – cílový bod). [13]

■ G02 – kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček

Nástroj se pohybuje po kruhovém oblouku o poloměru (**R**) pracovním posuvem (**F**) ve směru pohybu hodinových ručiček z výchozího bodu (**X, Y** – výchozí bod) do cílového bodu určeného souřadnicemi (**X, Y** – cílový bod). [13]

■ G03 – kruhová interpolace proti směru pohybu hodinových ručiček

Nástroj se pohybuje po kruhovém oblouku o poloměru (**R**) pracovním posuvem (**F**) proti směru pohybu hodinových ručiček z výchozího bodu (**X, Y** – výchozí bod) do cílového bodu určeného souřadnicemi (**X, Y** – cílový bod). [13]

■ G04 – časová prodleva

Pohyb nástroje se po zadanou dobu (**T**) přeruší. Čas prodlevy se zadává v sekundách. Během prodlevy se otáčení vřetena nezastavuje. Funkce se používá např. pro ustálení otáček při roztočení vřetena nebo při vystružování z důvodu vyhlazení povrchu. [13]

■ G21 – prázdný blok

Funkce se používá pro vložení prázdného bloku do programu nebo k vymazání jednoho (i více) nežádoucího bloku číslo (**N**). Tento blok se po přelistování nezobrazí. [13]

■ G29 – textová poznámka

Funkce umožňuje vepsat do CNC programu textovou poznámku o dvaceti znacích do jednoho bloku. Těchto bloků může být v programu libovolný počet. [13]

■ G33 – soustružení závitu

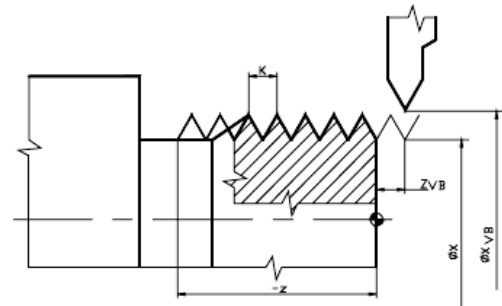
Funkce umožňuje soustružení jedné závitové drážky na průměru (**X**) se stoupáním (**K**) v délce (**Z**), viz. Obr. 2.3.

N10 G33 X.. K.. Z..

X...malý průměr závitové drážky

K...stoupání závitu

Z...délka závitu [13]



Obr. 2.1 [13].

PEVNÉ CYKLY

■ G64 – cyklus podélného hrubování

Cyklus se používá na hrubování součásti na rozměry dané adresami (**X**) a (**Z**) po jednotlivých třískách hloubky (**U**), posuvem (**F**). Po odebrání materiálu nástroj zarovná čelo a vrátí se do výchozí polohy. Pokud není odebíraný přípravek celistvým násobkem hloubky třísky (**U**), je poslední odebíraná tříška menší (Obr. 2.4).

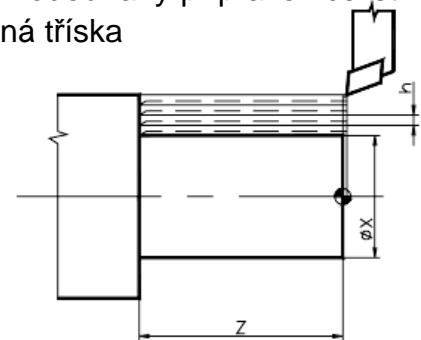
N10 G64 X.. Z.. U.. F..

X...velikost požadovaného průměru

Z...délka požadovaného průměru

h...hloubka třísky

F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



Obr. 2.4 [13].

■ G66 – cyklus zapichování

Cyklus se používá pro výrobu zápichu o šířce větší, než je šířka zapichovacího nože. Rozměry zápichu jsou dané adresami (**X**) – průměr a (**Z**) – šířka zápichu, ne dráha nástroje. Šířka zapichovacího nože je udávána adresou (**W**), posuv nástroje je dán adresou (**F**), (Obr. 2.5)

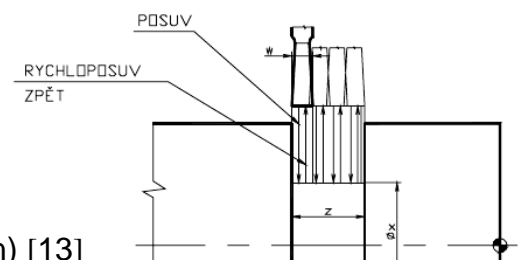
N10 G66 X.. Z.. W.. F..

X...průměr zápichu

Z...šířka zápichu

W...šířka zapichovacího nože

F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



Obr. 2.5 [13].

■ G68 – cyklus příčného soustružení

Cyklus se používá na hrubování součásti na rozměry dané adresami (**X**) a (**Z**) po jednotlivých třískách šířky (**W**), posuvem (**F**). Nástroj pracuje zapichovacím způsobem. Po odebrání materiálu nástroj vyhladí válcovou plochu a vrátí se do výchozí polohy. Pokud není odebíraný přídavek celistvým násobkem šířky třísky (**W**), je poslední odebíraná tříska menší (Obr. 2.6).

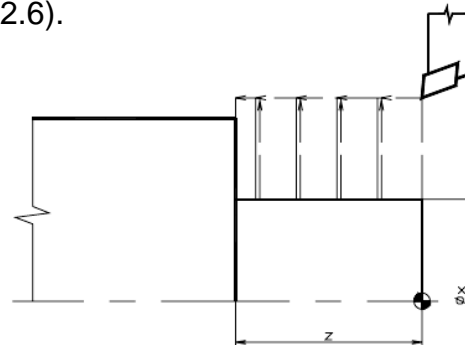
N10 G68 X.. Z.. W.. F..

X...velikost hrubovaného průměru

Z...délka hrubovaného průměru

W...šířka třísky

F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



Obr. 2.6 [13].

■ G73 – cyklus vrtání s prodlevou

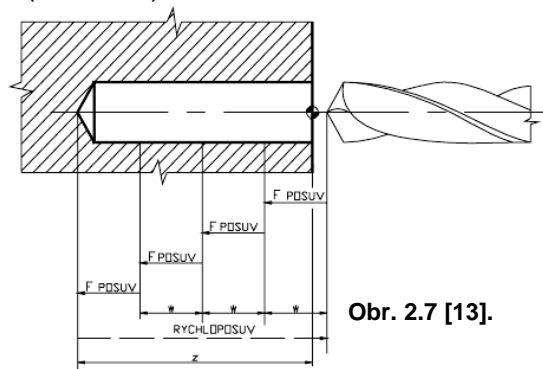
Cyklus se používá pro vrtání otvorů hloubky (**Z**), s posuvem vrtáku (**F**). Po odvrtání hloubky otvoru dané adresou (**W**) následuje krátká prodleva posuvu, čímž dojde k přerušení třísky. Toto se opakuje až do dosažení hloubky otvoru (**Z**). Poté se nástroj vrátí do výchozí polohy rychloposuvem (Obr. 2.7).

N10 G73 Z.. W.. F..

Z...hloubka vrtaného otvoru

W...délka dráhy nástroje do krátké časové prodlevy

F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



Obr. 2.7 [13].

■ G78 – cyklus řezání závitu s kolmým přísuvem

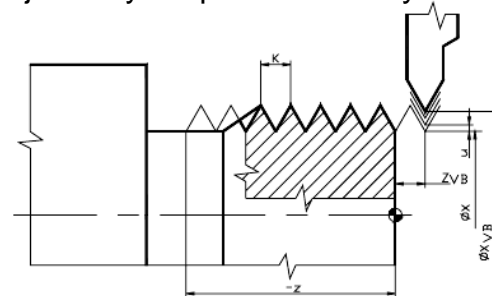
Cyklus se používá při soustružení závitů v délce dané adresou (**Z**), se stoupáním (**K**). V adrese (**X**) se uvádí malý průměr závitu (u vnitřních závitů se udává velký průměr závitu), adresa (**U**) určuje hloubka třísky. Přisuv nástroje je kolmo na osu rotace obrobku. Po vysoustružení závitu se nástroj vrátí rychloposuvem do výchozí polohy (Obr. 2.8)

N10 G78 X.. Z.. U.. K..

X...malý (velký) průměr závitu

Z...délka závitu

U...hloubka třísky, K...stoupání závitu [13]



Obr. 2.8 [13].

■ **G79** – cyklus řezání závitu se šikmým přísuvem

Cyklus se používá při soustružení závitů v délce dané adresou (**Z**), se stoupáním (**K**). V adrese (**X**) se uvádí malý průměr závitu (při obrábění vnitřních závitů se uvádí velký průměr závitu), adresa (**U**) udává hloubku třísky. Přísuvs nástroje je šikmo, po boční ploše závitu. Po vysoustružení závitu se nástroj vrátí rychloposuvem do výchozí polohy (Obr. 2.9).

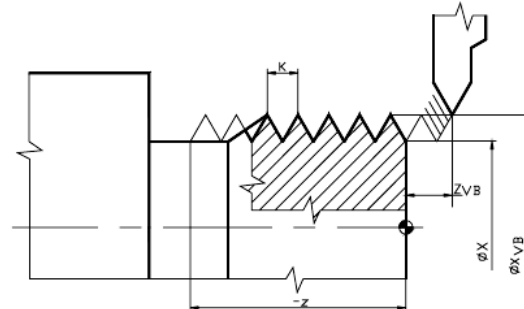
N10 G79 X.. Z.. U.. K..

X...malý (velký) průměr závitu

Z...délka závitu

U...hloubka třísky

K...stoupání závitu [13]



Obr. 2.9 [13].

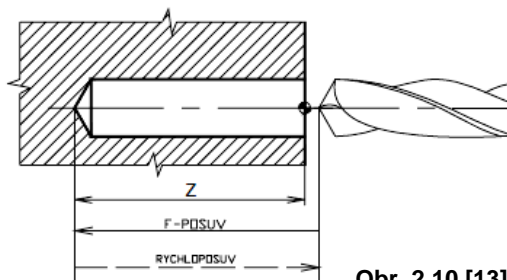
■ **G81** – cyklus vrtání

Cyklus se používá pro vrtání otvoru hloubky (**Z**), s posuvem vrtáku (**F**). Po dosažení hloubky otvoru (**Z**) se nástroj vrátí do výchozí polohy rychloposuvem (Obr. 2.10).

N10 G81 Z.. F..

Z...hloubka vrtaného otvoru

F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



Obr. 2.10 [13].

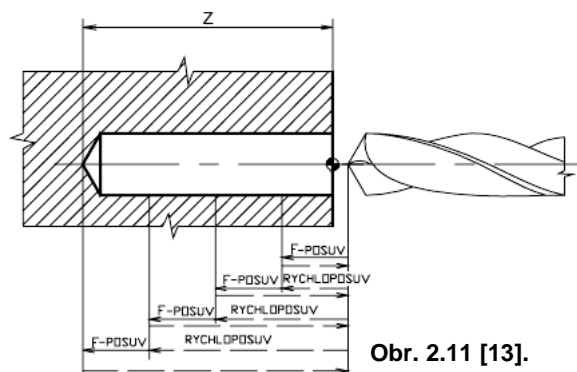
■ **G83** – cyklus vrtání s výplachem třísky

Cyklus se používá pro vrtání hlubokých otvorů hloubky (**Z**), s posuvem vrtáku (**F**). Po odvrtání hloubky otvoru dané adresou (**W**) nástroj vyjede do výchozí polohy rychloposuvem pro odstranění třísek a rychloposuvem opět vrátí na vrtanou hloubku a pokračuje pracovním posuvem na hloubku (**W**). Toto se opakuje až na hloubku otvoru (**Z**) (Obr. 2.11).

N10 G83 Z.. F..

Z...hloubka vrtaného otvoru

F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



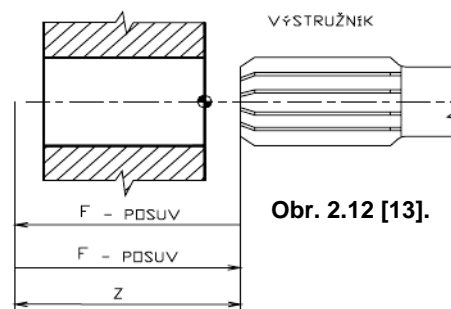
Obr. 2.11 [13].

■ G85 – cyklus vystružování

Cyklus se používá pro vystružování otvorů hloubky (**Z**). Nástroj se pohybuje pracovním posuvem (**F**) při vystružování i zpětném pohybu do výchozí pozice (Obr. 2.12).

N10 G85 Z... F...

Z...dráha nástroje při vystružování otvoru
F...velikost pracovní rychlosti nástroje (mm/min) [13]



Obr. 2.12 [13].

PODPROGRAMY

■ G25 – skok do podprogramu

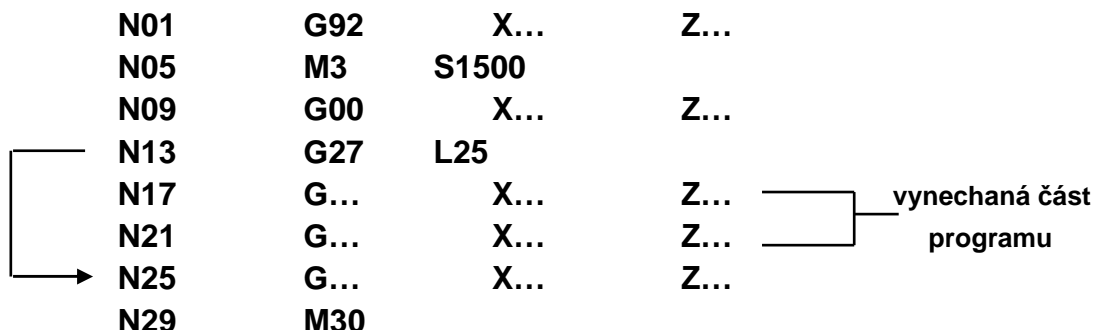
Funkce způsobí skok do podprogramu na číslo bloku uvedené v adrese (**L**). Podprogram se ukončí funkcí **M17**. Řídicí systém se vrátí do hlavního programu na blok, který následuje za blokem, z něhož byl skok do podprogramu realizován. Z podprogramu je možný skok do dalšího tzv. vnořeného podprogramu. Struktura programu s vnořenými podprogramy je složitá a její využití není příliš běžné. [13]

■ G26 – programový cyklus

Funkce způsobí skok v programu na číslo bloku uvedené v adrese (**L**). Po vykonání podprogramu a jeho ukončení funkcí **M17** se podprogram opakuje s počtem opakování daným adresou (**H**). [13]

■ G27 – programový skok

Funkce způsobí skok v programu na číslo bloku uvedené v adrese (**L**). Tím můžeme libovolnou část programu vynechat. Naprogramujeme-li skok na předcházející blok, vytvoříme nekonečnou uzavřenou smyčku a program se pak nekonečně opakuje až do přerušení.[13]



3 NÁVRH CNC TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ ZADANÉHO HŘÍDELE

3.1 Výrobní podmínky – členění výrobních operací

Základní tvar hřídelové součásti je oboustranně osazen a bude se po zarovnání čelních ploch a navrtání středících důlků vyrábět soustružením, způsob upnutí do sklíčidla s oporou hrotu. [5] Součást se bude vyrábět na dvě upnutí.

Součást bude vyráběna v dvanácti operacích včetně dílenských kontrol.

- řezat na délku s přídavkem pro opracování čel
- zarovnat čela a navrtat středící důlky
- soustružit stranu 1: tvar na čisto s přídavkem pro broušení, soustružit vnější závit, vrtat otvor v ose rotace pro mazací drážku, vrtat otvor pro vnitřní závit M8, řezat vnitřní závit M8
- soustružit stranu 2: tvar na čisto s přídavkem pro broušení, soustružit vnější závit
- frézovat drážky pro pera, vrtat mazací otvor $\phi 5$
- cementovat, kalit
- brousit povrch
- frézovat drážku 7 +0,2 +0,1

Operace 0 – Řezání

Pro operaci řezání je k dispozici poloautomatická pásová pila s hydraulickým podáváním 240x280 SHI-R-F Pegas Gonda. Řezná rychlost – plynule nastavitelná 20 až 100 m.min⁻¹.

Operace 1 – Zarovnání čel a navrtání středících důlků

Zarovnání čel, navrtání středících důlků a přesoustružení pomocného průměru pro upínání je k dispozici konvenční soustruh SV 18 RA.

Operace 3 a 5 – CNC soustružení

Hřídelová součást bude soustružena na dvě upnutí, na CNC soustruhu SF 40S.

Operace 7 a 12 – Frézování a vrtání

Pro frézování je určena konzolová frézka FGS 32/40. Součást se upne do samostředícího svěráku. V páté operaci: frézování drážka pro pero 6 P9 v délce 22 mm do hloubky 3,6 mm, drážka pro pero 8P9 v délce 35 mm do hloubky 4,1 mm. V osmé operaci frézujeme drážku 7 +0,2 +0,1.

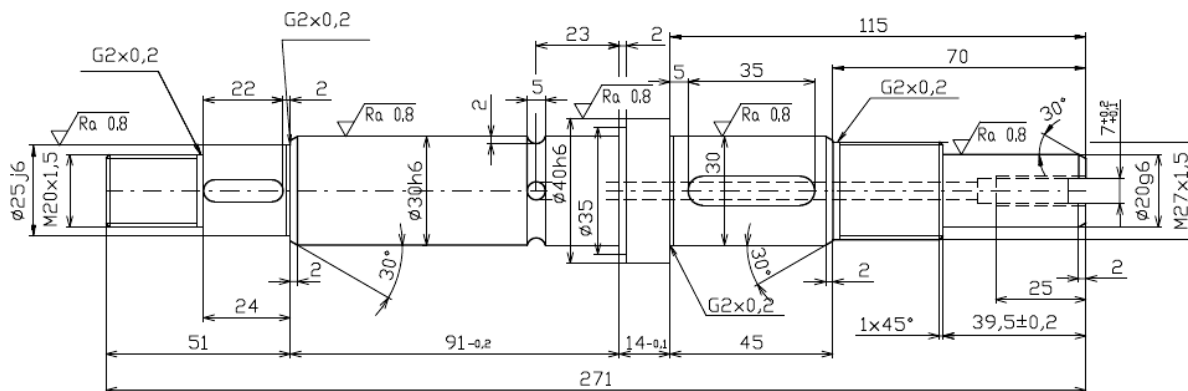
Operace 9 – tepelné zpracování - cementování do hloubky 0,6 mm a kalení

Operace 10 – Broušení

Broušení bude provedeno na hrotové brusce BA 25/630. Technologickou základnou jsou středící důlky. Součást se upíná mezi hroty. Brousí se pět válcových ploch na předepsané tolerance a strukturu povrchu.

3.1.1 Vyráběná součást

Výrobkem je hřídelová součást což znamená, že jde o rotační součást větší štíhlosti, tj. rozměry délky k největšímu průměru součásti jsou více než trojnásobné. Tento druh součásti se vyznačuje tím, že musí být ve všech operacích upnut na obou koncích nebo alespoň opřen hrotem koníka. [5]



Obr. 3.1 HŘÍDEL.

Technologičnost konstrukce součásti

Rozměrové a geometrické tolerance součásti (Obr. 3.1) jsou předepsány tak, aby splňovali požadovanou funkci a vyměnitelnost součásti. Rovněž volba materiálu, rozměry součásti a struktura povrchu jsou navrženy se stejným cílem. Cílem, který se snoubí s ekonomickou výhodnou výrobou a jednoduchou montáží.

Výkres součásti je v příloze č. 1


3.1.2 Obráběcí stroje

Pro kompletní výrobu součásti byly navrženy obráběcí stroje, které jsou u uživatele k dispozici. Jsou to: pásová pila, uvedená v tabulce 3.1, CNC soustruh (Tab. 3.2), hrotový soustruh (Tab. 3.3), konzolová frézka (Tab. 3.4) a bruska na kulato (Tab. 3.5).


Tab. 3.1.

Název stroje:	Pásová pila	Výrobce:	PEGAS GONDA	Třídící číslo
Typ stroje:	240x280 SHI-R-F			05967
Technická data:	Nejmenší odřezek: 3 mm; Nejmenší dělitelný průměr: 5 mm Nejmenší zbytek při jednom řezu: 30 mm Řezná rychlost – plynule nastavitelná: 20-100 m.min ⁻¹ Rozměr pilového pásu: 2980x27x0,9 mm Elektrické zapojení: 3x400V, 50 Hz Celkový příkon: 3,0 kW			
Hmotnost:	430kg	Rozměry:	1950 x 1050 x 1920 mm	

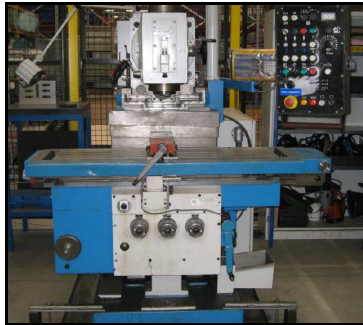
Tab. 3.2.

Název stroje:	CNC SOUSTRUH	Výrobce:	Třídící číslo
Typ stroje:	SF 40 S CNC		34441
Technická data: Řídicí systém SINUMERIC, hydraulická univerzální hlava, mechanický podavač materiálu Oběžný průměr nad ložem: 400 mm Oběžný průměr nad suportem: 200 mm Točný průměr: 340 mm Točná délka: 750 mm Rychloposuv osy X: 5 m/min Rychloposuv osy Y: 8 m/min Přesnost – polohování X, Z: IT6/IT7 mm Průměr pinoly koníku: 55 mm Kužel pinoly koníku: Morse 4 Vysunutí pinoly koníku: 140 mm			
		Hmotnost: 1990 Kg Rozměry: 1360 x 1510 mm	

Tab. 3.3.

Název stroje:	HROTOVÝ SOUSTRUH	Výrobce:	TOS	Třídící číslo
Typ stroje:	SV 18 RA			04124
Technická data: Oběžný průměr nad ložem: 380 mm Vzdálenost mezi hroty : 1250 mm Vrtání vřetena 41 mm Točná délka: 750 mm rozsah otáček 14-2800 ot/min příkon 6 kW Hmotnost: 1850 Kg Rozměry: 3020 x 950 mm				

Tab. 3.4.

Název stroje:	KONZOLOVÁ FRÉZKA	Výrobce:	TOS	Třídící číslo
Typ stroje:	FGS 32/40			05211
Technická data: Délka pracovní plochy stolu : 1400 mm Šířka pracovní plochy stolu : 400 mm Upínací rozměr stolu : 400 x 1400 mm Podélný posuv (X) : 1000 mm Svislý posuv (Z) : 450 mm Příčný posuv (Y) : 400 mm Výkon hlavního elektromotoru : 11 kW Hmotnost: 4400Kg Rozměry: 3715x3315x2685mm				

Tab. 3.5.

Název stroje:	BRUSKA NA KULATO	Výrobce:	TOS	Třídící číslo
Typ stroje:	BA 25/630			05511
Technická data:				
Brusný kotouč pr.750 mm, š-230mm, díra 305 mm Celkový příkon: 18kW				

3.1.3 Nástroje

Operace 1 – Navrtání středících důlků - byl vybrán středící vrták A4 ČSN 22 11 10 od společnosti M&V, viz obr. číslo 2.



Obr. 3.2 [15].

Operace 2 - 4 – Soustružení

Pro operaci soustružení jsou dostupné soustružnické nože od firmy Pramet Tools.

Hrubovat zprava

Stranový nůž ubírací pravý $\kappa_r = 95^\circ$

Nástrojový držák PCLNR 2525 M 12

Vyměnitelná břitová destička CNMG 12 04 08 EM 6630

Rozměry nástroje: poloměr špičky nástroje $r_\epsilon = 0,8 \text{ mm}$

nástrojový úhel sklonu hlavního ostří $\kappa_r = 95^\circ$

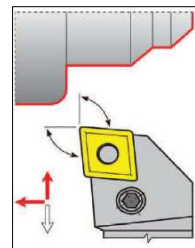
nástrojový úhel sklonu vedlejšího ostří $\kappa_r' = 5^\circ$

Doporučené řezné podmínky: řezná rychlost $v_c = (170 \div 250) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv $f = (0,2 \div 0,5) \text{ mm}$

šířka záběru ostří $a_p = (1 \div 5) \text{ mm}$

Doporučené použití: základní utvařeč – oboustranný – první volba pro polohrubovací a lehčí hrubovací soustružení ocelí, korozivzdorných, ale také litiny. Univerzální utvařeče se širokým funkčním rozsahem.



Obr. 3.2 [16].

Soustružit načisto zprava

Stranový nůž dokončovací pravý

Nástrojový držák MVJNR 2020 K 16-A

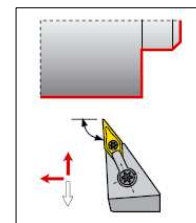
Vyměnitelná břitová destička VNMG 160404E-FF 8016

Rozměry nástroje: poloměr špičky nástroje $r_\epsilon = 0,4 \text{ mm}$

Doporučené řezné podmínky: řezná rychlost $v_c = (235 \div 260) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv $f = (0,06 \div 0,2) \text{ mm}$

šířka záběru ostří $a_p = (0,4 \div 1,5) \text{ mm}$



Obr. 3.4 [16].

Soustružit závit

Pravý nůž na soustružení vnějších závitů

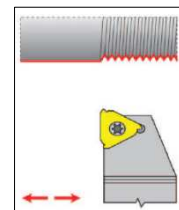
Nožový držák SER 2525 M16

Vyměnitelná břitová destička TN 16 ER 150M 8030

Rozměry nástroje: poloměr špičky nástroje $r_\epsilon = 0,8 \text{ mm}$

Doporučené řezné podmínky: řezná rychlost $v_c = (100 \div 150) \text{ m.min}^{-1}$ Obr. 3.3 [16].

Doporučené použití: Jemné, dokončovací a polohrubovací soustružení běžných, žárovevých a žáruvzdorných ocelí. Dále pak soustružení slitin Al a Cu a také litiny s nižšími řeznými rychlostmi.



Operace 5 a 8 – Frézování drážek

Nástroje pro operaci frézování drážek byly vybrány od firmy ZPS-FN a.s. Jedná se celkem o tři druhy fréz:

- Fréza stopková pro drážky per krátká nesouměrná 6x6x8x52, ČSN 222192
- Fréza stopková pro drážky per krátká nesouměrná 7x10x10x60, ČSN 222192
- Fréza stopková pro drážky per krátká nesouměrná 8x10x11x61, ČSN 222192

Operace 7 – Broušení

Pro broušení je k dispozici od obchodní společnosti M&V brousící kotouč plochý ČSN 22 45.

Operace 3 a 5 – Vrtání a řezání vnitřního závitu

Pro tyto operace jsou k dispozici:

- Strojní závitník M8 DIN 353
- Vrták $\phi 5$ extra dlouhý DIN 1869
- Vrták $\phi 5$ DIN 338
- Vrták $\phi 6.8$ DIN 338

3.2 Rámcový technologický postup

Rámcový technologický postup shrnuje všechny potřebné údaje ke zhotovení součásti. V postupu jsou zakotveny informace o názvech a třídících číslech strojů, popisy prací v jednotlivých operacích, výrobní pomůcky, měřidla atd. Rámcový technologický postup je v příloze číslo 2.

3.3 CNC program zadaného hřídele

Zpracování CNC programu je v příloze číslo 3 pro jednu stranu hřídele a v příloze číslo 4 pro druhou stranu hřídele.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla vypracována studie CNC technologie obrábění, která se skládá ze tří témat.

Technologická charakteristika CNC obráběcích strojů úvodní téma, ve kterém byly popsány hlavní znaky moderních obráběcích strojů, kterými jsou: automatické řízení strojů pomocí programů, přesnost a konstrukce obráběcích strojů a směry vývoje.

Ve druhém tématu se bakalářská práce zabývá programováním pro soustružnické obráběcí CNC stroje. Zde je uvedena základní skladba programu (program se skládá z jednotlivých kroků či bloků) a nejdůležitější adresové znaky, pomocné funkce, cykly a podprogramy.

Třetí téma plynule navazuje na předchozí kapitoly a řeší návrh konkrétní výroby zadaného hřídele v daných podmínkách výrobního závodu. Byl vypracován technologický postup, navrženo pět obráběcích strojů. Hlavní výroba proběhne na CNC soustruhu typu SF 40 S CNC. Pro daný stroj byl vypracován CNC program.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
3. MAREK, Jiří a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
4. BUMBÁLEK, B., PROKOP, J. Vysoce přesné metody obrábění. BRNO 2014 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z WWW: <http://cpoint.fme.vutbr.cz/akceúkurzy/Bumbalek_Prokop_15_stran.pdf>
5. VYMER, Jiří. *Technologická cvičení*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1985. 56s.
6. PAGÁČ, M., Kontrola technické diagnostiky CNC obráběcího stroje. 2013. [vid. 2014-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.prumysl.cz/obrabeci-stroje-kontrola-technicke-diagnostiky-cnc-obrabeciho-stroje>>
7. BRYCHTA, J., ČEP, R., PETRŮ, J., Výrobní stroje obráběcí. Ostrava 2012 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.346.vsb.cz/VSO.pdf>>
8. ASTOS MACHYNERY. Dopravníkové systémy k CNC strojům. [on line]. [vid. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.astos.cz/dopravniky-trisek>>
9. HEINNLICH. Lineární vedení a kuličkové šrouby. [online]. [vid. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://lin-tech.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-a-kulickove-srouby-s-kulickovym-retezem-1189/typ-hbn.html>>
10. HEINNLICH. Motory a pohony. [online]. [vid. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://lin-tech.hennlich.cz/produkty/motory-a-pohony-linesrni-motory-3034/valcove-linearni-motory.html>>
11. SVOBODA, O., Rozvoj automatizace v oblasti obráběcích strojů? Kód článku: 110447. Vyšlo v MM: 2011. [online]. [vid. 2014-05-05]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-automatizace-v-oblasti-obrabecich-stroju.html>>
12. KELLER, P., Programování a řízení CNC strojů. Liberec 2005. [online]. [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf>
13. CHUDOBA, M., Základy programování a obsluha CNC strojů. [online]. [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www2.sps-jia.cz/~hill/zakl_progr.pdf>
14. Optimální řezné úhly soustružnických nožů. Březen 11, 2011. [online]. [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <<http://www.tumlikovo.cz/rubriky/nastroje/nuz-soustr/soustruznicke-noze-obecne>>
15. Vrták středící 60° [online]. 2014 [vid. 2014-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://katalog.mav.cz/detail.php?id=20756>>
16. Katalog soustružení 2014 [online]. [vid. 2014-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning>>
17. HUMÁR, A., Technologie 1 – Technologie obrábění – 1. část. [online]. 2003. [vid. 2014-03-30]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CBN	kubický nitrid bóru	
CNC	číslicové řízení počítačem	Computer Numeric Control
HPC	růst řezných výkonů	High Performance Cutting
HSC	vysokorychlostní obrábění	High Speed Cutting
PCD	polykrystalický diamant	
RO	rychlořezná ocel	
SK	slinutý karbid	
a_p	šířka záběru ostří	[mm]
f	posuv	[mm]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
α	nástrojový úhel hřbetu	[°]
γ	nástrojový úhel čela	[°]
κ_r	nástrojový úhel sklonu hlavního ostří	[°]

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1. – Technický výkres součásti Hřidel
- Příloha č. 2. – Technologický postup součásti Hřidel
- Příloha č. 3. – CNC program součásti Hřidel strana 1
- Příloha č. 4. – CNC program součásti Hřidel strana 2