

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝVOJOVÉ ETAPY V CNC OBRÁBĚNÍ

DEVELOPMENT STAGES IN CNC MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Dlouhý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vít Dlouhý**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2017/18

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:

Vývojové etapy v CNC obrábění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše zachycující všeobecný pohled na vývoj a stav obráběcích procesů z hlediska technické úrovně té které doby.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristiky obráběcích procesů
- Obrábění na univerzálních strojích
- Vstup digitální techniky do oblasti obrábění
- Možnosti současných CNC strojů
- Vzorová ukázka obrábění

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 10. 2017

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá obráběním s využitím CNC strojů. V úvodní části je nastíněn stručný historický vývoj těchto obráběcích strojů. Dále jsou uvedené charakteristiky související s obráběcími procesy. V další kapitole je popsáno obrábění na klasických konvenčních obráběcích strojích. Následuje vstup výpočetní techniky do oblasti obrábění a její dopady. Poslední teoretická kapitola shrnuje možnosti současných CNC obráběcích strojů. V závěrečné části je popis výroby vybrané rotační součásti vyrobené pomocí CNC soustruhu.

Klíčová slova

technologie CNC obrábění, obráběcí stroje, obrobek, řezný nástroj, NC program

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with machining with the use of CNC machines. In the introductory part is outlined a brief historical development of these machines. The following are characteristics associated with machining processes. In the next chapter it is described for machining on the classic conventional machine tools. Followed by the entry of computer technology into the field of machining and its impact. The last theoretical chapter summarizes the capabilities of the current machines CNC machine tools. In the final part is a description of the production of the selected rotational components produced by using CNC lathe.

Key words

technology of CNC machining, machine tools, workpiece, cutting tool, NC program

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DLOUHÝ, V. *Vývojové etapy v CNC obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 49 s, 11 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vývojové etapy v CNC obrábění vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Vít Dlouhý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Děkuji také své rodinně za podporu při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 HISTORIE (C)NC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	10
2 CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚCÍCH PROCESŮ.....	12
2.1 Obrobek.....	12
2.2 Řezný nástroj	13
2.3 Tvorba a druhy třísek	13
2.4 Pohyby při obráběcích procesech	14
2.5 Teploty během obráběcího procesu	14
2.6 Řezné prostředí.....	15
2.7 Nástrojové materiály.....	15
2.7.1 Nástrojová ocel (NO).....	15
2.7.2 Slinuté karbidy (SK)	16
2.7.3 Cermety	17
2.7.4 Řezná keramika	17
2.7.5 Supertvrde nástrojové materiály	17
2.8 Opotřebenění a trvanlivost břítu nástroje.....	17
3 OBRÁBĚNÍ NA UNIVERZÁLNÍCH STROJÍCH	18
3.1 Konstrukce	18
3.2 Požadavky na obráběcí stroj	19
3.3 Volba obráběcího stroje	19
3.4 Soustružení	20
3.4.1 Soustružnické nástroje.....	20
3.4.2 Soustruhy.....	21
3.4.3 Upínání obrobků	21
3.5 Frézování	22
3.5.1 Frézovací nástroje	22
3.5.2 Frézky	23
3.5.3 Upínání obrobků	23
4 VSTUP DIGITÁLNÍ TECHNIKY DO OBLASTI OBRÁBĚNÍ.....	24
4.1 Automatizace.....	24

4.2	Programovatelné automaty	24
4.3	Znaky CNC strojů	25
4.4	Souřadnicový systém	26
4.5	Korekce nástrojů	27
4.6	Struktura programů	28
4.6.1	Způsoby programování	29
4.6.2	Používané interpolace.....	29
4.6.3	Obráběcí cykly	29
5	MOŽNOSTI SOUČASNÝCH CNC STROJŮ	30
5.1	Rozdělení CNC obráběcích strojů	30
5.1.1	Obráběcí centra	30
5.2	Požadavku kladené na CNC obráběcí stroje.....	31
5.3	Konstrukční části CNC strojů.....	31
5.4	Preferované řídicí systémy	34
5.5	Využití aplikací CAD/CAM v oblasti obrábění.....	34
5.6	Vysokorychlostní obrábění (HSC)	34
6	VZOROVÁ UKÁZKA OBRÁBĚNÍ	35
6.1	Výchozí polotovary	36
6.2	Volba stroje	36
6.3	Výrobní postup	38
6.4	Použité nástroje při obrábění.....	39
6.5	Kontrola a vyhodnocení funkčních rozměrů	39
6.6	Zhodnocení	40
7	DISKUZE	42
	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	44
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
	SEZNAM PŘÍLOH	49

ÚVOD

Technologie obrábění s využitím CNC obráběcích strojů (číslicové řízení počítačem) se řadí mezi jednu z nejrozšířenějších technologií ve strojírenském průmyslu. Zřejmě každý člověk technického zaměření se s ní již osobně setkal, případně má své zkušenosti. Obrábění je technologický proces, při kterém se vytváří požadované rozměry a tvary obráběného objektu (obrobku). Snaha tento proces zefektivnit, zkvalitnit a především automatizovat vedla cestou vývoje v několika vývojových etapách, od prvotních krůčků průmyslové revoluce, s následným příchodem automatizace, přes počátky číslicového řízení v polovině minulého století, k dnešní podobě moderních CNC obráběcích strojů a center, které jsou dnes relativně snadno dostupné a vyskytují se ve velkém měřítku ve strojírenském průmyslu.

CNC obráběcí stroje mají určité výhody oproti klasickému obráběcímu stroji (bez řídicího systému). Náklady na pořízení, nákladnější servis, složitější technologická příprava, kvalifikace pracovníků zajišťující seřízení a servis, to jsou stinné stránky, nicméně univerzálnost, produktivita, pružnost výroby, přesnost a automatizovaná výroba převažují dané nevýhody. Tyto stroje jsou zejména vhodné pro výrobu sérií a hromadnou výrobu, nebo pro kusovou výrobu tvarově složitých součástí. Nicméně i přes neustálý vývoj a pokroky v technologii obrábění za využití CNC strojů svou roli nadále hraje lidský faktor. Je proto nutno využít jak potenciálu stroje, tak i pracovníků, kteří s těmito stroji operují.

V současnosti existuje řada výrobců a typů moderních obráběcích CNC strojů, například DMG Mori (dříve Mori Seiki), Okuma, Doosan, Nakamura-Tome Precision Industry, Kovosvit a další. Tyto stroje používají různé řídicí systémy. Výhodná je možnost využití počítačové podpory (CAD/CAM aplikace). Na výběr je značný sortiment nástrojů a způsobů upínání pro tyto CNC stroje. Důležitá je optimalizace řezných podmínek a správný výběr nástrojového materiálu dle druhu obráběného materiálu pro minimalizaci výrobních nákladů. Využívají se jak nástroje z rychlořezné oceli (RO), tak i slinuté karbidy (SK) s různými typy povlaků pro různé aplikace, dále řezná keramika či polykrystalický diamant.



Obr. 1 Pohled na CNC soustruh Nakamura Tome WT100.

1 HISTORIE (C)NC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Obrábění kovů pomocí prvních obráběcích strojů je poměrně nedávná historie. Do 19. století se kovy zpracovávaly především pomocí kovářských prací. Rozvoj nastal při využití mechanického pohonu, následně parního stroje. Prvním krokem byla průmyslová revoluce z 18. a 19. století. Zde lze nalézt prvotní myšlenky metody třískového obrábění, která byla základním stavebním kamenem pro pozdější teorii (C)NC obrábění. Je vhodné zmínit významné osobnosti, jako byl francouzský inženýr Henri Tresca, nebo americký strojní inženýr Frederick Taylor. Až počátkem 20. století se začínají do procesu třískového obrábění aplikovat prvky řízení a automatizace [1, 2].

Počátky NC strojů (číslicově řízené stroje) sahají do 50. let minulého století, krátce po skončení druhé světové války. Impulzem byl požadavek letectva Spojených států pro výrobu přesnějších a komplexnějších součástí pro letecký průmysl. Společnost Parsons Corporation, jež se zabývala řídicím systémem, ve spolupráci s MIT (Massachusettský technologický institut) vyvinula experimentální frézku. V roce 1952 tak byl vytvořen první tříosý číslicově řízený stoj. Jako vstupní medium byla použita předvrtaná páska. Pro zajištění kontroly byl přidán zpětnovazební systém. Do roku 1953 bylo shromážděno dostatečné množství údajů prostřednictvím aplikačních studií, které poukazovaly na praktické možnosti vznikající technologie. Bylo vytvořeno základní schéma, které využívají i dnešní CNC stroje. Ty vyžadují příkazovou funkci, systém pohonu a zpětnovazební systém. První NC stroje byly spíše upravené konvenční stroje doplněné řídicím systémem na principu vakuových lamp. Řídicí systém obsahuje snímač programu a logické obvody, které převádí data z programu na impulsy potřebné pro řízení jednotlivých částí stroje, či nástroje. Příkazy byly uloženy na dřevěném štítku nebo na magnetické pásce. Začíná se uplatňovat systém stavění souřadnic, tedy pravoúhlého řízení. Jako pohony byly použity nejprve hydraulické a posléze elektrické servomotory. V tomto období se formoval G-kód, tedy univerzální jazyk pro programování CNC strojů. Jeho původ pochází opět z MIT kolem roku 1958 (společnost Electronic Industry Alliance částečně standardizovala G-kód v počátku 60. let) [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

První obráběcí centrum vybudované v 60. letech využívá tranzistorové NC systémy (Kerney and Trecker), nicméně se následně poprvé NC systémy propojí pomocí integrovaných obvodů a využívají přitom parabolické nebo splineové interpolace. Využívají se elektrohydraulické a elektro-krokové motory. Dochází ke vzniku prvních linek s využitím NC strojů. Svou stopu v tomto období zde zanechala významná německá společnost Siemens, která uvedla na trh číslicové řízení založené na relé (později Sinumerik). Dalším významnou společností je též německá firma, konkrétně se jedná o firmu Heidenhein – výrobce řízení a pohonů pro obráběcí stroje [2, 5, 9].

V 70. letech se začíná aplikovat kuličkové, valivé a hydrostatické vedení. NC systémy jsou doplněny o možnost editace programů a využití pružného výrobního systému. Dochází k využití dotykových sond pro měření a řízení rozměrů. Do strojů jsou zabudovány první počítače, které řídí výrobní proces. Počítačová obrazovka je využita k indikaci programu. Klávesnice slouží k zadávání dat a řízení stroje. Počítač umožnil nejen uložení většího množství programů, ale i možnost grafické simulace pro kontrolu před obráběcím procesem. Zde započal zrod nové metody obrábění, obrábění za pomoci CNC strojů [2, 5, 6, 9].

V průběhu 80. let se aplikují senzory pro identifikaci a sledování pohybu. Stroje jsou opatřeny jednoduchými zásobníky nástrojů a obrobků. Požadavkem byl minimální zásah člověka do výrobního procesu a co nejkratší časy výroby. Rozvoj počítačové techniky se do vývoje technologie CNC obrábění značně promítl. Jsou aplikovány CNC/PLC řídicí systémy multiprocessorových mikropočítačových struktur. V tomto období došlo k výraznějšímu prosazení soustružnických a frézovacích center v technologii třískového obrábění [2, 5, 8, 9].

Koncem 20. století dochází k zpřesňování výroby, včetně větší otevřenosti, pružnosti a dostupnosti CNC systémů. Stroje jsou vybaveny velkokapacitními zásobníky, včetně mezioperační dopravy nástrojů i obrobků. Jsou využita integrovaná vysokootáčková vřetena s aplikací lineárních motorů. CNC systémy mají již otevřenou architekturu a integrované CAD/CAM systémy. Současně se kladou větší nároky na operátory a programátory těchto strojů. V roce 1996 firma Siemens uvádí na trh Sinumerik, tedy první CNC systém se zabudovanými bezpečnostními funkcemi [2, 5, 9].

Současné obráběcí CNC stroje se konstrukcí podobají svým předchůdcům, ale podstatně se odlišují technologickými parametry. V současnosti stále neustává vývoj CNC strojů a jejich systému řízení. Pozornost se věnuje synchronizaci hardware a software, integrace CAD/CAM systému do CNC, tedy zdokonalováním DNC řízení, či zvýšení produktivity a efektivnější řízení včetně využití umělé inteligence. Historický generační vývoj jednotlivých etap CNC obráběcích strojů je uveden v příloze 1 [2, 5, 8].

2 CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚCÍCH PROCESŮ

Technologie obrábění se zabývá souvislostmi a faktory obráběcího procesu. Jedná se o důležitou část strojírenské technologie při zpracování hutních polotovarů. Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu silovým působením řezného nástroje ve tvaru klínu. Proces fyzikálně-mechanického oddělování částic materiálu se označuje jako řezný proces. Objektem obráběcího procesu je obrobek, výstupem jsou vzniklé obrobené plochy. Obráběcí proces je realizován v soustavě skládající se z obráběcího stroje, řezného nástroje, obrobku a přípravku. Proces lze realizovat jako ortogonální nebo obecné řezání. Při ortogonálním (volném) řezání je ostří kolmé ke směru řezného pohybu (zapichování, frézování s přímými zuby, hoblování). U obecného (vázaného) řezání jde o problematiku v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování se zuby ve šroubovici). Vhodnější podmínky jsou při volném řezu [11, 12, 13, 14].

2.1 Obrobek

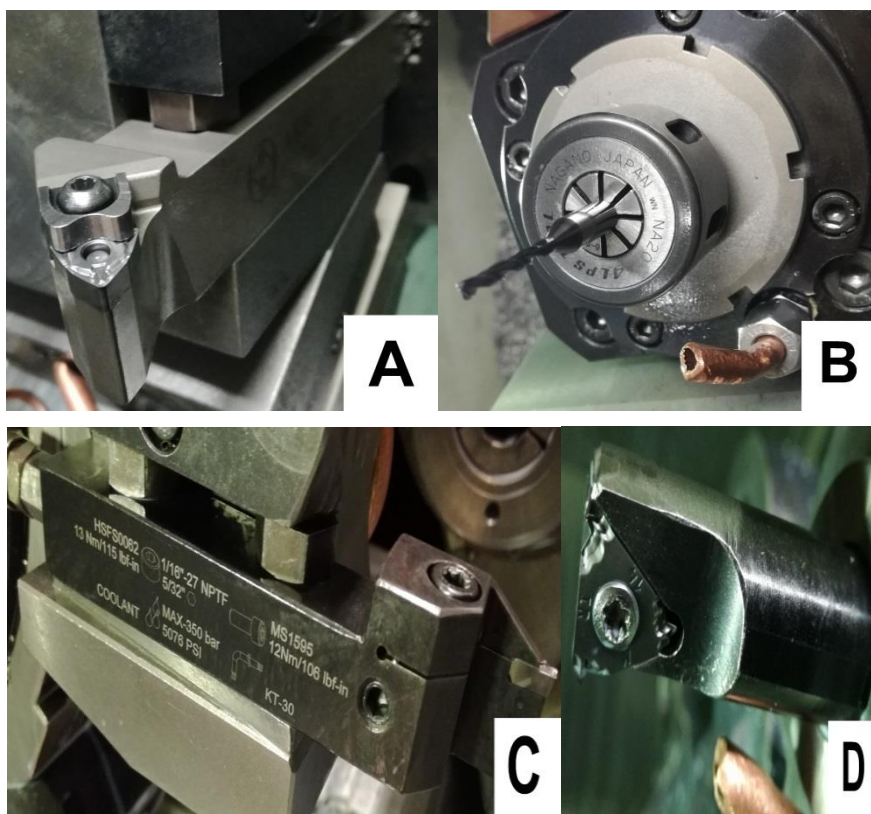
Obrobkem je nazýván objekt obráběcího procesu, z geometrického hlediska je charakterizován obráběnou plochou, obrobenou a přechodovou plochou. Objekt určený k obrábění se nazývá polotovar. Popis jednotlivých ploch obsahuje příloha 2. Technologická vlastnost materiálu obrobku určující vhodnost k obrábění se nazývá *obrobitelnost*. Jedná se o souhrnný vliv fyzikálně-mechanických vlastností včetně chemického složení materiálu a tepelného zpracování na výsledek procesu řezání. Lze ji definovat jako schopnost materiálu být zpracováván některou z metod obrábění za konkrétních pracovních podmínek. obrobitelnost se rozděluje do tříd obrobitelnosti (a-litiny, b-oceli, c-těžké neželezné kovy, d-lehké neželezné kovy). U ocelí se obrobitelnost určuje na základě metalurgického složení a mechanických vlastností [12, 13, 14, 15, 16, 17].



Obr. 2 Příklady obrobků.

2.2 Řezný nástroj

Řezný nástroj je aktivním prvkem a zároveň v kontaktu s obrobkem během obrábění a umožňuje realizaci řezného procesu. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami a ostřím. Řezná část (tedy břit) je ve tvaru klínu (funkční prvek) ohraničeného plochou čela, po kterém odchází tříška. Průsečnice ploch čela a hřbetu se nazývá ostří (hlavní a vedlejší). Osa nástroje je teoretická přímka, která prochází středovou čarou stopky, nebo upínací dírou. Část, za kterou je nástroj upnut, se nazývá stopka. Základna je plochý prvek stopky nástroje. Nejčastěji je nosná část u nožů pravoúhlé těleso čtvercového nebo obdélníkového průřezu, v případě rotačních nástrojů to je rotační nebo kuželový profil [11, 14, 15, 18].



Obr. 3 Některé řezné nástroje (a-soustružnický nůž s VBD, b-upnutý šroubovité vrták, c-zapichovací nůž s VBD, d-nástroj pro vnitřní soustružení závitů s VBD).

2.3 Tvorba a druhy třísek

Třísky jsou doprovodným produktem řezného procesu a jejich tvar je důležitý pro efektivní využití nástroje včetně dosažení požadované kvality povrchu. Tříška je odříznutá a deformovaná vrstva materiálu. Při řezném procesu dochází k intenzivní plastické deformaci podél roviny smykových napětí. Kořen třísky je oblast materiálu, kde dochází vlivem účinku řezného nástroje k přetváření na třísku a obsahuje tři oblasti plastické deformace (primární, sekundární, terciální). Při primární plastické deformaci dochází ke zpevnění a vyčerpání plasticity materiálu. Druh třísky je závislý na technologických parametrech (šířka záběru ostří, posuv na otáčku, řezná rychlost), pracovním prostředí a také na druhu obráběného materiálu (metalurgické složení). Typy třísek jsou: stužkové, vinuté, spirálové, obloukovité a elementární.

V automatickém cyklu je požadavkem elementární (drobivá) tříška kvůli lepšímu odcházení z místa tvorby a manipulaci. Pro vhodné dělení třísek se na čele výměnných břitových nástrojů aplikují utvařeče (lamače) třísek. Používají se tři základní druhy utvařeče (pro hrubování, střední hrubování, obrábění na čisto). Během obrábění houževnatých materiálů se může na břitu vytvářet nárůstek (částičky třísek). Ten má nepříznivý vliv na obráběný povrch. Eliminuje se zvýšením řezné rychlosti nebo zvětšením tloušťky třísky [12, 13, 16, 17, 19, 20].



Obr. 4 Ukázka dvou odlišných typů třísek (elementární a vinuté).

2.4 Pohyby při obráběcích procesech

Způsob obrábění je charakterizován druhem použitého nástroje a jeho pracovními pohyby. Rozlišuje se hlavní řezný pohyb a posuvový pohyb. *Hlavním řezným pohybem* dochází k odebírání třísky při jedné otáčce (případně zdvihem). Jedná se o pohyb mezi nástrojem a obrobkem za využití některého z obráběcích strojů. Při soustružení, vrtání a frézování je tento pohyb rotační. Řezná rychlost v_c je rychlost hlavního řezného pohybu. *Posuvným pohybem* se provádí proces obrábění během několika otáček (či zdvihů). Posuvový pohyb může být plynulý (soustružení, vrtání, frézování) nebo po krocích (obrážení, hoblování). Najížděním je nástroj s obrobkem přiveden do pracovní polohy (zakončené vzájemným kontaktem). *Přísuv* definuje šířku záběru nástroje a jde o vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. *Výsledný řezný pohyb* je geometrický součet hlavního pohybu a posuvového pohybu. Během soustružení, vrtání, frézování probíhá hlavní řezný pohyb a posuvný pohyb současně [13, 15, 19, 21, 22].

2.5 Teploty během obráběcího procesu

Při řezném procesu se převážná část mechanické energie přeměňuje na tepelnou energii. Vzniklé teplo má výrazný vliv na řezný proces. Konkrétně ovlivňuje mechanické vlastnosti, pěchování a zpevňování obráběného materiálu, podmínky tření a také negativně působí na řezné vlastnosti nástroje. Vzniklé teplo je odváděno třískou, nástrojem, obrobkem a řezným prostředím. Teplota má vliv na intenzitu otupování břitu. Nejvíce tepla je v oblasti primární plastické deformace, kde dochází k nejintenzivnějšímu opotřebení. Množství tepla je závislé na vlastnostech obráběného materiálu, geometrii zvoleného nástroje a řezných podmínkách. S rostoucí řeznou rychlostí klesá řezná síla, zároveň roste množství tření i práce.

Při zvýšení posuvové rychlosti a šířky záběru ostří roste množství tepla menším tempem než při zvyšování řezné rychlosti. V průběhu obrábění mohou teploty dosahovat i vysokých hodnot (přes 1000 °C) [12, 13, 15, 19].

2.6 Řezné prostředí

Toto prostředí tvořené řeznými médii (procesní kapaliny, plyny, mlhy) má značný vliv na parametry řezného procesu. Tato média mívají chladicí, mazací a čisticí účinek. Požadavkem je provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přijatelné provozní náklady. Účelem mazacího účinku je snížení tření, odvod tepla má za úkol chladicí účinek. Úkolem kapaliny je odplavování třísek z místa řezu pro zabránění ovlivňování průběhu procesu obrábění. Výsledkem je prodloužení trvanlivosti nástroje, zlepšení kvality obrobených ploch a možnost vyšších řezných rychlostí. U operace hrubování je vhodnější chladicí účinek, při dokončovacím obrábění je žádoucí mazací účinek pro zlepšení kvality povrchu. Běžně se při obrábění používají řezné emulze. Dalším používaným médiem jsou zušlechtné řezné oleje na bázi minerálních olejů. Na trhu je na výběr řada výrobců těchto řezných medií, například společnost Saptec, Quaker, Paramo a další. Způsoby přívodu řezné kapaliny do zóny řezání mají vliv na parametry řezného procesu. Standardní způsob zahrnuje nádrž na procesní kapalinu, čerpadlo a rozvodové potrubí. Jiným způsobem je využití tlakového chlazení. Vhodnou alternativou je vnitřní chlazení nástrojů, které umožní zvýšit řezné rychlosti. Procesní kapalina se v některých případech nevyužívá (suché obrábění). [12, 13, 17, 19].

2.7 Nástrojové materiály

Na řezné materiály se kladou specifické požadavky. Je důležité, aby nástrojový materiál měl tvrdost, pevnost v tlaku, houževnatost, odolnost vůči opotřebením a změnám teplot. Chemická stálost a řezivost (schopnost udržet ostrý břit při obrábění) patří také k základním požadavkům na nástrojový materiál. Dané vlastnosti si musí nástrojový materiál uchovat při vysokých teplotách po určitou dobu. Produktivita při obrábění je přímo úměrná typu řezného materiálu. Materiál s vyšší houževnatostí umožní využít vyšší posuvy, naopak větší odolnost otěru umožní větší řezné rychlosti. Mezi základní používané nástrojové materiály patří nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a další [12, 16, 17, 18, 19].

2.7.1 Nástrojová ocel (NO)

Tyto oceli se používají na ruční náradí a některé řezné nástroje. Nástrojové oceli se obecně dělí na nelegované, legované a vysokolegované oceli. Vysokolegované nástrojové oceli lze označovat jako RO (rychlořezná ocel) nebo HSS (high speed steel). Rychlořezné oceli mají dobrou houževnatost a odolnost proti adheznímu opotřebením. Bohužel při vyšších teplotách dochází ke ztrátě pevnosti. Použitím RO lze obrábět kovové i nekovové materiály, kromě tvrdých a abrazivních materiálů, krátkodobě snesou i vyšší teploty. Nevýhodou je nižší řezná rychlost. Avšak díky úpravě chemického složení, metalurgie, tepelného zpracování a povlakování se rychlořezné oceli v technické v praxi nadále vyskytují [13, 16, 18, 23].

Tab. 1 Přehled typů nástrojové oceli [13].

Oceli	Nelegované	Legované	Vysokolegované
Značení ČSN	19 0xx ÷ 19 2xx	19 3xx ÷ 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku	0,5 ÷ 1,5%	0,8 ÷ 1,2%	0,7 ÷ 1,3%
Obsah legujících prvků	< 1,0%	10 ÷ 15%	> 30%
Legující prvky	Mn, Si, Cr	Cr, W, V, Ni	W, Mo, Cr, Co

2.7.2 Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy jsou tvořeny tvrdými karbidovými částicemi v kovové vazbě. Historie tohoto nástrojového materiálu začala počátkem 20. století, kdy bylo zjištěno, že vlastnosti rychlořezných ocelí jsou dány přítomností tvrdých karbidických částic v kovové matici. Snaha zvýšit podíl těchto tvrdých částic vedla k vytvoření výrobní metody pojmenované prášková metalurgie. Základem je karbid wolframu a kubické karbidy v kobaltovém pojivu. Zpočátku byly destičky ze slinutých karbidů pájeny do ocelových držáků. Poté proběhla změna z pájeného spoje na mechanické upínání vyměnitelné břitové destičky, které dnes využívá většina nástrojů. Tato změna měla výrazný vliv na rozvoj geometrie nástroje, utvařeče třísky i na vývoj nástrojových materiálů. Následoval pokrok povlakovacích technologií. Na rozdíl od rychlořezné oceli je u slinutých karbidů možné volit podstatně vyšší řezné rychlosti. Nepovlakované slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou rozděleny do šesti skupin (P, K, M, N, S, H) pro různé výrobní účely, více informací v příloze 3. V současnosti je ale většina slinutých karbidů opatřena různými typy vícevrstvých povlaků pro specifické řezné aplikace a materiály, více v příloze 4. Stručná charakteristika základních metod povlakování se nachází v příloze 5 [13, 16, 19, 24].



Obr. 5 Ukázka břitových destiček ze slinutého karbidu.

2.7.3 Cermety

Název cermet vychází ze slov keramika (ceramic) a kov (metal). Cermet je karbid tvořený částicemi na bázi titanu v kovovém pojivu. Původně byly cermety složeny z karbidu titanu a niklu. Moderní cermety mají v základu částice karbonitridu titanu $Ti(C,N)$ společně s částicemi sekundárních tvrdých fází (titan, wolfram) a pojivo bohaté na kobalt. Karbonitrid titanu poskytne odolnost proti otěru, sekundární fáze zvýší odolnost proti plastické deformaci, podíl kobaltu ovlivní houževnatost. Při srovnání s běžnými slinutými karbidy má cermet větší odolnost vůči otěru a menší tendence k ulpívání obráběného materiálu na břitu. Negativem je nižší odolnost proti vzniku tepelných trhlin. Cermety lze povlakovat metodou PVD. Díky samoostřicí schopnosti jsou řezné síly relativně malé. Uplatnění je velmi univerzální, například od nízkouhlíkových a korozivzdorných ocelí až po legované oceli a litiny [16, 25, 26].

2.7.4 Řezná keramika

Jedná se o krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Keramické látky jsou vázány iontovými a kovalentními vazbami, obě se vyskytují současně. Typickým rysem je malý rozměr zrna, vysoká tvrdost, nízká houževnatost (zvýšená křehkost) a malá měrná hmotnost. Keramické materiály se využívají pro výrobu vyměnitelných břitových destiček řezných nástrojů. Používají se tři základní typy: oxidická keramika (čistá, polosměsná, směsná), nitridová a vyztužená. Nástroje z keramiky jsou tvrdší a odolnější vůči opotřebení než slinuté karbidy, současně jsou citlivé na namáhání rázem a v ohybu. Řezná keramika se především aplikuje při obrábění oceli, šedé litiny, tvrzené litiny a kalené oceli [13, 16, 19].

2.7.5 Supertvrde nástrojové materiály

Do tohoto segmentu nástrojových materiálů patří synteticky vyráběné materiály. Prvním představitelem je polykrystalický diamant (PD), dalším je kubický nitrid bóru (KNB). Tyto materiály mají vynikající mechanické vlastnosti a užívají se pro speciální aplikace. Diamant má nízkou teplotní stálost, proto nejde využít na obrábění železných materiálů (ocel, litina). Polykrystalický diamant se využívá převážně při obrábění neželezných kovů (hliníkové slitiny, mosazi, bronzy, kompozity, keramika). Kubický nitrid bóru se uplatňuje při dokončovacím soustružení kalených ocelí a při hrubování šedé litiny [13, 25].

2.8 Opotřebení a trvanlivost břitu nástroje

Opotřebení je výsledkem vzájemného kontaktu nástroje s obrobkem. Během obrábění dochází vlivem řezného procesu k relativnímu pohybu nástroje a obrobku, nástroje a třísky a kontaktu nástroje s obrobkem společně s odcházející třískou. Výsledkem je zvětšující se opotřebení nástroje. Konkrétně to závisí zejména na mechanických vlastnostech obráběného materiálu i nástrojového materiálu, druhu obráběcí operace, geometrii nástroje, pracovních a řezných podmínkách. Největší vliv na opotřebení má řezná rychlost a měla by být vždy optimální, jinak dochází k nárůstu výrobních nákladů. Pojem *životnost nástroje* udává součet trvanlivostí břitu. Jde o časový interval, kdy může být nástroj používán v naostřeném stavu. Druhy mechanismů a forem opotřebení jsou uvedeny v příloze 6 [12, 13, 17, 29].

3 OBRÁBĚNÍ NA UNIVERZÁLNÍCH STROJÍCH

Obrábění je součástí výrobního procesu, který je založen na využití energie, při kterém vzniká obrobek odebíráním přebytečného materiálu pomocí stroje, strojního vybavení a řezného nástroje. V tomto výrobním procesu je realizován vlastní obráběcí proces. Technologické vlastnosti těchto strojů mají podstatný vliv na obráběcí proces i na kvalitu obráběných ploch. Pro ekonomické využití energie a dosažení požadovaných rozměrů a jakosti povrchu musejí mít obráběcí stroje potřebný výkon, tuhost, přesnost a možnost nastavení požadovaných parametrů, zejména řezné rychlosti a posuvu. Tyto stroje umožňují upnutí nástrojů, obrobku a možnost provádět pracovní pohyby. Obrobek nebo nástroj koná přímočarý nebo rotační pohyb. Lze je rozlišovat dle způsobu obrábění, konstrukčního hlediska, stupně mechanizace, velikosti a způsobů obrábění (soustružnické, frézovací, hoblovací, vyvrtávací).

Typy dle technologického hlediska:

- univerzální – možnost více technologických operací,
- jednoúčelové,
- speciální.

Dle úrovně mechanizace:

- ručně ovládané,
- poloautomatické,
- automatické [13, 19, 30, 31].

3.1 Konstrukce

Každý obráběcí stroj je nákladově a technicky relativně složitě zařízení. Podstatný vliv na úroveň i efektivnost výroby má konstrukce. Nové typy obráběcích strojů mají vyšší technickou složitost i náklady na pořízení. Na podstavci (lože, rám) se nacházejí konstrukční segmenty, které nesou obrobek a nástroje. Vodící plochy (kluzné, valivé, hydraulické) jsou určeny pro zachycování řezných sil a tlumení vibrací. Tyto plochy mají velký podíl na přesnost obrábění, jelikož ovlivňují vzájemnou polohu nástroje vzhledem k obrobku i vedení pohybů [13, 19, 31].

Některé konstrukční segmenty obráběcích strojů:

- **lože** – jedná se o segment spojující základní části stroje v celek. Nachází se zde vodící nebo dosedací plochy pro další součásti. Je požadovaná dostatečná tuhost, dobrý odpad třísek a minimální hmotnost,
- **základová deska** – jde o spodní část stroje plochého tvaru, jsou zde dosedací případně upínací plochy,
- **vřeteník** – pracovní vřeteno musí zajistit přesný otáčivý pohyb pro obrobek nebo nástroj. Vřeteno je uloženo ve skříni pomocí ložisek, může zde být i převodové ústrojí pro změnu otáček. Je nutná dostatečná tuhost vřetena včetně dokonalého vedení pro minimální radiální a axiální házení,
- **konzola** – část ustavená na svislé rovině, má šikmé, vodorovné nebo svislé provedení,

- **koník** – využívá se u upínání obrobku mezi hroty, skládá se z tělesa, hrotové objímky (pinola), upínacího hrotu a mechanismu k posuvu a výsuvu pinoly,
- **příčnick** – vodorovně uložený segment stroje, pohyblivý na jednom nebo dvou stojanech, nachází se zde vodící plochy pro vřeteno či suport,
- **stůl** – část plochého tvaru obsahující vodorovnou upínací plochu (obdélníkového, čtvercového nebo kruhového tvaru) pro upnutí obrobku,
- **suport** – nastavení nástroje do požadované polohy, spojovací prvek nástroje a lože,
- **vodící šroub** – šroub s lichoběžníkovým závitem, umožňuje pohyb suportu při řezání závitu,
- **vodící tyč**,
- **saně** – součást s přímočarým pohybem po vodících plochách,
- **posuvový šroub** – šroub s lichoběžníkovým závitem pro posuv saní [5, 30, 31].

3.2 Požadavky na obráběcí stroj

Současně při růstu výkonnosti obráběcích strojů se zvyšují nároky na přesnost obrábění. Proto byla zdokonalována konstrukce s využitím nových principů měření a kontroly. Nicméně každý obráběcí stroj musí splňovat určité parametry a hlediska. K základním požadavkům patří:

- hospodárnost výroby,
- tuhost,
- provozní spolehlivost,
- výrobní a pracovní přesnost,
- ergonomie,
- bezpečnost provozu [32].

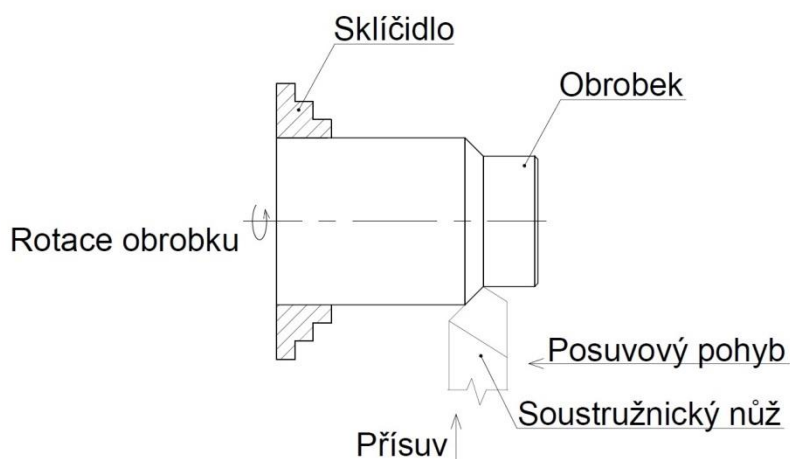
3.3 Volba obráběcího stroje

Na volbu stroje mají vliv následující faktory:

- druh obráběcí operace (soustružení, frézování apod.),
- velikost pracovního prostoru stroje,
- rozsah řezných podmínek (nastavitelné posuvy, otáčky),
- výkon a náklady stroje,
- dosažitelné přesnosti, náročnost obsluhy,
- stupeň pracovního využití stroje,
- tuhost konstrukce [9, 33].

3.4 Soustružení

Jde o jednu z nejčastějších metod třískového obrábění pro výrobu rotačních ploch pomocí nástroje s jedním geometricky určeným ostřím během otáčivého hlavního řezného pohybu. Tento rotační pohyb vykonává obrobek (při soustružení vrtacími tyčemi se otáčí nástroj). Vedlejší přímočarý pohyb koná nástroj (soustružnický nůž). Existuje více způsobů soustružení – válcové, čelní, vnitřní, vnější, soustružení kuželů, závitů, dokončovací nebo válečkování a rýhování [12, 19, 34].



Obr. 6 Znáornění pohybů při podélném soustružení válcové plochy.

3.4.1 Soustružnické nástroje

Rozlišují se podle tvaru tělesa soustružnického nástroje na přímé, ohnuté a stranové. Dále podle směru řezu na pravé a levé, dle místa záběru se dělí na vnější a vnitřní nože. Tyto nástroje mají více způsobů provedení. Mohou být celé z rychlořezné oceli nebo s připájenými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. V současnosti je většina těchto nožů opatřena mechanickým upínáním pro břitové destičky nejčastěji ze slinutého karbidu nebo řezné keramiky apod. Držáky nástrojů a břitové destičky jsou stanoveny mezinárodní normou ISO, která definuje tvar, průřez i délku držáku, dále velikosti úhlů čela a hřbetu včetně možných břitových destiček. Kromě klasických tvarů se využívají tvarové (radiální i tangenciální), vrtací tyče a další typy. Značení soustružnických nožů je uvedeno v příloze 7. Soustružnický nůž je vždy důležité upnout nakrátko a pevně. Při soustružení závitů, kuželových ploch, zapichování a upichování musí být nástroj přesně v ose obrobku [19, 30, 33, 35].

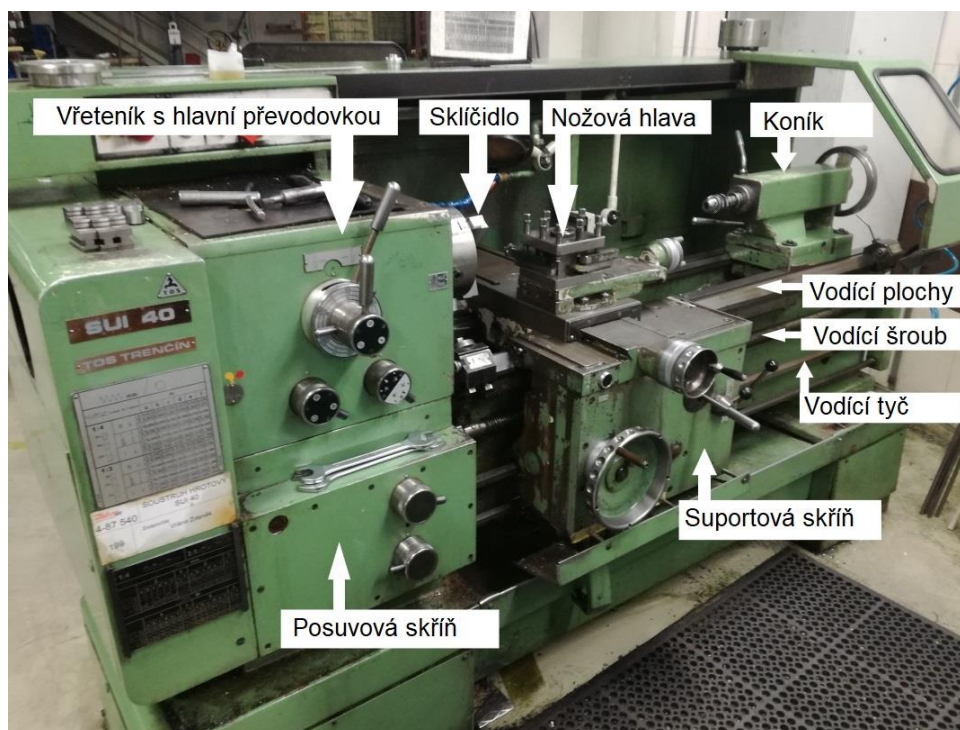


Obr. 7 Soustružnický nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou (upnutý v nožové hlavě).

3.4.2 Soustruhy

Soustruhy patří do kategorie univerzálních obráběcích strojů ve strojírenské výrobě. Lze na nich provádět různé soustružnické operace jako například soustružení válcových a kuželových ploch, zapichování, soustružení závitů, tvarové soustružení, rýhování, vrtání apod. Soustruhy se řadí k nejrozšířenějšímu typu obráběcího stroje pro rotační součásti. Nejčastější typy soustruhů:

- hrotové,
- čelní,
- svislé (Karusely),
- revolverové,
- speciální,
- automaty a poloautomaty [19, 31, 32].



Obr. 8 Univerzální hrotový soustruh-SUI 40.

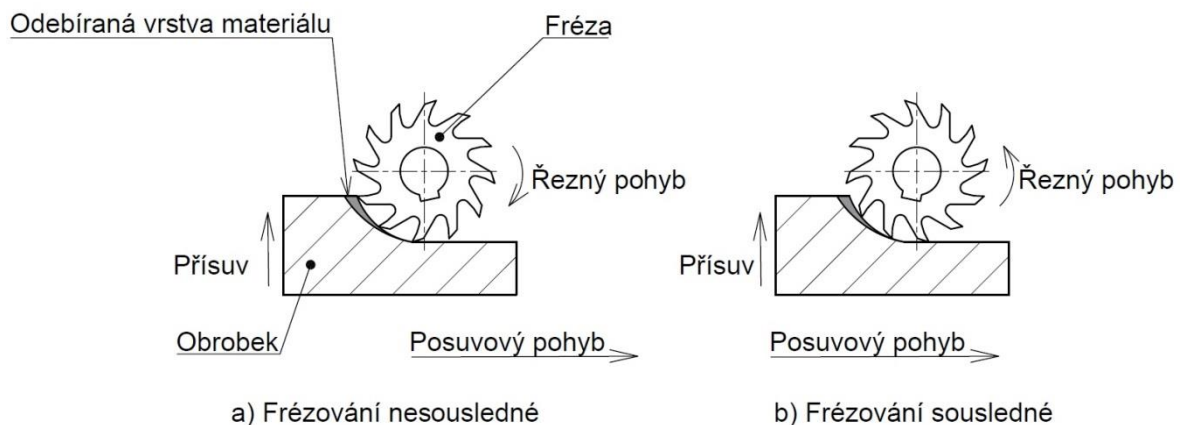
3.4.3 Upínání obrobků

Podle tvaru a velikosti obrobku je nutné vybrat vhodný způsob upnutí. Možné jsou na výběr následující varianty:

- pomocí sklíčidla (tříčelistové, čtyřčelistové),
- mezi hroty (dlouhé obrobky, minimální házení),
- využití lunety (pevná, pohyblivá),
- za pomoci trnu (pevný, rozpínací),
- kleštiny (menší průměry),
- upínací lícní deska (pro větší průměry nebo při asymetrickém tvaru) [19].

3.5 Frézování

Jedná se o třískové obrábění s geometrickým určeným ostřím pro vytváření rovinných a zakřivených ploch, profilů, tvarů, drážek, ozubení a závitů. Hlavní pohyb je rotační a koná ho nástroj (fréza). Vedlejší pohyb koná dle druhu stroje obrobek případně nástroj. Podle způsobů se rozlišuje frézování obvodové (válcové) sousledné či nesousledné (charakteristika v příloze 8) a čelní. Dle normy DIN 8589 se frézování dělí na rovinné, šroubovitě, frézování válcových ploch, odvalovací frézování, frézování profilů a tvarů. Tvar obrobene plochy je určen nástrojem nebo vzájemným pohybem obrobku a nástroje (planetové, okružní, odvalovací a kopírovací frézování) [17, 19, 34].



Obr. 9 Frézování válcovou frézou.

3.5.1 Frézovací nástroje

Frézy jsou vícebřité řezné nástroje z nástrojové oceli (monolitní) nebo častěji s vyměnitelnými břitovými destičkami. Břity frézy pracují v podmínkách přerušovaného řezu vystaveny intenzivním rázům včetně teplotních vlivů. Tvary a velikosti fréz jsou normalizované. Rozlišují se frézy válcové, válcové čelní, kotoučové, úhlové, tvarové a frézovací hlavy. Podle průběhu ostří se dělí na frézy se zuby rovnými, šikmými či ve šroubovici. Dle směru otáčení jsou frézy pravořezné nebo levořezné. Podle způsobu výroby se frézy dělí na celistvé a frézy se vkládanými zuby (vlození břitových destiček z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu, upnuty pájením nebo mechanicky). K upínání fréz se využívají frézovací trny, nástrčné frézovací trny a upínací pouzdra (kleštiny). Pro menší chvění se fréza upíná co nejbližší u vřetena. Nástrčné prvky obsahují normalizované kuželové stopky nástroje (Morse kužel, strmý kužel, metrický) [19, 21, 33, 35].

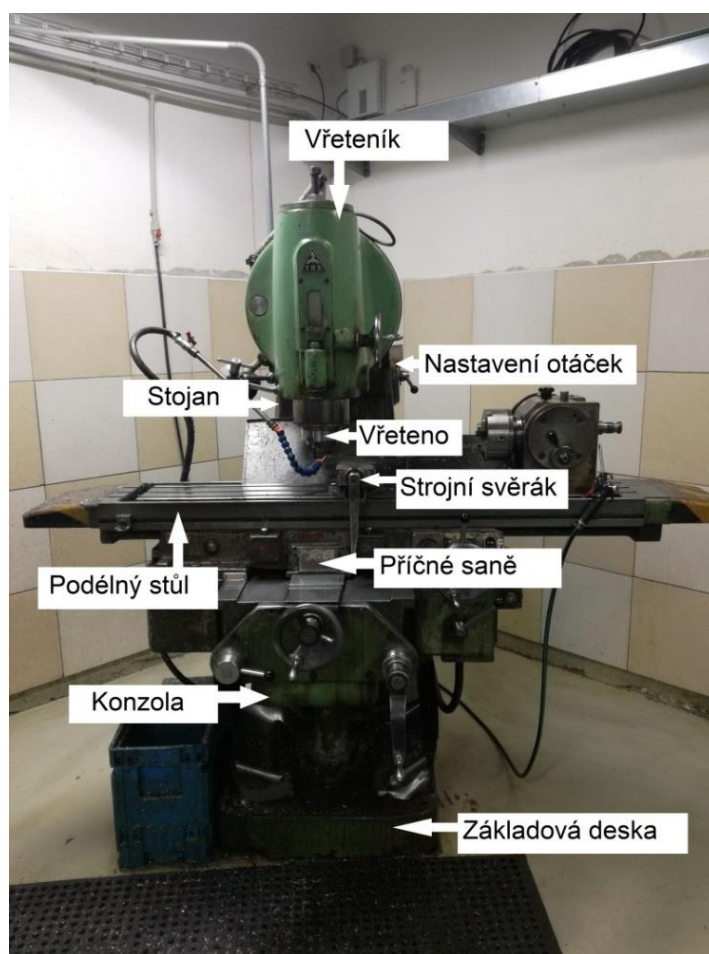


Obr. 10 Frézovací nástroje (vlevo monolitní, vpravo s VBD).

3.5.1 Frézky

Kvůli proměnlivé řezné síle se na frézovací stroje klade důraz, zejména na tuhost rámu a pohonů. Rozměry frézek jsou dány velikostí upínací plochy stolu. K frézování různých tvarů a velikostí obrobků se využívá více typů frézek. Pro výrobu ozubených kol, čtyřhranů či šestihranů se využívají dělicí přístroje. Druhy frézek jsou:

- konzolové (svislé, vodorovné, univerzální),
- stolové,
- rovinné,
- speciální [17, 31, 33].



Obr. 11 Svislá konzolová frézka.

3.5.1 Upínání obrobků

Při frézování vznikají značné odporové síly vůči obrábění, což má za následek působení velkých sil na obrobek. Ty mají snahu obrobek uvolnit z upnutí, případně vysunout. Tomu je nutno předejít vhodnými upínacími prostředky. Prismatické vedení je vhodné pro upnutí válcových obrobků. Při sériové výrobě se upíná i více obrobků najednou. Využívají se následující způsoby upínání obrobků:

- mechanicky (strojní svěrák, upínky, upínací čelisti, upínací opěrky),
- pneumatiky,
- hydraulicky [19, 33].

4 VSTUP DIGITÁLNÍ TECHNIKY DO OBLASTI OBRÁBĚNÍ

Rozvoj výrobních strojů ve strojírenské výrobě byl značně ovlivněn využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace obráběcích strojů za použití počítačů a vhodných softwarů výrazně zvyšuje jejich technickou hodnotu včetně nárůstu produktivity práce. První programovatelné stroje označované za NC stroje byly vyvinuty ve Spojených státech amerických počátkem 50. let 20. století. Stroje jsou vybaveny řídicí jednotkou a všechny informace jsou řídicímu systému zadávány ve formě čísel a písmen, tedy programu, který býval uložen na dřevěném štítku nebo pásce. To umožnilo opakovatelnost výroby zejména složitějších součástí. V 70. letech se dostatečně vyvinuly počítačové technologie, kdy byly NC stroje vybaveny počítačem. Vývoj řídicích jednotek souvisí s vývojem číslicových obráběcích strojů a center. Postupně došlo ke zjednodušení programování, řízení a přenosu dat (využití přenosu programů pomocí síťového připojení) [19, 32, 36, 37].

4.1 Automatizace

Technologie výroby a automatizace souvisí s rozvojem techniky. Automatizace výroby umožňuje zvýšení produktivity, kvalitu výroby a snížení pracnosti obsluhy. Jedná se o hlavní nástroj pro zvýšení efektivnosti ve strojírenství. V současnosti se vývoj obráběcích strojů soustředí na automatizované výrobní systémy a zároveň se zabývá snížením nákladů na pořízení produktu. Automatizace se provádí pomocí řídicí a regulační techniky. Rozlišuje se automatizace tvrdá (bez změny výrobního programu, u velkosériové výroby) a automatizace pružná (změny výrobních programů, menší série). Při zabudování obráběcích center a automatických strojů s pružným transportním systémem polotovarů a výrobků lze vytvořit pružný výrobní systém [38, 39].

4.2 Programovatelné automaty

Pojem automat bývá označením pro obráběcí stroj pracující v automatickém pracovním cyklu. To znamená, že proces obrábění probíhá zcela automaticky včetně všech pracovních i pomocných pohybů potřebných pro provedení požadovaných operací podle zadaného programu, pracovní cyklus se opakuje bez zásahu pracovníka. U poloautomatického obráběcího stroje je již nutný zásah operátora po vykonání pracovního cyklu, obvykle se jedná o vyjmutí a následně upnutí nového polotovaru, následně začíná pracovní cyklus od počátku. Programovatelné řídicí systémy umožňují řízení průmyslových a technologických systémů a procesů, jsou označovány jako PLC (Programmable Logic Controller) a jsou náhradou za reléové řídicí automaty. Menší automaty jsou řešeny jako kompaktní celky, větší jako modulární. Předností programovatelných automatů je univerzálnost. Centrální procesorová jednotka (mikroprocesor a řadič) zajišťuje programovatelnému automatu určitou inteligenci. Pro programování PLC existují specializované jazyky [32, 38, 39, 40].

4.3 Znaky CNC strojů

Řídicí systémy CNC strojů jsou založeny na číslicovém zpracování dat za využití programovatelného mikropočítače v jednotlivých režimech (používané řídicí systémy kapitola 5.4). Obrábění na CNC stroji je tedy druh programovatelného řízení (počítač a provozní software). Zpracování dat probíhá v řídicích jednotkách. Přímé propojení řídicího systému obráběcích strojů s počítačovou sítí přispělo ke zkrácení přípravného času pro ještě efektivnější výrobu. Toto propojení se označuje *DNC* (Direct Numerical Control). Kromě DNC sítě je nutný vhodný softwarový nástroj pro správu NC programů. Prvky řízení:

- **počítač** – průmyslový počítač s řídicím systémem a obrazovkou s ovládacím panelem (provádění nutných příkazů),
- **řídicí obvody** – ovládání částí strojů (vřeteno, posuv) pomocí signálů (převádění logických signálů na elektrické),
- **interpolátor** – soustředí se na výpočty korekcí nástroje (délkové, rádiusové) pro dosažení geometrické přesnosti výrobku,
- **porovnávací obvod** – zpětná vazba hodnot posuvů v souřadných osách s následným porovnáváním se zadaným programem,
- **řídicí panel** – má více částí, na alfanumerické klávesnici se zadávají vstupní data (program, data o nástrojích), dále je možnost ovládání pohybu nástroje, obrobku, ruční změny otáček a posuvů nebo volba režimu práce, obrazovka slouží ke kontrole zadaných dat, případně pro simulaci procesu [19, 36, 38, 41].



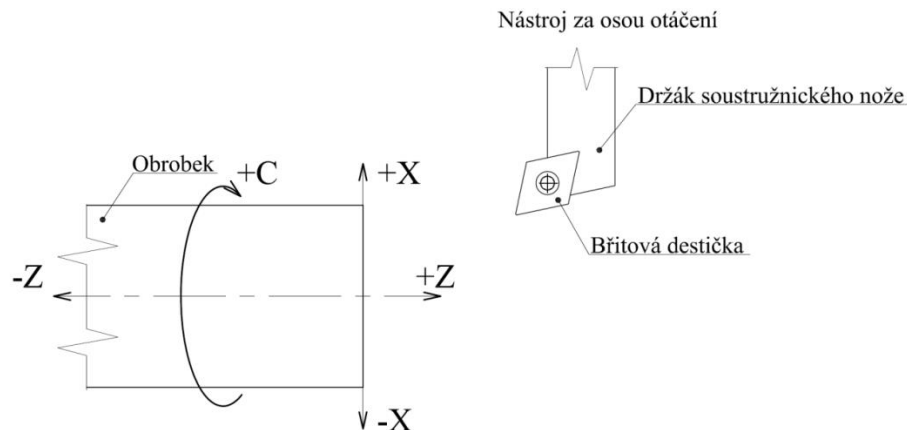
Obr. 12 Ovládací panel CNC soustruhu Takisawa.

Používané pracovní režimy:

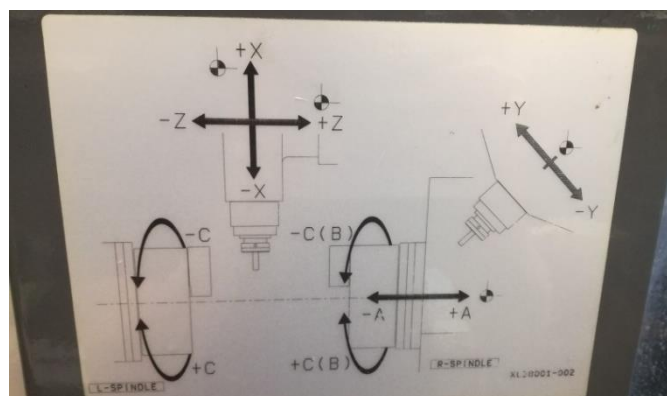
- **automatický** (auto) – stroj pracuje v automatickém cyklu dle nahraného programu,
- **ruční** (manual) – určen pro výměnu nástrojů, provádění posuvu,
- **editace** (edit) – úpravy nahraného programu pomocí klávesnice,
- **blok po bloku** – stroj se zastavuje po jednotlivých blocích, vhodné při kontrole programu,
- **MDI** (Manual Data Input) – režim ručního zadávání dat [36].

4.4 Souřadnicový systém

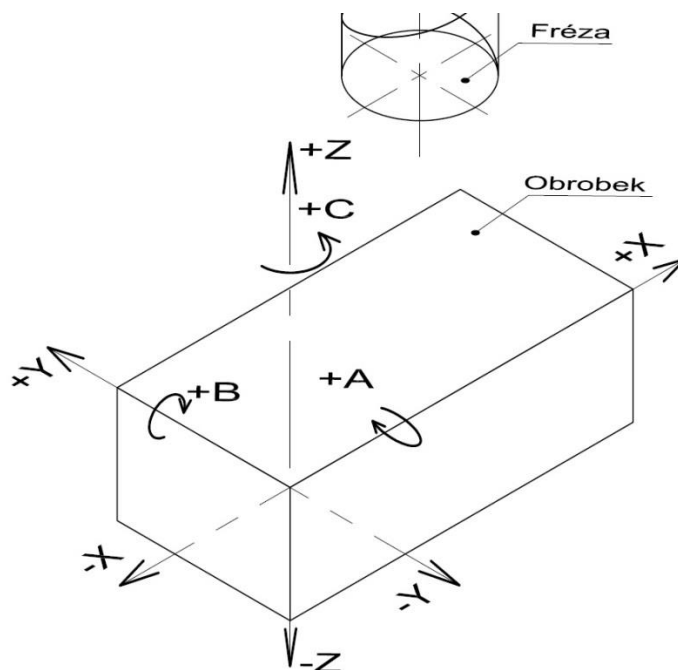
Obráběcí stroje využívají pravoúhlý systém stavění souřadnic (kartézský), který je definován normou. Systém je dán osami X, Y, Z orientovanými dle pravidla pravé ruky, otáčivé pohyby, kdy osy jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z, se značí jako A, B, C. Platí zásada, že osa Z je totožná s osou pracovního vřetene. Kladný směr je od obrobku k nástroji. Při programování se považuje obrobek za nehybný i v případě pohybu stolu při stálé poloze frézy. Kartézský systém stavění souřadnic je nutný pro řízení stroje a nástroje pro provádění zadaných příkazů vykonávaného programu. Souřadnicový systém lze posouvat a otáčet. Při měření nástrojů (zjišťování korekcí) je umístěn v bodě výměny nástrojů, případně na špičce nástroje [36, 38].



Obr. 13 Ukázka souřadnicového systému pro soustružení.



Obr. 14 Souřadnicový systém u CNC soustruhu Takisawa.



Obr. 15 Ukázka souřadnicového systému pro vertikální frézku.

Počátek souřadnicového systému určuje programátor a je umístěn do nejvhodnějšího místa na obrobku pro co největší zjednodušení určování jednotlivých geometrických bodů. Toto místo se označuje za *Nulový bod* obrobku. Referenční a nulové body:

- **nulový bod stroje (M)** – neměnný, daný výrobcem stroje (u soustruhů v ose),
- **referenční (vztažný) bod (R)** – stanoven výrobcem a realizován koncovými spínači, slouží pro kalibrování inkrementálního odměřovacího systému (nutné najetí do referenčních bodů při zapnutí stroje),
- **nulový bod obrobku (W)** – tento bod volí programátor pomocí funkce G54 až G59, je nutné zohlednit použitý řídicí systém a možnosti stroje,
- **bod špičky nástroje (P)** – pro stanovení délkové a rádiusové korekce,
- **bod nastavení nástroje (E)** – bod na držáku nástroje, při upnutí se odpovídá bodu F (korekce nástroje na přístroji mimo stroj),
- **vztažný bod suportu nebo vřetene (F)** – bod výměny nástroje, vztažení délkové korekce nástroje [36, 38, 42].

4.5 Korekce nástrojů

Korekce nástroje se ukládá do registru nástrojů, kde každý řádek odpovídá jednomu nástroji. Číslo korekce může být libovolné, avšak při vyvolání nástroje se musí uvést v programu. Korekce nástroje se musí zjistit a zadat do systému vždy po uvolnění nástroje z držáku nebo po výměně břitové destičky. Druhy korekcí:

- **délkové** – rozměry v osách souřadnicového systému (X a Z), velikost je vztažená k nulovému bodu výměny nástrojů ($E=F$), díky zjištěným délkám jednotlivých souřadnic řídicí systém koriguje nástroje zapsané programátorem v blocích programu,
- **rádiusové** – jedná se o velikosti rádiusů špičky nástrojů i rádiusů fréz kvůli přesnosti rozměru a správné geometrii výrobků, využívá se funkce G41 (vlevo od kontury obrobku) nebo G42 (vpravo) a G40 rušení korekce, poloměr nástroje nutný zadat v tabulce nástrojových dat,
- **výsledná** – je výsledkem (superpozicí) obou předešlých korekcí [36, 42].

C.	OSA X	OSA Z	R	T
W 009	0.000	-0.800	0.000	0
W 010	-0.390	0.000	0.000	0
W 011	-0.200	0.000	0.000	0
W 012	0.150	0.000	0.000	0
W 013	0.000	-0.020	0.000	0
W 014	0.000	0.000	0.000	0
W 015	-0.100	0.030	0.000	0
W 016	0.000	0.000	0.000	0

RELATIVNI

U	8.000	H	297.301
*W	-94.543	V	0.200

A) _ WKCD-1

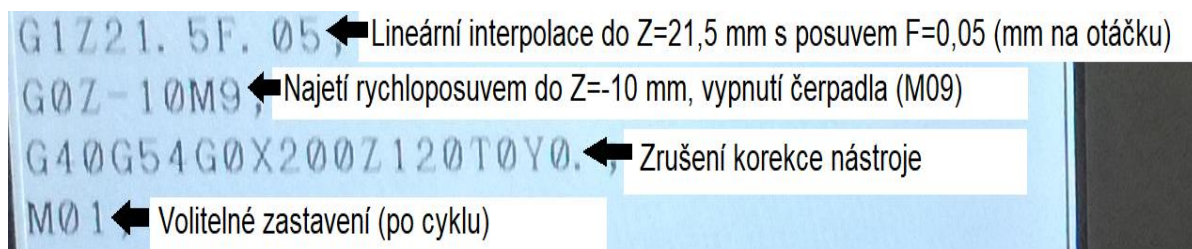
MEM STRIMTN *** FAN 14:52:32

OPOTR+ GEOM1 OPOTRE GEOM2 OPERAC

Obr. 16 Ukázka tabulky pro korekci jednotlivých nástrojů.

4.6 Struktura programů

Struktura programů pro NC a CNC stroje je určena normou (DIN 66 025). Zpravidla bývá na počátku programu před prvním blokem (řádkem) uveden znak %, následuje číselné značení programu. Pro vykonání daného kroku, musí program obsahovat všechny informace potřebné pro zahájení a ukončení činností k dráze nástroje. Jde tedy o souhrn technologických, geometrických či pomocných informací. Program se skládá z jednotlivých bloků (vět) zapsaných v jednom řádku. Věta je složena z jednoho nebo více slov. Její délka není v současnosti nijak omezená, oproti minulosti. Slova obsahují písmena a čísla, přičemž pořadí je definované. Nejprve je označení věty písmenem N a číslem, následují přípravné funkce G pro geometrické informace. Jsou udány hodnoty o dráze (X, Z, Y) následované technologickými parametry (posuv a otáčky) zakončené funkcí nástroje, přiřazení korekcí a pomocné funkce pro činnost stroje. Při vytvoření podprogramů je možnost snížení pracnosti hlavního programu. Přehled nejpoužívanějších funkcí je uveden v příloze 9. Informace související s G-kódem jsou v příloze 10 [36, 38, 43].



Obr. 17 Ukázka části programu.

4.6.1 Způsoby programování

Využívají se dva základní způsoby programování. U *absolutního programování* v režimu absolutních souřadnic (funkce G90) se vztahují všechny souřadnice k nulovému bodu obrobku. Tento způsob není závislý na pořadí pohybů. Při *přírůstkovém programování* v režimu relativních souřadnic (funkce G91) se všechny souřadnice zadávají inkrementálně, tedy vždy s ohledem ke stávající poloze. Následný pohyb nástroje se programuje jako přírůstek dráhy z předešlé do programovatelné polohy. Výhodou je nezávislost polohy nulového bodu obrobku, tato možnost se využívá při programování cyklu a podprogramů [19, 38, 42].

4.6.2 Používané interpolace

Během *lineární* interpolace (pracovní-G01 a rychloposuvy-G00) systém propočítává souřadnice bodů, aby se nacházely uprostřed tolerančního pole. Při *kruhové* interpolaci je nutné zadat řídicímu systému další údaje, konkrétně jde o směr otáčení (G02 doprava, G03 doleva), souřadnice cílového bodu (konec oblouku) a polohu středu kružnice (parametry I, J a K). Zadání středu kružnice pomocí parametrů má tu výhodu oproti určení pouhého poloměru zaoblení, že program zjistí chybu při zadávání souřadnic cílového oblouku. Dráha interpolace je závislá na generaci řídicího systému [36, 38].

4.6.3 Obráběcí cykly

Naprogramované obráběcí cykly a opakující postupy zjednodušují programování. Jednotlivé cykly jsou v různých řídicích systémech odlišné. Tyto cykly se používají jak pro hrubovací operace, tak i pro dokončovací soustružení nebo pro řezání závitů (například funkce G64, G66, G78 a další). Souřadnice hotového obrysu obrobku jsou uloženy v podprogramu a rozdělení jednotlivých řezů pro celé hrubování provede řídicí systém samostatně [19, 38].

5 MOŽNOSTI SOUČASNÝCH CNC STROJŮ

V současnosti neustává vývoj moderní CNC strojů ani řídicích systémů. Kvůli neustálé konkurenci se konstruktéři i technologové potýkají s novými problémy a musejí se zabírat faktory, jako jsou rychlé změny výrobních programů, zlepšení kvality nebo zkracování výrobních časů. Nahrazení lidské obsluhy obráběcího stroje klade značné požadavky na přesnost i správnou funkci celého stroje. Charakteristickým znakem CNC strojů je zásobník nástrojů pro automatickou výměnu (v automatickém cyklu), automatická výměna obrobku nebo automatizovaný odvod třísek (dopravníky). Ačkoliv u moderních CNC obráběcích center se provádí elektronické kompenzace pohybu v řídicím systému, nároky na konstrukci jsou významné, jelikož se při obrábění dostáváme i do oblasti ultra přesného obrábění (desetiny mikrometrů). I přesto dochází ke snižování cen řídicí techniky a obráběcích strojů včetně větší dostupnosti, což zvyšuje hodnotu CNC strojů. Dále se využívá integrovaná výroba pomocí počítačů (CIM). Vlivem těchto skutečností dochází k vytlačování konvenčních obráběcích strojů podílejících se na výrobě [5, 36, 43].

5.1 Rozdělení CNC obráběcích strojů

CNC stroje lze řadit do následujících skupin (možné kombinování):

- počet technologických operací (jednoprofesní, obráběcí a víceúčelová centra),
- typ operace (soustružení, frézování, vrtací, závitovací),
- hlavní pohyb obrobku (soustruh, frézka),
- hlavní pohyb nástroje (vyvrtávačka, vrtačka),
- kinematika (sériová, paralelní, smíšená),
- technologie (vysokorychlostní, vysokovýkonné, obvyklé, suché) [5].

5.1.1 Obráběcí centra

Jedná se o CNC stroje, kde je integrováno více způsobů technologie obrábění. To vede ke snížení vedlejších časů (upínání-možnost paletizace) včetně zvýšení přesnosti výroby. Kromě snížení nákladů na výrobu lze stroje využít v pružných automatizovaných systémech (linky). Tyto stroje se vyznačují vysokou tuhostí, spolehlivostí, krátkými upínacími časy a výměny obrobků. Kromě standardní automatické výměny nástroje zajišťují kontrolu trvanlivosti nástroje. Využívá se připojení na DNC síť a diagnostika (senzory) a automatická kontrola rozměrů obrobků. Následná integrace technologií do stroje vede k univerzálnímu obráběcímu centru [32, 36].

5.2 Požadavku kladené na CNC obráběcí stroje

K požadavkům patří:

- vysoká statická a dynamická tuhost,
- dobrý odvod třísek,
- efektivní a hospodárná výroba, dostatečná kapacita nástrojů, přijatelné náklady,
- teplotní stabilita, diagnostika poruch, možnost automatizace,
- přesnost, spolehlivost, životnost, ekologičnost, bezpečnost provozu [5].

5.3 Konstrukční části CNC strojů

Konstrukční pojetí obráběcích CNC strojů se odlišuje od klasických obráběcích strojů [36].

Rámy CNC strojů

Jedná se o základní konstrukční prvek, jenž velkou mírou ovlivňuje přesnost obrábění. Hlavním požadavkem je zvýšená tuhost, dále dobrý odvod třísek, co nejmenší hmotnost, tepelná stabilita a dobré uložení na základ. Jako materiál se používají kromě litiny a ocelolitiny i nekovové materiály nebo svařence plněné kovovými pěny. Rám se skládá z lože, stojanu, příčnicku a pomocných prvků. Lože u soustruhu je konstruováno jako šikmé, kluzné vedení se nahrazuje valivým [5, 36, 38].

Pohony CNC strojů

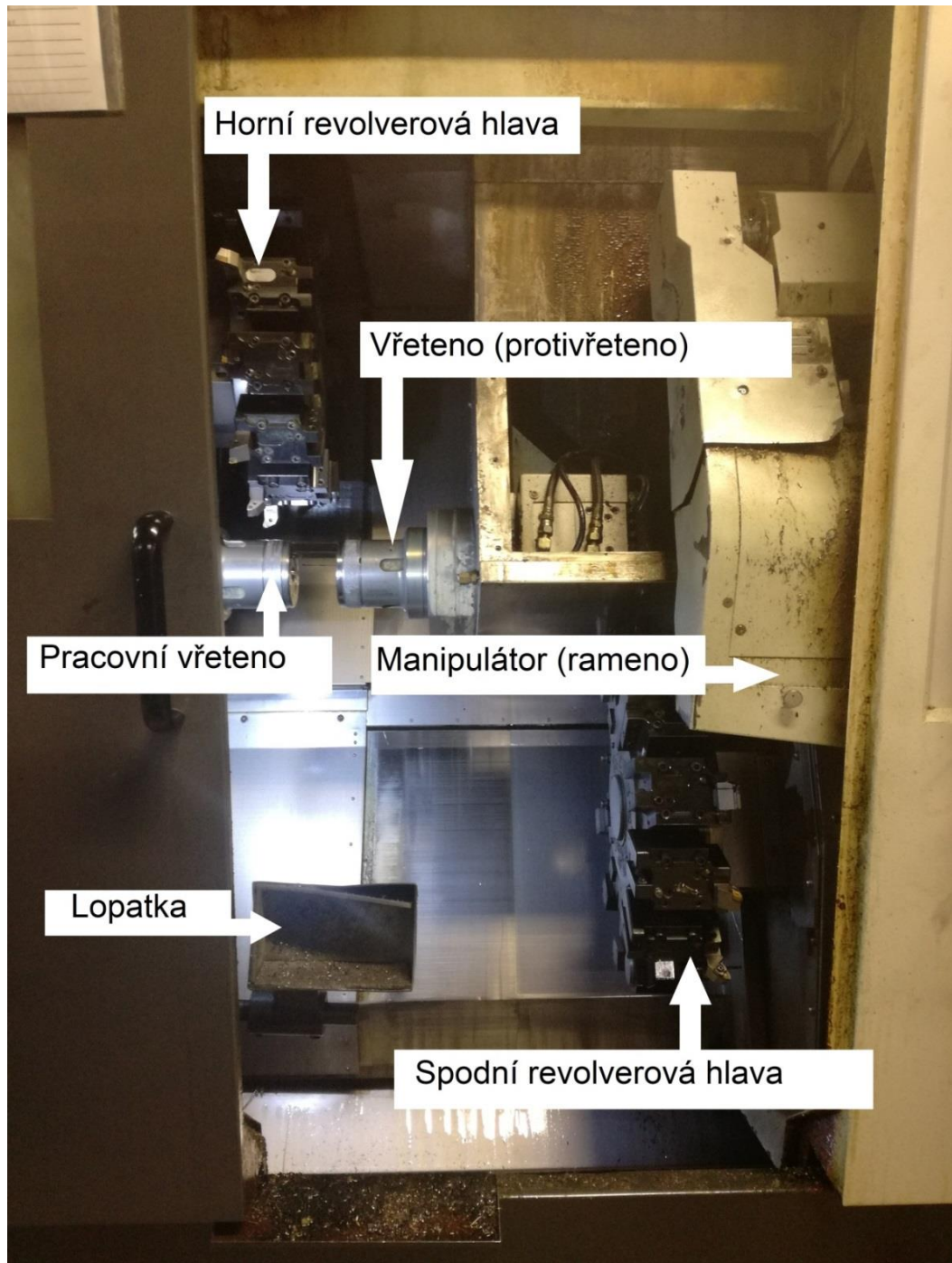
Pro hlavní pohon pracovního vřetena se využívá elektromotor. Ten musí zajišťovat plynulou změnu otáček, rychlé zpomalení a zrychlení, případně přesné polohování vřetena o vyžadovaný úhel (osa C). Pohon osy je tvořen řídicím systémem, regulátorem, motorem, pohybovým mechanismem a odměřovacím systémem. Využívají se dva základní způsoby odměřování – přímé (přímo namontovány na pohybujících se částech strojů) a nepřímé. Vřeteníky pracují ve vysokých otáčkách (i 20 000 otáček za minutu), tedy v technologii vysokorychlostního obrábění (high speed cutting). Vřeteno je uloženo do valivých ložisek a musí mít dokonalé vedení, minimální ztráty a házení (radiální, axiální) a musí být tuhé. Servomotory se využívají pro pohon posuvů, hydraulické čerpadlo a dopravníku třísek. Bývá vybaven snímačem zrychlení. Kuličkové šrouby zajišťují rychlý a přesný pohyb (přenáší pohyb motoru na suport či stůl s obrobkem). Jinou alternativou jsou lineární pohony, které mají vysoké rychlosti posuvů, avšak vyžadují chlazení [5, 36, 38, 47].

Systém výměny nástrojů

Automatizovaná výměna nástrojů je důležitá pro manipulaci, polohování a upnutí nástrojových jednotek. Mezi hlavní požadavky patří minimální časy cyklu výměny nástroje, funkční spolehlivost, odolnost proti znečištění, optimální kapacita zásobníku a vhodný prostorový koncept. U soustruhů se preferuje revolverový zásobník (možnost několika revolverových hlav pro obrábění před i za osou, využití osy „Y“) s různým počtem nástrojů včetně rotačních. Frézky využívají různé provedení jako je pásové, regálové nebo kombinované [5, 36].

Systém výměny obrobků

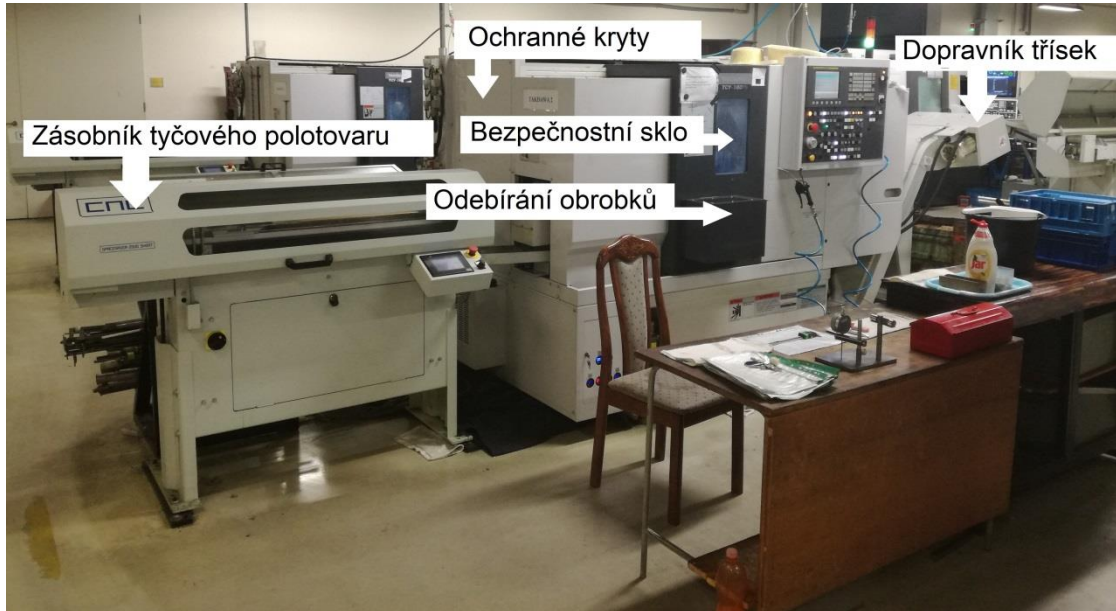
Upínáním obrobků na pracovní stůl dochází k časovým ztrátám. Tento nedostatek řeší paletizace, využívaná hlavně u obráběcích center. Na stole jsou umístěny upínače (hydraulické, pneumatické či mechanické upínky) nebo se využívá robot, případně ruční výměna. Využití palet je vhodné u obrobků s plochým tvarem nebo přírub. Technologická patela musí zajistit přesné ustavení obrobku. Soustruhy využívají manipulátor, kdy je tyčový materiál skladován za vřeten strojem a automaticky dojde k posunutí po uskutečnění upíchnutí, následně jsou hotové obrobky odváděny mimo stroj [5, 36].



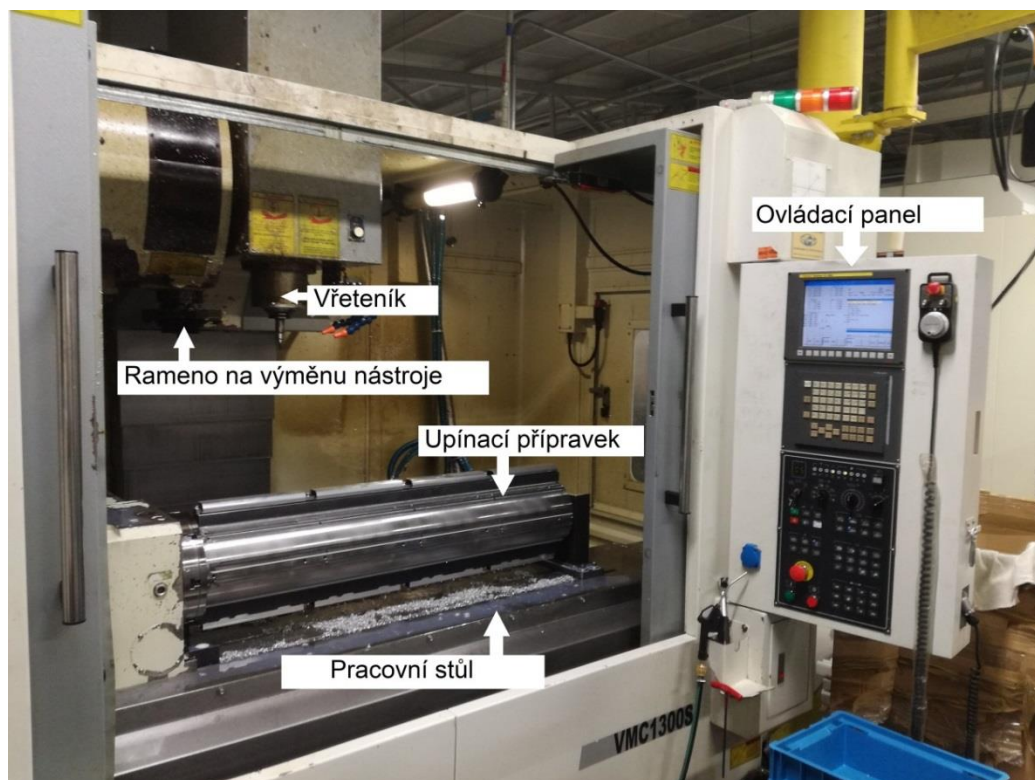
Obr. 18 Pracovní prostor u CNC soustruhů.

Ostatní příslušenství

Pro zamezení akumulace třísek v obráběcím prostoru se využívají dopravníky. Během přepravy dochází k odloučení třísek a procesní kapaliny. Pro tento účel se používají pásové a šnekové dopravníky. Dalším vybavením jsou upínače polotovarů (hydraulické nebo pneumatické), díky tomu je omezeno ruční upínání a nastavení konstantní upínací síly. Pracovní prostor musí být opatřen kryty z hlediska bezpečnosti a hygieny [36].



Obr. 19 Pracoviště CNC soustruhů.



Obr. 20 Pohled na vertikální CNC frézku.

5.4 Preferované řídicí systémy

Řídicí systém provádí výpočet a řízení trajektorie stroje. Je proto důležitou součástí moderních obráběcích CNC strojů. Převážně se používají systémy se souvislým řízením. Na trhu se nabízí mnoho výrobců řídicích systémů, mezi které patří *Siemens, Fanuc, Heidenhain, Hass, Mazak, Fidia, Okuma* a další. Největší podíl na trhu mají tři největší výrobci, konkrétně jde o řídicí systémy společností Fanuc, Siemens a Heidenhain [5, 43].

5.5 Využití aplikací CAD/CAM v oblasti obrábění

Integrovaná výroba pomocí počítače (CIM) značně změnila plánování, přípravu a výrobu. Jedná se o propojení více systémů do jediné sítě. Systémy CAD/CAM realizují vyšší stupeň počítačové podpory a umožňují strojní programování. CAD systém se zabývá počítačovou grafikou a geometrickým modelováním. Systém CAM se vyznačuje podporou výrobního procesu. Koncepce od konstrukce až po strojní obrábění je brána jako systém CAD/CAM. Nejprve se v CAD systému vytvoří výkres výrobku s danou geometrií a technologickými daty. Procesor vygeneruje data pro simulaci programu. Následně se zdrojový program převádí pomocí postprocesoru pro konkrétní řídicí systém. Konečným krokem je nahrání programu do paměti stroje a následné doladění. Výhodou těchto systémů je snížení výrobních časů, zajištění požadované kvality a předcházení chyb. Na výběr je řada programů, například Gibbscam, Featurecam, Edgecam, Surfcam, Mastercam a další [19, 36, 46].

5.6 Vysokorychlostní obrábění (HSC)

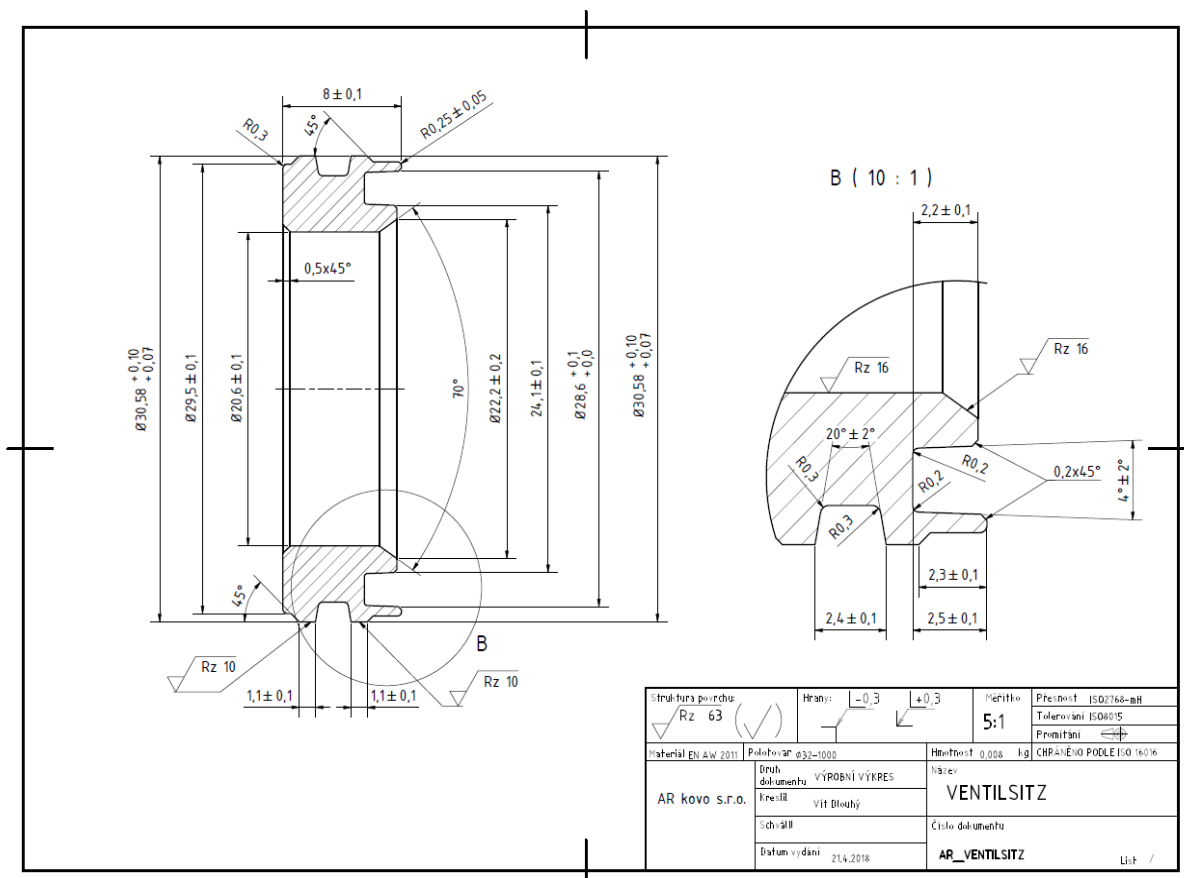
Tato technologie spočívá ve využití zvýšené řezné rychlosti, patří sem i technologie suchého obrábění (bez procesní kapaliny). Tím ovšem dochází ke vzniku mnohem většího objemu třísek a velkému nárůstu teplot. Naprostá většina tepla odchází s třískou. Jako řezné materiály se využívají povlakované karbidy a cermety, keramika, polykrystalický diamant a kubický nitrid bóru. Výhodou je podstatné snížení výrobních časů a nákladů. Tuto technologii lze uplatnit pouze na CNC strojích k tomu určených. Tříska vzniká plastickým skluzem v jediné rovině (rovina stříhu). Zvýšením řezné rychlosti dochází ke snížení řezného odporu a řezných sil. Tento pokles je ovlivněn obráběným materiálem [9, 36, 43, 48].

6 VZOROVÁ UKÁZKA OBRÁBĚNÍ

K ukázce byla vybrána rotační součást následujícího tvaru.



Obr. 21 Model vybrané součásti (aplikace Inventor Professional 2018).



Obr. 22 Rozměry zvolené součásti.

6.1 Výchozí polotovar

Materiálem výchozího polotovaru je slitina hliníku EN AW 2011, o průměru 32 milimetrů. Tyčový materiál je dodáván v délce tří metrů. Ten je následně dělen na tyče délky 1 metru. Pro lepší průchod kleštinou při naložení nové tyče je z jedné strany jemně sražena hrana na pásové brusce (zůstává otřep po dělení).



Obr. 23 Vybraný tyčový polotovar.

6.2 Volba stroje

Zvolený stoj pro výrobu dané součásti je CNC soustruh Mori-Seiki 1500 NL využívající řídicí systém od společnosti Fanuc (rok výroby 2006). A zde nastává první technický problém. Jelikož je daný CNC soustruh využíván v nepřetržitém provozu již od svého vyrobení (rok 2006), není možné v současnosti využít druhého pracovního vřetena pro možnost ojehlení otřepů kvůli současnému stavu stroje. Daný problém se řeší, avšak v současnosti je nutné vzniklé otřepy odstranit (ručně, případně záhlubníkem na vrtačce). Zároveň je zde možnost alternativních CNC soustruhů, konkrétně se jedná o JSL 32AB nebo Nakamura WT150, v danou chvíli jsou kvůli vytížení využívány pro jiné výrobní účely.



Obr. 24 Vybraný CNC soustruh pro výrobu součásti.



Obr. 25 Alternativní možné CNC soustruhy (JSL32, Nakamura WT150).

6.3 Výrobní postup

Tab. 2 Výrobní postup.

AR KOVO		Výrobní postup		Název celku: VENTILSITZ
Datum: 29. 04. 2018		Vyhotovil: Dlouhý	Kontroloval:	Polotovary: $\varnothing 32-1000$ EN AW 2011 T6
Operace:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:	
0/0	PÁSOVÁ PILA PAEGAS 05960	Sklad AR	Řezat materiál na $\varnothing 32$ na délku $1000 \pm 0,5$	
1/1	PÁSOVÁ BRUSKA 09610	Hala AR	Srazit hrany (pro podání)	
2/2	CNC SOUSTRUH Mori-Seiki 1500 NL 44561	Hala AR	Posunutí tyče na doraz (automatický podavač) Soustružení zápichu $\varnothing 22$ (odlehčení) Přesoustružení tvaru $\varnothing 30,5u8$ Soustružení otvoru $\varnothing 20,6$ Soustružení tvaru $\varnothing 30,5u8$ Zápich do čela $\varnothing 24,1$ Upíchnutí Umytí a vyfoukání	
3/3	Kontrolní pracoviště 09863	Hala AR	Kontrolovat rozměry $\varnothing 50,5u8$ Kontrolovat rozměry $\varnothing 20,6$ a $\varnothing 24,1$ Kontrola délky 8 a hloubky zápichu 2,2 Četnost měření 1x za 60 minut	
4/4	Vrtačka 04620	Hala AR	Zbavení otřepů záhlubníkem (alternativou je možné ohročení ruční pomocí škrabáku)	
5/5	Kontrolní pracoviště 09863	Hala AR	Kontrola rozměrů $\varnothing 50,5u8$; $\varnothing 24,1$; $\varnothing 20,6$ Kontrola délky 8; 2,5; 2,2 Vizuální kontrola Četnost měření 10% z výrobní dávky	
6/6	Expedice	Hala AR	Uložení do bedny na palety	

6.4 Použité nástroje při obrábění

Pro soustružení průchozího otvoru a zarovnání čela se využila břitová destička od výrobce Taegutec (označení XCGT-TA 080304, na obrázku 26 pod textem, úplně vlevo). Na čelní zápich bylo zvoleno „PICCO MFR 6 B1.5 L22“ od výrobce Carmex (druhý nástroj z levého okraje, obr. 26). K soustružení tvaru byl využit tvarový nůž (na obrázku 26 třetí v pořadí od levého okraje). Pro konečnou operaci upíchnutí byl využit zápichový nůž (od společnosti Bimu-1060RP1,5, na obr. 26 poslední vpravo). Výrobní NC program je uveden v příloze 11. Při obrábění se využila procesní kapalina od firmy Saptec (S-COOL 10HD).



Obr. 26 Základní měřící pomůcky.

6.5 Kontrola a vyhodnocení funkčních rozměrů

Pro vyhodnocení konečných rozměrů obrobku se využije posuvné digitální měřidlo Mitutoyo (rozsah $0 \div 150$ mm), kalibr pro čelní zápich ($\varnothing 21,1$) a pro průchozí otvor ($\varnothing 20,55$). Dále se využije připravený pasometr (rozsah $50 \div 75$ mm) pro měření odchylky od rozměru $\varnothing 30,5u8$ ($\varnothing 30,57 \div \varnothing 30,60$). Pro zjištění hloubky čelního zápichu je připravený digitální hloubkoměr (Sylvac). Kromě těchto zmíněných měřidel je možné využít 3D měřící centrum nacházející se ve firmě.



Obr. 27 Základní měřící pomůcky.

ZÁZNAM O MĚŘENÍ		MĚŘIT KAŽDOU HODINU - ZAPISOVAT 2 X ZA SMĚNU												
Č. POLOŽKY		2402144102		NÁZEV		Ventilsitz								
Č. R.	KONTROLOVANÝ ROZMĚR	MIN.	MAX.	NAMĚŘENÉ HODNOTY										
1	pr.30,5 u8	+0,07	0,10	30,53	30,58	30,58	30,62	30,78	30,60	30,70	30,59	30,58		
1	pr.30,5 u8	+0,07	+0,10	30,57	30,60	30,60	30,62	30,60	30,70	30,59	30,59			
1	K. pr.30,56/pr.30,60 zkoušet OBA ø			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
!!! POZOR !!! Měření pasametrem nesmí přesáhnout povolenou toleranci !!! Maximální důležitost !!!														
2	pr.20,6 K	-0,1	+0,1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
3	pr.24,1	-0,1	+0,1	24,11	24,10	24,11	24,13	24,13	24,13	24,13	24,12	24,12		
4	pr.28,6 K		+0,1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
5	pr.29,8	-0,1	+0,1	29,81	29,83	29,83	29,87	29,85	29,84	29,83	29,82	29,82		
6	2,2	-0,1	+0,1	2,20	2,19	2,19	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20		
7	2,5	-0,1	+0,1	2,50	2,50	2,50	2,51	2,51	2,50	2,51	2,50	2,50		
8	8	-0,1	+0,1	8,00	7,99	7,99	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		
9	2,3	-0,1	+0,1	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30		
10	pr.28	-0,1	+0,1	28,07	28,07	28,07	28,07	28,07	28,07	28,07	28,07	28,07		
11	1,1	-0,1	+0,1	1,11	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,12	1,12		
12	2,4	-0,1	+0,1	2,70	2,44	2,44	2,40	2,40	2,40	2,40	2,43	2,43		
13	pr.22,2	-0,2	+0,2	22,30	22,30	22,30	22,30	22,30	22,30	22,29	22,29			
14	vizuální kontrola			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
DATUM				25.4.	26.4.	26.4.	26.4.	26.4.	26.4.	26.4.	26.4.	26.4.		
JMENO				Š.	D.	D.	F.	F.	F.	F.	F.	D.		

Obr. 29 Měřicí protokol pro daný obrobek.

6.6 Zhodnocení

Během obrábění se vyskytlo několik problémů. Jedná se zejména o dodržení požadované výrobní tolerance, zejména rozměru $\varnothing 30,5u8$ mm na obvodu obrobku. Aspektem, který tento parametr značně ovlivňoval, je druh a vlastnosti materiálu obrobku. S tím souvisí i současný postup při obrábění. Aktuálně vyrobení jednoho kusu obrobků trvá 1,12 minut (67 sekund). Tento čas je prodloužen kvůli volbě postupu soustružení. Jedná se o před-soustružení (zápichu a obvodového tvaru). Výroba by se bez těchto přidaných operací zrychlila o 0,16 minut (přibližně 10 sekund) na jednom obrobku. Před zavedením současného výrobního postupu se testovala řada technologických parametrů (velikost řezné rychlosti, posuvů, volené nástroje a podobně). Jednou možností bylo využití žihání na odstranění vnitřního pnutí v materiálu. Tato možnost byla ale zamítnuta na žádost zákazníka. Dále je nutné čištění kleštinového upínače ($\varnothing 32$ mm) pro přesné upnutí obrobků. Pokud je kleština již příliš zanešená nečistotami, projeví se to především v odlišné celkové délce. Vyčištění kleštiny toto riziko minimalizuje.



Obr. 30 Ukázka zanešení kleštiny nečistotami.

Je nutné nezapomenout na vliv změn teploty na obráběcí proces. Obrobek se vyrábí na neklimatizované hale, poklesy teplot přes den a noc jsou někdy citelné a mají na dodržení přesnosti vliv také. S tím souvisí i doplňování procesní kapaliny do nádrže CNC soustruhu. Pokud se přileje větší množství procesní kapaliny, je nutné brát v úvahu možné odchýlení zvláště obvodového rozměru $\varnothing 30,5u8$. Daný operátor během výroby tedy neustále pracuje s korekcí nástrojů pro zajištění přesných rozměrů. Také kontroluje aktuální stav nástrojů a vyhodnocuje, zda není nutná včasná výměna. Přestože je cyklus zcela automatický, lidský faktor nelze z procesu obrábění vyloučit. Na závěr je vhodné menší porovnání současné výroby s alternativními postupy a CNC soustruhy. U těch je možnost využití druhého pracovního vřetena (zbavení otřepů bez nutnosti další samostatné operace) a druhé nástrojové hlavy (výsledkem je vyšší produktivita).

Tab. 3 Srovnání alternativních způsobů výroby.

CNC soustruh	Počet obrobků (za 720 minut)
Mori-Seiki NL1500	640
Nakamura Tome 150 WT	800
JSL32AB	900



Obr. 31 Hotové obrobky.

7 DISKUZE

Během zpracování uvedené rešerše se objevily dvě zajímavé praktické souvislosti.

Prvním zjištěným faktem byla možnost nečekané záměny břitových destiček, zejména při výměně za neopotřebovanou destičku. Při výměně opotřebované břitové destičky pro soustružení závitů došlo k nepatrné záměně typu břitové destičky. Konkrétně se jednalo o smysl orientace břitu (pravý, levý). Naštěstí došlo k včasnému odhalení této skutečnosti, ačkoliv byla destička již zajištěna šroubem a připravena k závitovému cyklu. Došlo ale k jasné ukázce vlivu lidského faktoru na výsledky obráběcího procesu. Kvůli záměně mohlo dojít ke vzniku problémů. Při ponechání zaměněné břitové destičky by mohlo dojít v krajním případě k havárii a poškození držáku břitové destičky. Nicméně mohlo dojít pouze k nevytvoření profilu závitu bez možného poškození.

Druhý zjištěný fakt se týká obráběcích médií. Při soustružení na totožných CNC soustruzích se použila stejná procesní kapalina s téměř totožnou koncentrací v obou nádržích soustruhu. Již na pohled je patrná odlišná barva procesní kapaliny u konkrétních CNC soustruhů. Na prvním soustruhu se obrábí především konstrukční nebo korozivzdorná ocel. Druhý se využívá pro obrábění barevných kovů, hlavně se jedná o slitiny mědi (mosaz). Problém nastává při zbavení odmaštění po obrobení. Procesní kapalina značně penetruje do povrchu obrobku a i při důkladném mytí a odmaštění zůstávají viditelné stopy po kapalině. To může mít vliv na výsledek obrábění, obzvláště když tyto stopy zůstanou i po kooperaci (galvanické pokovení). Otázkou je, zda nedochází k reakci mědi s procesním médiem a nevytváří se tím podmínky pro vznik těchto defektů, nebo zda je to vliv pouze použité procesní kapaliny. Aktuálně se proto testuje jiný typ chladicího media od jiné společnosti, určený především pro obrábění barevných kovů. Nyní se chystá analýza nasbíraných výsledků a pozorování.



Obr. 32 Ukázka zbarvení totožné procesní kapaliny v nádržích CNC soustruhů.

ZÁVĚR

Obrábění s využitím současných CNC strojů je technologie, která přinesla možnost vyšší produktivity, automatizace a vysoké přesnosti do oblasti obrábění. Při porovnání prvních NC strojů a současných CNC strojů je viditelný značný rozdíl mezi možnostmi daných strojů. Tato progresivní technologie téměř zcela vytlačila tradiční obrábění na konvenčních strojích a přinesla nové standardy i možnosti. Nadále neustává vývoj řídicích systémů, konstrukce a zdokonalování těchto obráběcích strojů. Důraz se klade na rychlost a možnost propojení pomocí počítačové sítě, dálkové diagnostiky i využití počítačových aplikací při výrobním procesu a zvyšování nároků na výrobní přesnosti. S tím, jak se vyvíjí tyto stroje, souvisí vývoj sortimentu nástrojových materiálů používaných při obráběcích procesech. Pokroky ve výpočetní technice přispěly značnou mírou ke zdokonalení i zjednodušení procesu výroby. V současnosti je relativně snadné vytvořit model obrobku, převést pomocí vhodné aplikace do G-kódu a následně vytvořit simulaci programu. Počítače tedy mají svoji důležitou úlohu jak při řízení CNC strojů, tak i při samotném výrobním procesu. Zároveň však je nutné držet krok s vývojem a nadále sledovat nové trendy a postupy v technologii obrábění za využití CNC strojů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění* [online]. 2009 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-1_8536.html
2. *Factory automation: 10 dat z historie obrábění na CNC strojích* [online]. 2016 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>
3. *Computer Numerical Control: Introduction* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://cnc.fme.vutbr.cz/>
4. *CMSNA: A Brief History on CNC Machining* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: https://www.cmsna.com/a-brief-history-on-cnc-machining-c-56_68.html
5. MAREK, J. *MM Průmyslové spektrum, speciální vydání: Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM publishing, 2006, 282 s. ISSN 1212-2572.
6. VOŠ A SPŠ Žďár nad Sázavou: *Učební materiály* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://sstzr.cz/download/cat1/ucebnicecnc.pdf>
7. *CNCCookBook: History of CNC* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/what-does-cnc-stand-for-machine/>
8. *Střední odborná škola Jana Tiraye: Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
9. BRYCHTA, Josef, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 140 s. ISBN 978-80-248-2941-8.
10. *Factory automation: Řídicí systémy CNC strojů* [online]. 2014 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-jejich-historii/>
11. VASILKO, Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov: Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach, so sídlom v Prešove, 2007, 481 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
12. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
13. HUMÁR, A. *Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie obrábění: 1. část* [online]. 2003 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
14. KOČMAN, K, PROKOP J. *Technologie výroby II* [online]. 2002 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnVyroby_II.pdf
15. HLUCHÝ, M. *Strojírenská technologie I*. Praha: SNTL, 1984, 176 s.
16. MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 1. díl*. Praha: ČVUT, 2000, 79 s. ISBN 80-010-2091-6.
17. *GARANT příručka obrábění*. 2006. 641 s.

18. HUMÁR, A. *Výrobní technologie* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie_II.pdf
19. FRISCHHERZ, Adolf a Herbert PIEGLER. *Technologie zpracování kovů: Odborné znalosti*. 4. vyd. Praha: SNTL, 2001. ISBN 80-902-6551-0.
20. FRISCHHERZ, Adolf. *Technologie zpracování kovů 1: základní poznatky*. 5. vyd. Praha: SNTL, 2004. ISBN 80-902-6555-3.
21. MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2610-8.
22. PRAMET *příručka obrábění*. 2004. 101 s.
23. FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T. *Nástrojové oceli*. Dům techniky Brno, Brno: Brno, 1994, 229 s.
24. HUMÁR, A. *MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE* [online]. 2006 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pr_o_rezne_nastroje_v2.pdf
25. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o.: *Technická příručka*. 2010, 802 s.
26. *MMSpektrum: Nová generace povlakovaných cermetů* [online]. [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-povlakovanych-cermetu.html>
27. *Taegutec - Příručka obrábění* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabeni_331.pdf
28. *MMSpektrum: Trendy v PVD a CVD povlakování* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-pvd-a-cvd-povlakovani.html>
29. MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1864-6.
30. DRÁB, V. *Technologie I*. 2. vyd. Liberec: VŠST, 1985, 295 s.
31. BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.
32. VELÍŠEK, Karol. *Obrábacie stroje*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2001, 207 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-1498-4.
33. NĚMEC, D. *Strojírenská technologie 3 - strojní obrábění*. 2. vyd. SNTL Praha, 1982, 320 s.
34. MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 3. díl*. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-010-2091-6.
35. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
36. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 420 s. ISBN 80-730-0207-8.
37. *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-5_8540.html

-
38. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
 39. MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 2. díl*. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2091-6.
 40. ŠVARC, Ivan. *Automatizace: automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 201 s. ISBN 80-214-2087-1.
 41. *MM spektrum: DNC síť - a co dál?* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dnc-sit-a-co-dal.html>
 42. CHUDOBA, M. *EMCO WinNC FANUC 21 TB soustružení. Uživatelská příručka* [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: http://www2.sps-jia.cz/~hill/fanuc_t_prirucka.pdf
 43. BRYCHTA, Josef. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014, 173 s. ISBN 978-80-248-3522-8.
 44. OVERBY, Alan. *CNC machining handbook: building, programming, and implementation*. New York: McGraw-Hill, 2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
 45. *CNCcookbook: cnc-programming-g-code* [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/cnc-programming-g-code/>
 46. VASKÝ, Jozef a Eduard NEMLAHA. *CAD/CAM systémy*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2003. ISBN 80-227-1882-3.
 47. *MMspektrum: Odměrovací systémy a jejich vliv na přesnost* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/odmerovaci-systemy-a-jejich-vliv-na-presnost.html>
 48. *MMspektrum: Vliv vybraných parametrů procesu na řezné síly při HSC* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vliv-vybranych-parametru-procesu-na-rezne-sily-pri-hsc.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_p	mm	šířka záběru ostří
CAD	-	počítačová podpora designu
CAM	-	počítačová podpora výroby
CIM	-	počítačově integrovaná výroba
CNC	-	počítačově číslicově řízené
Co	-	prvek kobalt
Cr	-	prvek chrom
C_T	-	konstanta
CVD	-	chemické napařování (metoda povlakování)
DNC	-	přímé číslicové řízení
HSC	-	vysokorychlostní obrábění
HSS	-	rychlořezná ocel
KNB	-	kubický nitrit bóru
KT	mm	hloubka výmolu na čele
KV_y	mm	radiální opotřebení špičky
m	-	exponent
MDI	-	manuální zadávání dat
MIT	-	Massachusettský technologický institut
Mn	-	prvek mangan
Mo	-	prvek molybden
NC	-	numericky řízené
Ni	-	prvek nikl
NO	-	nástrojová ocel
P, K, M, N, S, H	-	značení tříd slinutých karbidů
PD	-	polykrystalický diamant
PLC	-	programovatelný logický automat
PVD	-	fyzikální napařování (metoda povlakování)
R_z	μm	maximální výška profilu
Si	-	prvek křemík
SK	-	slinuté karbidy

Ti(C,N)	-	karbonitrid titanu, chemická sloučenina
TiC	-	karbid titanu, chemická sloučenina
TiN	-	nitrid titanu, chemická sloučenina
V	-	prvek vanad
VB	mm	šířka opotřebení fazetky na hřbetě
VBD	-	vyměnitelná břitová destička
v_c	mm.min ⁻¹	řezná rychlost
W	-	prvek wolfram

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Vývojové generační etapy obráběcích CNC strojů
- Příloha 2 Plochy obrobku
- Příloha 3 Třídy slinutých karbidů
- Příloha 4 Povlakované slinuté karbidy
- Příloha 5 Metody povlakování slinutých karbidů
- Příloha 6 Kritéria a mechanismy opotřebení břitu nástroje
- Příloha 7 Značení soustružnických nožů
- Příloha 8 Sousledné a nesousledné frézování
- Příloha 9 Základní a pomocné funkce pro programování CNC strojů
- Příloha 10 Doplnující informace ohledně G-kódu
- Příloha 11 NC program vzorové ukázky obrobku

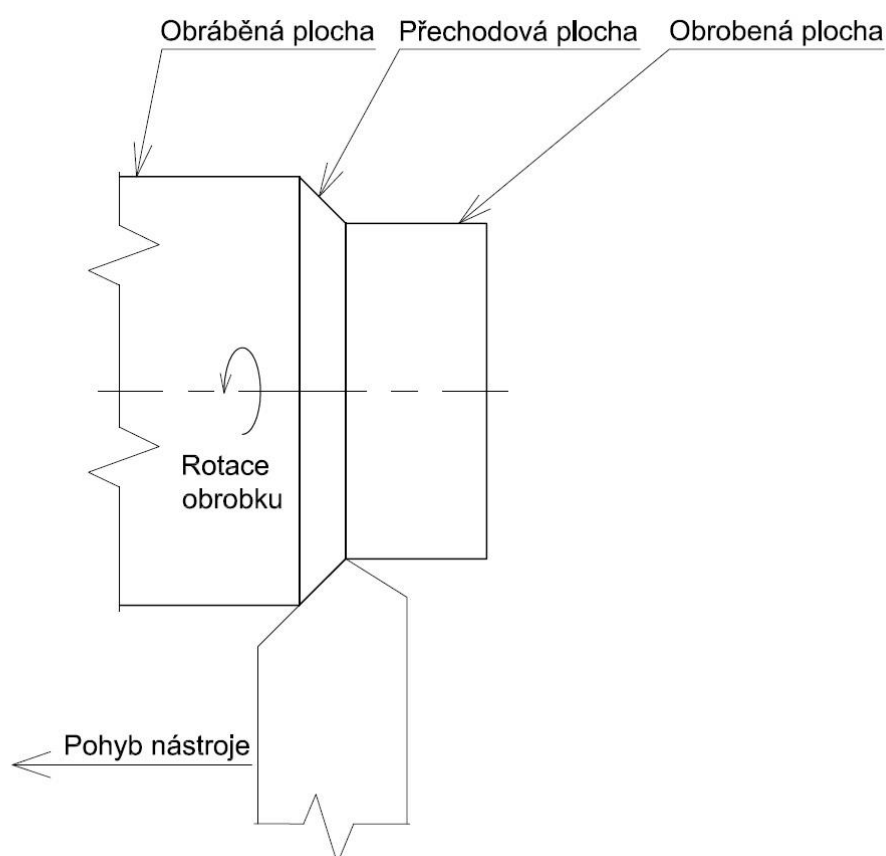
Vývojové generační etapy obráběcích CNC strojů [5, 10]:

- *Stroje první generace* – do této skupiny patří NC stroje, které byly pouze odvozeny od běžných konvenčních strojů a byly přizpůsobeny pro první NC řídicí systémy. Výrobní proces nedosahoval velkých přesností, dalším záporům byla nízká spolehlivost. U této skupiny nebyly použity charakteristické znaky NC obráběcích strojů. V současnosti se již nevyužívají.
- *Stroje druhé generace* – již konstruovány s ohledem na požadavky číslicového řízení. Řídicí systém umožnil řízení v obecných cyklech. Stroje byly vybaveny automatickou výměnou nástrojů pomocí revolverových hlav, opotřebované nástroje v zásobníku se vyměňovaly ručně. Tyto stroje jsou nevhodné do automatizovaných výrobních soustav.
- *Stroje třetí generace* – tyto stroje jsou již aplikovány ve výrobních soustavách. Dalším znakem je automatická výměna nástrojů a obrobků, zvětšení kapacity zásobníku stále s ruční výměnou opotřebovaných nástrojů.
- *Stroje čtvrté generace* – stroje jsou již plně automatizovány (manipulace třísek, mezioperační výměna, výměna opotřebovaných nástrojů). Uplatněno je i výrazné modulární sestavení, dále dokonalejší konstrukce.
- *Stroje páté generace* – u těchto typů došlo k využití mechatronických prvků. Tedy elektronická kompenzace chyb polohování, měření obrobků při obrábění pomocí měřících sond a korekce programu pro dosažení požadovaných přesností. Objevuje se i laserové odměřování a optimalizace rezných podmínek.
- *Stroje šesté generace* – tato skupina je výsledkem předchozího vývoje a snahy snižování časů výměny nástroje, obrobků s kvalitními řídicími systémy, možností dálkové diagnostiky a ultra-přesného obrábění.

Plochy obrobku

Obráběná plocha je plocha určená k obrobení za pomoci procesu řezání, jde tedy o část povrchu obrobku přetvářenou obráběním. *Obrobená plocha* je prioritním výstupem obráběcího procesu. Tuto plochu lze identifikovat pomocí parametrů vztažených k jmenovité ploše, patří sem úchylky rozměrů, tvaru, plochy, struktura a vlastnosti povrchové vrstvy. Na obrobenou plochu mají vliv technologické parametry, které lze členit na systematicky konstantní (chyby při seřízení obráběcího stroje, úchylka rozměru či tvaru nástroje), systematicky proměnné (opotřebení nástroje, tepelné deformace) a náhodné (rozptýlení přídavků na obrábění a vlastností obráběného materiálu). V důsledku řezného procesu je povrchová vrstva obráběné plochy ovlivněna fyzikálními i chemickými procesy, což má za následek změnu mechanických vlastností, strukturní deformace, různé vady, zbytková napětí a zpevnění. Hloubka a intenzita zpevnění souvisí s vlastnostmi obráběného materiálu, podmínkách deformace a s řeznými parametry jako je řezná rychlost v_c a šířka záběru ostří a_p (nejkratší vzdálenost mezi obráběnou a obrobenou plochou). Kovy s dobrou deformací (ocel, slitiny hliníku) se během obrábění zpevňují intenzivněji než kovy křehké. Plocha, která vzniká vlivem ostří řezného nástroje, se nazývá *přechodová plocha* [11, 13, 14].

Zobrazení jednotlivých ploch obrobku při podélném soustružení:



Třídy slinutých karbidů [12, 13, 16, 22, 24, 25]:

- *Skupina P* (modré značení) je určena pro obrábění ocelí, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Přísada TiC (karbid titanu) nám zaručí vysokou tvrdost a odolnost proti otěru. Tyto karbidy jsou náchylnější na křehký lom. Jsou vhodné pro materiály tvořící dlouho třísku.
- *Skupina K* (červené značení) je vyhrazena pro obrábění materiálů s tvorbou krátké a drobné třísky. Aplikace zejména u litin, neželezných slitin a nekovových materiálů. Karbid wolframu tvoří jedinou strukturní složku této skupiny. Tato skupina má největší houževnatost, avšak nižší odolnost proti difúznímu otěru.
- *Skupina M* (žluté značení) má univerzální použití. Vhodné pro materiály tvořící dlouhou i střední třísku, například lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Díky vysoké houževnatosti této skupiny se tyto karbidy hodí pro hrubovací a přerušované řezy.
- *Skupina N* (zelené značení) je cílena na obrábění neželezných materiálů, jako jsou slitiny hliníku, mědi, plasty a kompozity. Břitové destičky mívají pozitivní tvar a ostré břity. Řezná kapalina má za úkol především během obrábění odvod třísky ze zóny řezání.
- *Skupina S* (hnědé značení) je určena pro speciální žárupevné slitiny na bázi niklu, železa, kobaltu a titanu. Obrobitelnost těchto slitin je obtížná (článkovitá tříška), proto je k tomu účelu uzpůsobená tato třída slinutých karbidů. Řezné síly a požadovaný výkon jsou značené.
- *Skupina H* (tmavošedé značení) se využívá při obrábění tvrzených (zušlechťených) ocelí. Jedná se o alternativu broušení obrobků. Nástroj musí mít vynikající odolnost proti plastické deformaci, chemickou stabilitu, mechanickou pevnost s odolností proti abrazivnímu opotřebením.

Povlakované slinuté karbidy

Jedná se o běžné slinuté karbidy, na které se nanáší tenká vrstva (TiC, TiN, oxidy hliníku) v řádu mikrometrů s vysokou tvrdostí a výbornou odolností proti opotřebení. Povlakovaný materiál neobsahuje žádné pojivo, má jemnější zrnitost, méně strukturních defektů a tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. V současnosti je převážná část SK opatřena povlakem. Využívají se dvě základní metody povlakování – metoda CVD (chemické napařování) a metoda PVD (fyzikální napařování). Výhodou těchto karbidů je vyšší odolnost proti opotřebení a trvanlivost nástroje. První povlakovanou břitovou destičku vyrobila švédská firma Sandvik Coromant v roce 1969. V současnosti existuje již 4. generace vícevrstvých povlaků [13, 16, 19].

Metody povlakování slinutých karbidů

Metoda CVD (*Chemical Vapor Deposition*) využívá chemické reakce při teplotách od 700 °C. Povlaky zhotovené touto metodou mají vysokou odolnost proti otěru a vynikající adhezi ke slinutým karbidům, vhodné jsou pro nepřerušovaný řez. Prvním zástupcem byl jednovrstvý povlak z karbidu titanu (TiC), později se využil nitrid titanu (TiN). Jejich aplikací byla zajištěná dobrá adheze, odolnost difuzi a rovnoměrné pokrytí. Nově vyvinuté povlaky z karbonitridu titanu lépe chrání povrch slinutého karbidu a udržují jej neporušený. Karbidy s CVD povlakem se aplikují převážně při soustružení korozivzdorné oceli a frézování materiálu a u vrtání se využívají pro obvodové destičky. K nevýhodám této metody patří vysoké teploty, střídání pracovních plynů, nemožnost vytvářet ostré hrany a zbytková napjatost [24, 25, 27, 28].

Povlaky PVD (*Physical Vapor Deposition*) jsou nanášeny při nízkých teplotách do 600 °C a malých tlaků. Při procesu dochází k odpaření kovu, který reaguje s dusíkem, přičemž dochází ke vzniku tvrdého nitridového povlaku. Výsledkem je odolnost proti otěru, nárůst houževnatosti a odolnosti proti tepelným hřebenovým trhlinám. Nitrid titanu byl prvním povlakem nanášený metodou PVD, má univerzální použití a zlatou barvu. Moderní povlaky obsahují mnoho tenkých vrstev (1÷5 μm). Vlivem nitridů a oxidů dochází ke zvýšení korozní odolnosti povlakovaných materiálů. Povlaky třídy PVD jsou určeny pro houževnaté ostré břity a materiály ulpívající na břitu. Existují různé metody PVD povlakování (katodický oblouk, magnetron, napařování). Využívají se dále na monolitní karbidové frézy, vrtáky a nástroje pro zapichování nebo řezání závitů, případně pro dokončovací aplikace při přerušovaných řezech. Nevýhodou je složitý vakuový systém a nutný pohyb pro rovnoměrné rozložení povlaku [24, 25, 27, 28].

Kritéria opotřebení:

- VB – šířka fazetky opotřebení na hřbetě,
- KT – hloubka výmolu na čele,
- KV_y – radiální opotřebení špičky (důležité u dokončovacích operací).

Základní mechanismy opotřebení:

- abraze (brusný otěr),
- adheze (vznik porušování mikrosvarových spojů),
- difuze (migrace atomů),
- oxidace (vznik chemických sloučenin),
- plastická deformace,
- křehký lom (vysoké mechanické zatížení) [13].

Ukázka opotřebení na břitové destičce ze SK.



Počátkem 20. století bylo zjištěno (F. W. Taylor), že největší vliv na trvanlivost (opotřebení) má řezná rychlost. Byl tedy odvozen vzájemný vztah těchto dvou veličin, někdy označován Taylorův vztah (rovnice 2.8) [13].

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ [min]} \quad (2.8)$$

C_T – konstanta [–], (obvykle $10^9 \div 10^{13}$)
 v_c – řezná rychlost [$m \cdot \text{min}^{-1}$]
 m – exponent [–]

Značení soustružnických nožů pro vnější soustružení podle normy ISO [35]:

1	2	3	4
Způsob upínání	Tvar destičky	Tvar nože - úhel nastavení	Úhel hřbetu α_c
C	S 80°	A 90°	N $\alpha_c = 0^\circ$
P	T 55°	B 75°	C $\alpha_c = 7^\circ$
M	R 55°	C 90°	P $\alpha_c = 11^\circ$
S	W 35°	D 45°	
X	L X Special	D 90°	
		E 60°	
		F 90°	
		G 90°	
		H 107°30'	
		J 93°	
		K 75°	
		L 95°	
		M 50°	
		N 62°30'	
		P 117°30'	
		Q 107°30'	
		R 75°	
		S 45°	
		S 60°	
		T 60°	
		U 93°	
		V 72°30'	
		W 60°	
		X SPECIÁLNÍ	
		Y 85°	
		Z	
		K	

5
Směr řezu
R
L
N

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
C	K	J	N	R	-	32	25	L	19	-
										S

6						
Výška držáku (mm)						
08	10	12	16	20	25	
32	38	40	45	50		

7						
Šířka držáku (mm)						
08	10	12	16	20	25	
32	40	50				

8	
Celková délka	
	l, [mm]
H	100
J	110
K	125
L	140
M	150
N	160
P	170
Q	180
R	200
S	250
T	300
U	350
V	400
W	450
X	Spec.
Y	500

9							
Velikost destičky							
	S	C	D	V	K	W	T
d [mm]							
6,00							06
6,35		06	07	11			11
8,00							08
9,525	09	09	11	16	19	06	16
10,00							10
12,00							12
12,70	12	12	15			08	22
15,875	15	16					27
16,00							16
19,05	19	19					19
20,00							20
25,00							25
25,40	25	25					25

10	
Údaje výrobce	
M	Způsob upínání "S" s podložkou
S	Se seřizovacími šrouby

Značení soustružnických nožů pro vnitřní soustružení podle normy ISO [35]:

1	
Provedení držáku	
S	Ocelový držák
A	Ocelový držák s chladičím otvorem

2				
Průměr držáku (mm)				
08	10	12	16	20
25	32	40	50	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	40	T	-	P	C	L	N	L	12	-
									X	

3	
Celková délka	
	l, [mm]
H	100
J	110
K	125
L	140
M	150
N	160
P	170
Q	180
R	200
S	250
T	300
U	350
V	400
W	450
X	100
Y	500

4	
Způsob upínání	
C	
P	
M	
S	
X	

2	
Tvar destičky	
S	
T	
R	
W	
L	
C	80°
D	55°
K	55°
V	35°
X	Special

3				
Tvar nože - úhel nastavení				
A	B	C	D	D
90°	75°	90°	45°	
E	F	G	H	J
60°	90°	90°	107°30'	93°
K	L	M	N	P
75°	95°	50°	62°30'	117°30'
Q	R	S	S	T
107°30'	75°	45°		60°
U	V	W	X	Y
93°	72°30'	60°	SPECIALNÍ	85°
Z				
K				

7		
Úhel hřbetu		
N	C	P
$\alpha_n = 0^\circ$	$\alpha_n = 7^\circ$	$\alpha_n = 11^\circ$

9							
Velikost destičky							
	S	C	D	V	K	W	T
d [mm]							
6,00		06	07	11			11
6,35							
8,00							08
9,525	09	09	11	16	19	06	16
10,00							10
12,00							12
12,70	12	12	15			08	22
15,875	15	16					27
16,00							16
19,05	19	19					19
20,00							20
25,00							25
25,40	25	25					25

8	
Směr řezu	
R	
L	

10	
Údaje výrobce	
X	Speciální provedení stopky
.	
87	
90	Hodnota úhlu K u nože tvaru "Z"
93	
.	

Sousledné frézování

Při tomto způsobu frézování je posuv a řezný pohyb totožného směru. Tuto variantu je vhodné využít vždy, když to umožňuje stroj, přípravek a obrobek. Při vnikání břitu do materiálu obrobku dosahuje tloušťka třísky svého maxima, postupně se zmenšuje, až na konci řezu dosáhne nulové hodnoty. Výhodou je delší trvanlivost nástroje, jakost obrobených ploch a to, že řezné síly přitahují obrobek směrem k fréze a udržují břit v řezu. Nevýhodou jsou silové rázy při záběru zubu do materiálu. Jestliže má fréza tendence nechat se vtahovat do obrobku, je nutné využít nesousledné frézování. Tato metoda není vhodná pro frézování pro odlitky a válcované polotovary. Sousledné frézování lze provádět pouze na frézkách k tomu přizpůsobených (posuvový šroub nesmí mít vůli) [19, 25, 33].

Nesousledné frézování

Během tohoto frézování je posuv realizován proti řeznému pohybu zubu (rotaci). Tloušťka třísky začíná od minima a postupně se zvyšuje do maximálních hodnot. To má za následek ulpívání či návar třísek na břit, nebo okamžité vylamování ostří a horší jakost obrobené plochy. Řezné síly tlačí frézu a obrobek od sebe, radiální síly mají tendenci zvedat obrobek ze stolu. Vlivem tahovým pnutím při opuštění břitu frézy může dojít k rychlejšímu poškození. Metoda je vhodná při značných rozdílech velikostí přídavků na obrábění a při využití keramických břitových destiček pro obrábění (keramika je citlivá na rázy při vstupu do řezu). Tento způsob je možný u každé frézky [19, 25, 33].

Tab.4 Některé základní a pomocné funkce [36, 38].

<i>Kód</i>	<i>Význam</i>
G00	Lineární interpolace-rychloposuv
G01	Lineární interpolace-pracovní posuv
G02	Kruhová interpolace-směr hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace-proti směru hodinových ručiček
G33	Řezání závitu
G40	Zrušení korekcí
G41	Zapnutí korekce-ekvidistanta vlevo od kontury
G42	Zapnutí korekce-ekvidistanta vpravo od kontury
G54, G59	Posunutí nulového bodu
G90	Absolutní programování
G91	Přírůstkové programování
G92, G50	Omezení otáček
G96	Konstantní řezná rychlost
G98	Uživatelsky programovatelná funkce
M01	Volitelné zastavení (většinou po ukončení cyklu nástroje)
M03	Spuštění otáček vřetene ve směru hodinových ručiček
M04	Spuštění otáček vřetene proti směru hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetene
M06	Výměna nástroje, doplnění délkovými korekcemi
M07, M08	Spuštění čerpadla (chlazení)
M09	Vypnutí čerpadla
M17	Konec podprogramu
M30	Ukončení hlavního programu

Doplňující informace ohledně G kódu

Jde o příkazový programovací jazyk, který regulátor interpretuje do diskretních pohybů a režimů. Jazyk je standardizován a definován normou ISO (ČSN ISO 6983). Jeho původ sahá do 50. let minulého století, v 60. letech byly první pokusy o standardizaci (poslední ratifikace proběhla v roce 1980). V současnosti je G-kód považován za standart pro řízení CNC strojů, někdy je označován jako RS274D. Kromě standartních základních příkazů jsou možné další od dodavatele řídicího systému. Znalost příkazů je nutná hlavně při ruční tvorbě programů. Programátoři však v praxi často využívají možnosti některé z CAM (computer aided manufacturing) aplikací, kdy je možné se spolehnout na post procesor daného softwaru. Tyto aplikace vygenerují G-kód z výkresu ve formátu CAD (computer aided design). Výhodná je i možnost simulace před nahráním a otestováním programu při výrobě prvního kusu obrobku. Následně se provádí konečné úpravy programu před spuštěním cyklu a zahájení výroby [44, 45].

NC program vzorové ukázky obrobku

04104 (VENTILSITZ) ;
G10 L12 P1 Z-268.1 (NULO VY BOD VLEVO) ;
G50 S4000 ;
N10 (PODANI TYCE) ;
/2 M98 P8992 (TEST KONCE TYCE) ;
N20 (DOKOCENI PODANI) ;
G0 G53 X-200. Z-300. ;
M01 ;
M69 ;
N12 ;
G0 G97 G99 G54 T0400 M3 S3000 ;
X37. Z-9.6 T0404 M8 (ZAPICH) ;
G1 X22. F.1 ;
G0 X35. ;
M9 ;
G0 G53 X-200. Z-250. T0400 ;
N06 ;
M01 ;
G0 G97 G99 G54 T0600 M3 S2500 ;
X36. Z-10.5 T0606 M8 (TVAROVY NUZ) ;
G1 X29. F.08 ;
X40. F.5 ;
G0 G53 X-200. Z-250. M9 ;
M01 ;
M5 ;
M200 ;
N05 ;
G0 G97 G99 G54 T0500 M3 S3500 ;
X16. Z2. T0505 M8 (NUZ DO DIRY R .4) ;
G1 Z-10. F.1 ;
G0 Z2. ;
G1 X19. ;
Z-10. ;

U-.5 ;
G0 Z-.2 ;
G1 X26. F.06 ;
X29. Z.08 ;
X31. ;
W.1 ;
X26. ;
Z-.1 ;
X22.8 , C.03 ;
X20.7 , A215 R.2 ;
Z-9.8 ;
U-.5 ;
G0 Z50. ;
G0 G53 X-200. Z-250. M9 ;
M01 ;
N06 ;
G0 G97 G99 G5 T0600 M3 S2500 ;
X36. Z-10.5 T0606 M8 (TVAROVY NUZ) ;
G1 X29. F.08 ;
X28. F.02 ;
G04 U.7 ;
G40 F.5 ;
G0 G53 X-200. Z-250. M9 ;
M01 ;
M201 ;
N03 ;
M5 ;
G0 G97 G99 G54 T0300 M3 S3200 ;
G0 X28.6 Z2. T0303 M8 (ZAPICH DO CELA) ;
G1 Z-1. F.03 ;
Z-.8 ;
G1 Z-2.6 , R.2 F.03 ;
X28.2 ;
Z2. F.2 ;

X32. ;
Z0. ;
X28.6 , C.4 F.03 ;
Z-1. ;
Z-.15 F.3 ;
X26.15 (PR.24.1) ;
Z-.3 ;
X26.95 , C.4 F.05 ;
Z-1. ;
Z-.8 ;
Z-2.6 , R.3 ;
X27.7 ;
G0 Z20. ;
G0 G53 X-200. Z-250. M9 ;
M01 ;
M5 ;
N12 ;
G0 G97 G99 G54 T0400 M3 S3000 ;
X37. Z-9.6 T0404 M8 (UPICH) ;
G1 M74 ;
X22. F.1 M73 ;
X17. F.03 S1000 M9 ;
G0 X35. M74 ;
M9 ;
G0 G53 X-200. Z-250. T0400 ;
M89 (POCITADLO) ;
M01 ;
M5 ;
N120 (DORAZ) ;
G0 G54 T09 09 M9 ;
G98 ;
G0 Z4. ;
M11 ;

G4 U1. ;

G0 Z-.5 ;

M482 ;

M10 ;

G4 U-1 ;

Z30. ;

G0 G53 X-200. Z-300. M9 ;

M01 ;

M5 ;

(POCITADLO) ;

/M99 ;

M30 ;

%