



**PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE**
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

a

Žilinská univerzita v Žilině

Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů

prof. Dr. Ing. **Josef BRYCHTA**

prof. Ing. **Andrej CZÁN**, PhD

doc. Ing. **Robert ČEP**, Ph.D.

Ing. **Jiří KRATOCHVÍL**, Ph.D.

Ing. et Ing. Mgr. **Jana PETRŮ**, Ph.D.

doc. Ing. **Marek SADÍLEK**, Ph.D.

doc. Ing. **Dana STANČEKOVÁ**, PhD.

Ing. **Tomáš ZLÁMAL**

Ostrava

2014

Oponent: doc. Ing. Michal HATALA, PhD.

Název: Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů
Autoři: Josef BRYCHTA, Andrej CZÁN, Robert ČEP, Jiří KRATOCHVÍL,
Jana PETRŮ, Marek SADÍLEK, Dana STANČEKOVÁ, Tomáš ZLÁMAL
Vydání: první, 2014
Počet stran: 173
Náklad: 50 ks
Vydavatel a tisk: VŠB-TU Ostrava

Studijní materiály pro vzdělávání pracovníků z praxe

Jazyková korektura: nebyla provedena

Určeno pro projekt:

OPERAČNÝ PROGRAM CEZHRANIČNEJ SPOLUPRÁCE SLOVENSKÁ REPUBLIKA -
ČESKÁ REPUBLIKA 2007 - 2013

Prioritná os: 1. Podpora sociokultúrneho a hospodárskeho rozvoja cezhraničného
regiónu a spolupráce

Oblasť podpory: 1.3 Vzdelávanie, trh práce a zamestnanosť

Název: Podpora zvyšovania kvalifikácie pracovnej sily v oblasti moderných technológií
obrábění a metrologie

Číslo: ITMS 22410320051

Hlavný partner: VŠB - Technická univerzita Ostrava

Hlavný cezhraničný partner: Žilinská Univerzita v Žiline

© Josef BRYCHTA, Andrej CZÁN, Robert ČEP, Jiří KRATOCHVÍL, Jana PETRŮ,
Marek SADÍLEK, Dana STANČEKOVÁ, Tomáš ZLÁMAL, 2014

© VŠB-Technická univerzita Ostrava

ISBN 978 – 80 – 248 – 3522 – 8

Úvodní slovo

Předkládané studijní materiály jsou určeny pro vzdělávání pedagogů a odborných pracovníků středních škol. Jejím obsahem je studijní podpora zaměřená zejména na moderní metody výuky v oblasti výrobních technologií.

Tento vzdělávací program je zaměřen na aplikaci vysokoproduktivního obrábění HPM (High Productive Machining) do technické praxe strojírenských podniků. Dále potom na nové řezné materiály používané pro tuto technologii výroby. Jednou z předních progresivních technologií současnosti je tzv. 3D - prostorové obrábění. Proces řezání (třískového obrábění) zde může být řízen simultánně (současně) ve více obráběcích osách. Zpravidla se jedná o metodu používanou při výrobě prostorově nepravidelných tvarových součástí, které jsou matematicky obtížně definovatelné.

Programování obráběcích strojů (NC programování) je jednou z nejdůležitějších částí technologické přípravy výroby, na které přímo závisí zejména časový a kvalitativní faktor výroby na počítačem řízených obráběcích strojích (CNC). Výhodou je především rychlá příprava bezchybných NC řídicích programů. Programování součástí hraje tedy významnou roli v efektivnosti nasazení NC techniky ve výrobním závodě. Přestože je využíváno rozsáhlých možností výpočetní techniky a příslušných softwarů (CAD/CAM systémy), jsou stále mnohé součásti programovány ručně. Bez ohledu na to, zda je výpočetní technika pro programování součástí používaná nebo ne, je třeba pro získání základních znalostí z oblasti NC techniky, rovněž ovládat i programování součástí, tj. sestavení řídicího programu pro vyrobení dané součásti na NC/CNC obráběcím stroji.

Mnoho úspěchů při hledání řešení technologických úkolů v oblasti progresivních technologií v obrábění a NC programování obráběcích strojů přejí autoři.

OBSAH

Seznam použitých symbolů a značek.....	3
1. ÚVOD – PROGRESIVNÍ METODY V OBRÁBĚNÍ	9
1.1 Vymezení základních pojmů a zákonitostí HPM	9
1.1.1 Vznik třísky a její tvarování	10
1.1.2 Měrná řezná síla	11
1.2 Aspekty a efekty vysokoproduktivního obrábění „HPM „.....	14
1.2.1 Oblasti deformací.....	17
1.3 Parametry HPM strojů	19
1.3.1 Technické parametry HSC strojů.....	19
1.3.2 Vysokootáčková vřetena a jejich uložení.....	21
1.4 Konstrukční a technologické požadavky na HPT	24
1.4.1 Technologické požadavky	24
1.4.2 Konstrukční požadavky.....	24
1.5 Složky síly řezání	25
1.6 Požadavky na vysokoproduktivní technologie	33
1.6.1 Rozbor splnitelnosti požadavků	34
1.6.2 Optimalizace polohy obrobku, nástroje a nosné části rámu	35
1.6.3 Konstrukční a technologické varianty řešení pro rotační obrobky.....	36
1.6.4 Obráběcí centra a klasifikace nerotačních součástí.....	38
1.7 Progresivní materiály nástrojů pro HPM	39
1.8 Nástroje pro vysokoproduktivní obrábění a jejich úpravy	41
1.8.1 Požadavky na současný řezný nástroj	42
1.8.2 Požadavky na současný řezný materiál	43
1.9 Přesnost obráběcích strojů a stabilita řezného procesu.....	43
1.9.1 Tuhost soustavy.....	44
1.9.2 Tepelné toky v pohonech posuvů a jejich eliminace	46
1.9.3 Integrovaná elektrovřetena s průtokově chlazeným statorem i rotorem	46
1.9.4 Vliv třísoých a pětisoých technologií a strategií na řešení HPM strojů.....	50
1.9.5 Měření dynamické kruhovitosti WHN 13 CNC stroje v ose YZ	52
KAPITOLA 1 - LITERATURA	56
2. REZNÉ MATERIÁLY PRE VYSOKORÝCHLOSTNÉ OBRÁBANIE	61
2.1 Rýchllorezné nástrojové ocele	63

2.2	Spekané karbidy	66
2.2.1	Vlastnosti spekaných karbidov	68
2.2.2	Povlaky spekaných karbidov	69
2.3	Cermety	73
2.4	Keramické rezné materiály	74
2.5	Kubický nitrid bóru.....	78
2.6	Diamant.....	78
KAPITOLA 2 - LITERATURA		81
3.	ZÁKLADNÍ OTÁZKY NC TECHNIKY V PODMÍNKÁCH STROJÍRENSKÉ VÝROBY	82
3.1	Počátky nasazování numericky řízených obráběcích strojů.....	82
3.2	Počátky nasazování počítačem číslicově řízených obráběcích strojů	83
3.3	Současnost - výroba podporovaná počítačem.....	83
4.	VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ A ZÁKONITOSTÍ PŘI NC PROGRAMOVÁNÍ	87
4.1	NC program	87
4.2	Řídící systém obráběcího stroje	88
4.3	Způsoby programování číslicově řízených obráběcích strojů.....	90
4.3.1	<i>Ruční programování NC/CNC obráběcího stroje v DIN/ISO kódu</i>	<i>90</i>
4.3.2	<i>Programování v interaktivním prostředí u ovládacího pultu na ploše obrazovky obráběcího stroje</i>	<i>91</i>
4.3.3	<i>Programování s využitím CAD/CAM systémů</i>	<i>93</i>
4.4	Souřadnicové systémy NC/CNC strojů	95
4.5	Kinematika soustružnických center	96
4.5.1	<i>2osé soustružení</i>	<i>97</i>
4.5.2	<i>4osé soustružení</i>	<i>97</i>
4.5.3	<i>Soustružení s poháněnými nástroji</i>	<i>98</i>
4.5.4	<i>Soustružení s využitím druhého vřetena - protivřetena</i>	<i>102</i>
4.6	Kinematika víceosých frézovacích center	103
4.7	Vztažné body CNC obráběcích strojů.....	109
5.	ASPEKTY PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	115
5.1	Výhody využití pokročilých řídicích systémů.....	116
KAPITOLA 3,4,5 - LITERATURA		122

6. PROGRAMOVÁNÍ NC STROJŮ	124
6.1 Struktura NC programu	124
6.2 Členění programu :	125
6.3 Podprogram	125
6.4 Postup tvorby programu	126
6.5 ISO PROGRAMOVÁNÍ	127
6.5.1 Význam nejpoužívanějších adres	127
7. SOUSTRUH – ŘÍDÍCÍ SYSTÉM MIKROPROG S	128
7.1 Pravidla pro zápis NC programu	128
7.2 G funkce [1].....	130
7.2.1 Pevné cykly.....	143
8. FRÉZKA EMCO ŘÍDÍCÍ SYSTÉM SINNUMERIK 810D	156
8.1 Nulové body	159
8.2 Programování řezného nástroje	162
8.3 Pracovní pohyby	163
8.4 Programování nejpoužívanějších cyklů	166
8.5 Využití CAM systému pro tvorbu programu	170
KAPITOLA 6,7,8 - LITERATURA.....	172

Seznam použitých symbolů a značek

Symbol	Význam	Jednotka
A	první bod dotyku břitu s obráběným materiálem	[-]
A _α	hřbetní plocha	[-]
A _γ	čelní plocha	[-]
AC	adaptivní systémy	[-]
ACC	Adaptive Control Constraint) AC systémy mezní	[-]
ACG	Adaptive Control Geometrical - AC systémy geometrické	[-]
ACO	Adaptive Control Optimizacion AC systémy optimalizační	[-]
ACG-G	Systémy - akční veličiny jsou geometrického charakteru	[-]
ACG-T	ACG systémy, akční veličina je technologického charakteru	[-]
ACO-D	ACO systémy s dynamickou optimalizací	[-]
ACO-S	ACO systémy se statickou optimalizací	[-]
B	bod, kde dochází k dělení obráběného materiálu (kap.3.1)	[-]
B	šířka frézy	[mm]
BN	přírodní hexagonální nitrid bóru	[-]
CAA	počítačová podpora montáže výrobků	[-]
CAD	počítačem podporovaný návrh	[-]
CAQ	počítačová podpora řízení kvality	[-]
CAPPS	počítačová podpora systémů plánování a řízení výroby	[-]
CAMA	počítačová podpora údržby technických zařízení	[-]
CAE	počítačem podporované inženýrství	[-]
CAM	počítačem podporovaná výroba	[-]
CAPE	počítačová podpora výrobního inženýrství	[-]
CAPP	počítačová podpora při zpracování technologické dokumentace	[-]
CAR	počítačová podpora robotiky	[-]
CARC	počítačová podpora řízení a programování robotů a	[-]
CATS	počítačová podpora řízení mezioperační dopravy a skladování	[-]
CAT	počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky	[-]
CIM	výroba integrovaná počítačem	[-]
CNC	počítačem číslicově řízený stroj	[-]
CRM	řízení vztahů se zákazníky	[-]
CVD	chemické vylučování z parní fáze	[-]
C _E	cena za elektrickou energii	[Kč]

Symbol	Význam	Jednotka
C _S	cena obráběcího stroje	[Kč]
C _d	cena břitové destičky	[Kč]
C _n	cena nástroje	[Kč]
C _s	cena stroje	[Kč]
C _{tn}	cena tělesa nástroje	[Kč]
C _{zn}	zbytková cena nástroje	[Kč]
D	obráběný průměr	[mm]
DIN	německý institut pro normalizaci	[-]
EDM	systém pro zprávu elektronických dat	[-]
ERP	podnikový informační systém	[-]
F _c	řezná složka síly obrábění	[N]
F _e	výsledná síla obrábění	[N]
F _p	Pasivní složka síly obrábění	[N]
F _r	třecí síla	[N]
F _{us}	síla působící na technolog. soustavu v určeném směru	[N]
dF	budicí síla	[N]
G	tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
Hn	tvrdost řezného materiálu	[HRC]
HSC	High Speed Cutting - vysokorychlostní obrábění	[-]
HSS	Rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií	[-]
HVC	High Volume Cutting - vysokoobjemové obrábění	[-]
HVMs	mikrotvrdost na povrchu	[MPa]
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci	[-]
IT	stupeň přesnosti	[-]
K	součinitel přechování třísky	[-]
K _c	přirážka směnového času	[-]
K _p	konstanta pro danou technologii a pracovní podmínky	[-]
K _v	kritérium optimalizace	[-]
KBN	kubický nitrid bóru	[-]
M _k	krouticí moment	[N·mm]
M _{k max}	maximálně přípustná velikost krouticího momentu	[N·mm]
M _o	mechanická obrobiteľnosť	[-]
M _{os}	mzda ostříče	[Kč·hod ⁻¹]

Symbol	Význam	Jednotka
MG	Micro Grain - slinuté karbidy s vysoce jemnou zrnitostí	[-]
MKD	monokrystalický diamant	[-]
N_{hs}	hodinové náklady na provoz obráběcího stroje	[Kč·hod ⁻¹]
N_{mz}	náklady na mzdy	[Kč]
N_{sm}	náklady na strojní práci ($N_{vnm} = N_{sm}$)	[Kč·min ⁻¹]
OMNO´	body ohraničující oblast primární plastické deformace	[-]
PC	personální počítač	[-]
P_e	výkon stroje - efektivní	[kW]
PL	poptávkový list	[-]
PKD	polykrystalický diamant	[-]
NC	číslicově řízený	[-]
PCBN	polykrystalický kubický nitrid bóru	[-]
PDM	systém pro správu obecných dat o výrobku	[-]
PKBN	polykrystalického kubického nitridu bóru	[-]
PLM	řízení životního cyklu výrobku	[-]
PMC	Programovatelná řídicí jednotka	[-]
PPM	management výrobku a jejich portfolia	[-]
PPS	výrobně plánovací systémy	[-]
PVD	Physical Vapor Deposition – fyzikální nanášení povlaku	[-]
$P_{už}$	užitečný výkon	[W]
Q	úběr materiálů za jednotku času	[cm ³ ·min ⁻¹]
Ra	průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rz	největší výška nerovností profilu	[μm]
SK	slinutý karbid	[-]
STM	Supertvrde materiály	[-]
T_n	trvanlivost nástroje	[min]
T_{opt}	optimální trvanlivost obráběcího nástroje (nespecifikovaná)	[min]
T_{optN}	optimální trvanlivost z hlediska minimálních výrobních nákladů	[min]
TÚ	Technický úsek	[-]
TDM _{easy}	jednoduchý účinný systém pro hospodaření s náradím	[-]
VN_P	optimalizace z hlediska maximální produktivity	[Kč]
VN_U	optimalizace z hlediska minimálních výrobních nákladů	[Kč]
VR	radiální otupení špičky nástroje ($VR = Kvy$)	[mm]

Symbol	Význam	Jednotka
VR _d	výrobní režie	[%]
VR _{os}	výrobní režie ostřírny	[%]
VÚ	Výrobní úsek	[-]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
WOP	dílensky orientované programování	[-]
a	zrychlením HSC stroje	[m·s ⁻²]
a _p	hloubka řezu (axiální hloubka řezu)	[mm]
a _e	šířka řezu (radiální hloubka řezu)	[mm]
d	průměr frézy	[mm]
d _{eff}	efektivní průměr frézy	[mm]
d _u	maximální průměr přechodového ostří VBD	[mm]
f	posuv	[mm·min ⁻¹]
f _o	posuv na otáčku	[mm]
f _{min}	posuv za minutu	[mm·min ⁻¹]
f _{Ra,max}	maximální pracovní posuv frézy, omezený drsností Ra	[mm]
f _z	posuv na zub	[mm]
h _j	okamžitá tloušťka odebírané vrstvy	[mm]
h _m	střední průřez třísky	[mm]
h _{max}	maximální tloušťka odebírané vrstvy	[mm]
h _z	hloubkou zpevněné vrstvy	[mm]
l _δ	délka styku třísky s čelem	[mm]
l _n	vyložení nástroje	[mm]
n	otáčky vřetene	[min ⁻¹]
n _{max}	maximální počet otáček vřetene stroje za minutu	[min ⁻¹]
n _{min}	minimální počet otáček vřetene stroje za minutu	[min ⁻¹]
r _ε	poloměr zaoblení špičky obráběcího nástroje	[mm]
v _c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v _{c,eff}	efektivní řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v _f	rychlost posuvu	[mm·min ⁻¹]
y	velikost pružné deformace	[mm]
y _v	empirická konstanta – vztahující se k řezivosti	[-]
z	počet břitů (počet zubů frézy)	[-]
α _n	nástrojový úhel čela měřený v normální rovině	[°]

Symbol	Význam	Jednotka
α_o	nástrojový úhel čela měřený v ortogonální rovině	[°]
β	úhel naklonění frézy	[°]
δ	úhel kluzu (pro HSC dle DIN stříhu)	[°]
γ_n	nástrojový úhel čela měřený v normální rovině	[°]
γ_o	nástrojový úhel čela měřený ortogonální úhel	[°]
κ_r	hlavní úhel nastavení	[°]
λ_s	nástrojový úhel sklonu ostří	[°]
μ	koeficient tření	[-]
η_s	koeficient časového využití stroje	[-]
ρ	poloměr ostří	[μm]
τ	poměr skutečné délky záběru ku celkové dráze nástroje	[-]
ω	úhel stoupání šroubovice	[°]

Seznam použitých ikon



Nutno zapamatovat



Anglické označení a zkratky



Poznámka



Experimenty



Praktické použití



Výhody



Nevýhody



Princip metody



Parametry metody



Použití metody



Porovnání metody



Literatura



Odkaz na kapitolu



Pozor na odlišnost

1. ÚVOD – PROGRESIVNÍ METODY V OBRÁBĚNÍ

Globální světová konkurence vytváří stále větší tlak na průmyslové podniky aby produkovaly s minimálními výrobními, ale i provozními náklady. Zhruba čtyřicetiprocentní část ceny výrobků dnes tvoří výrobní náklady a z nich pak nezanedbatelný podíl technologie obrábění. Důsledná optimalizace procesu obrábění podepřená *nezdeformovanými vstupními hodnotami stěžejních parametrů* může vést ke *skutečné minimalizaci* těchto nákladů. Naproti tomu sílí celosvětové ekologické povědomí vytváří protitlak a nutí strojírenské producenty přehodnocovat a měnit výrobní proces, ale někdy i výrobu samotnou. Mnohdy pak záleží na *etice legislativy* té které země, jestli bude její ekologie s ekonomikou v souladu či protikladu.

1.1 Vymezení základních pojmů a zákonitostí HPM

Vysokorychlostní obrábění je doposud značnou částí odborné veřejnosti vnímáno anebo chápáno zejména jako obrábění vysokými reznými rychlostmi. Tato skutečnost vznikla zřejmě proto, že do roku 2000 prakticky neexistovaly víceosé, simultánně řízené obráběcí centra pro obrábění rotačních a nerotačních součástí, které svými reznými parametry i výkony nebyly schopny vyvinout, zejména na „malých efektivních průměrech“ dostatečně vysokou reznou rychlost, ale především takovou rychlost pracovních posuvů, které nejenom významně zvýší produktivitu, ale i kvalitu obrábění.

Tab. 1 *Dosahované parametry jednotlivých metod.*

HSM (High Speed Machining) - vysokorychlostní obrábění

(snížení výrobních časů o 90 %,
 nákladů 50 %, síly řezání o 30 %)

HSC - High Speed Cutting - obrábění vysokými reznými

v_c a řádově vyššími v_f

HVC - High Volume Cutting - velké objemy úběru

Dry Machining - bez procesního média

Hard Machining - nahrazení broušení

High Force Cutting - hrubování

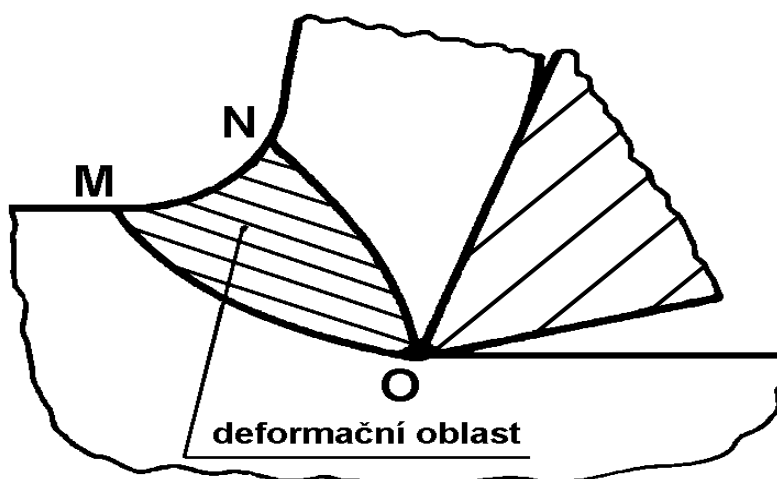
1.1.1 Vznik třísky a její tvarování

Z teoretického pohledu je třískové obrábění charakterizováno oddělováním materiálu z obrobku ve formě třísky, která vzniká prostřednictvím relativního pohybu břitu řezného nástroje vůči obrobku (v důsledku silového působení tohoto břitu na materiál obrobku) při vnikání břitu do obráběného materiálu.

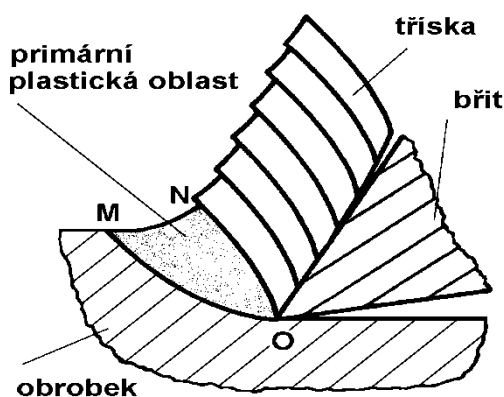
U drtivé většiny technických materiálů převážně dochází (při tvorbě třísky) bezprostředně u břitu nástroje k plastické deformaci, kdy vzniká tříska tvářená. Například při obrábění keramiky, dřeva, hornin či některých plastů nedochází při vytváření a oddělování třísky k plastické deformaci, ale ke vzniku třísky netvářené, což však není náš případ.

Tvářená tříska má také z mechanického, ale i jiného hlediska podstatně větší význam než tříska netvářená. Mimo tzv. problematiku třískového hospodářství nebo při obrábění v poloautomatických či automatických bezobslužných provozech, kdy může plynulá tříska znehodnocovat obrobený povrch nebo způsobit přerušení výroby, nás také mnohdy informuje o vhodnosti či nevhodnosti volby rozhodujících řezných podmínek. Tvorbu či lámavost třísky můžeme do značné míry ovlivnit vhodnou volbou řezných parametrů (např. poměr hloubky řezu a posuvu), řeznou rychlostí, ale i optimální volbou pracovních úhlů řezného klínu, tedy řeznou geometrií nástroje.

Teoreticky je druh třísky dán vlastnostmi obráběného materiálu, především plasticitou v oblasti těsně před břitem, kde se obráběný materiál (jeho jednotlivá zrna polyedrického tvaru nápadně prodlužují v rovině kluzu či smyku) plasticky deformuje.



Obr. 1.1 Oblast primární plastické deformace



Obr. 1.2 Oblast s vyčerpanou plasticitou

oblastí a vytvoří se třísky, která je na vnější straně bez viditelných stop po kluzu uvnitř materiálu.

Častěji však dochází na hranici NO deformační oblasti k vyčerpání plasticity a ke kluzu, který je patrný z obr. 1.2 na vnější straně třísky stopami po kluzu elementů třísky. Zde může, ale také nemusí dojít k porušení soudržnosti materiálu (překročení kohezní pevnosti) na kluzové ploše. Podle stupně porušení pak vznikají jednotlivé druhy tvářené třísky.

1.1.2 Měrná řezná síla

Měrná řezná síla (měrný řezný odpor) je velikost řezné složky síly obrábění (řezného odporu), vztažená na 1 mm² odřezávané vrstvy

$$p = \frac{F_c}{S} = \frac{R_c}{S} \quad [\text{MPa}, \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]. \quad (1.1)$$

Známe-li měrnou řeznou sílu pro daný případ obrábění a průřez S , můžeme určit velikost řezné složky (řezného odporu). Měrná řezná síla závisí na obráběném materiálu, tloušťce odřezávané vrstvy, řezné rychlosti, úhlu řezu, nastavení, hřbetu i sklonu ostří, poloměru špičky, řezném prostředí, stavu břitu (jeho opotřebení), atd. Obráběný materiál ovlivňuje velikost měrné řezné síly zejména svou pevností, tvrdostí, houževnatostí, ale též zpevňovací schopností.

Při stejných řezných podmínkách platí pro vzájemný vztah dvou druhů ocelí, resp. slitin lehkých kovů přibližný vztah daný poměrem pevností v tahu R_m obou porovnávaných materiálů

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{R_{m1}}{R_{m2}} \right)^n \quad n = 0,4 \div 0,7 \quad (1.2)$$

Plasticita může být dána chemickým složením, krystalickou stavbou a podmínkami plastické deformace (teplotou, stavem napjatosti a deformační rychlostí).

V závislosti na plasticitě obráběného materiálu v oblasti, kde se materiál při vytváření třísky deformuje, vznikají jednotlivé druhy tvářené třísky. Dále se při průchodu *obráběného materiálu deformační oblastí* materiál *intenzívně zpevňuje*.

Za určitých podmínek se nevyčerpá plasticita materiálu při průchodu deformační

Měrný řezný odpor lze přibližně určit pro uvažovanou technologii ze vztahu

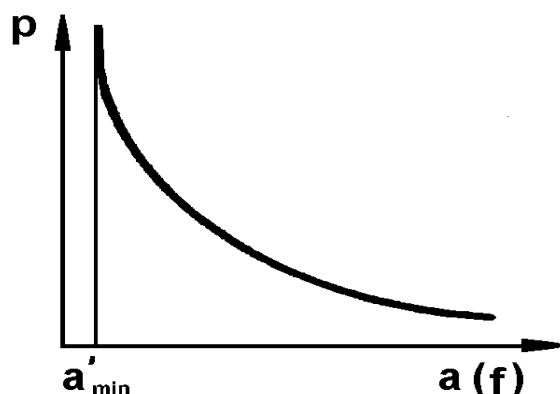
$$p = K_p \cdot R_m \quad (1.3)$$

Závislost měrného řezného odporu na *tloušťce* odřezávané vrstvy *a*, resp. *posuvu* *f* je velmi silná. Matematicky se může vyjádřit:

$$p = \frac{c_p}{a^{u_p}}, \quad (1.4)$$

$$\text{resp. } p = \frac{k_p}{f^{u_p}}, \quad (1.5)$$

kde c_p , k_p , u_p jsou empirické konstanty.



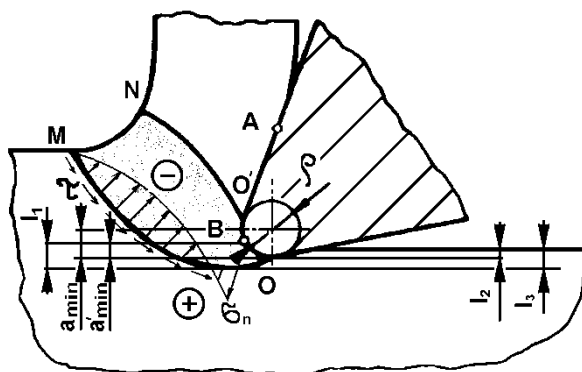
Velikost exponentu u_p se obvykle pohybuje v rozmezí $u_p = 0,15$ až $0,3$. S velikostí měrného řezného posuvu též bezprostředně souvisí i minimální tloušťka odřezávané vrstvy.

Břit řezného nástroje není schopen odebrat tloušťku třísky menší, než je poloměr ostří. $a \leq \rho$. (1.6)

Obr. 1.3 Průběh závislosti *p* na tloušťce odřezávané vrstvy *a* a posuvu

Při tloušťce odřezávané vrstvy dané tímto vztahem je velikost měrného řezného odporu nekonečně velká. Při odebrání tloušťky *a* odřezávané vrstvy větší než je poloměr ostří dochází k tomu, že tloušťka materiálu, která se břittem v daném poloměru neodebírá, ale odchází pod břit (viz obr. 1.4), je menší ve srovnání s hodnotou a_{min} .

Pozn.: V důsledku existence určitého poloměru ostří tak dochází k dělení materiálu ne v úrovni tečny k břitu ve směru řezného pohybu, ale v úrovni odpovídající tloušťce materiálu a_{min} a po vytvoření třísky v úrovni a'_{min} . Způsobuje to stav napjatosti před břittem, kdy se u ostří vytváří tah, který napomáhá vzniku třísky, tedy **dělení materiálu před břittem**.



Obr. 1.4 Zpevňování při obrábění

elasticky deformuje a zpevňuje. V důsledku této deformace, vysoké teploty a strukturních změn zde vznikají různá zbytková pnutí.

Výsledek **zpevnění** je též **ovlivněn oblastí primární plastické deformace** dosahující (jak je znázorněno kótami l_1 , l_3 na obr. 1.4) **pod úroveň plochy řezu**. Důsledkem **elastické** deformace pak dochází k **odpružení plochy řezu** o tloušťku materiálu l_2 . Tyto naznačené skutečnosti významně ovlivňují **funkční vlastnosti osoustružené plochy**.

Závislost měrného řezného odporu na rychlosti je obecně nemonotónní. Za předpokladu, že se nemění mechanické vlastnosti obráběného materiálu s teplotou, a že se netvoří nárůstek, má závislost klesající charakter (s rostoucí rychlostí měrný řezný odpor klesá). Tento pokles je však menší než u závislosti měrného řezného odporu na tloušťce odřezávané vrstvy. Změna měrného řezného odporu s řeznou rychlostí též souvisí se změnou velikosti oblasti primární plastické deformace s řeznou rychlostí. Tvoří-li se zaoblený nárůstek, dochází naopak ke zvětšení měrného řezného odporu v důsledku rozšíření oblasti primární plastické deformace. Tloušťka odřezávané vrstvy ovlivňuje hodnotu měrného řezného odporu jen velmi málo.

Výpočet síly **obrábění** obvykle provádíme pomocí jejich složek. Z praktického hlediska je nejvýznamnější řezná složka F_c , kterou také určujeme nejčastěji. Někdy může být významná pasivní složka F_p , ale i posuvová F_f . V případě této disertační práce jsou složky F_p a F_f zcela bezvýznamné, a to z důvodu tvaru a hmotnosti obráběných kovacíh zápustek.

Metodika výpočtu síly obrábění, resp. jejich složek se v praxi určuje např. následujícím způsobem, a to:

Pomocí měrného řezného odporu a průřezu třísky určujeme řeznou složku

$$F_c = p \cdot S. \quad (1.7)$$

V počátku záběru bříty s obráběným materiálem je místem prvního dotyku bod **A**.

V důsledku plastických deformací obráběného materiálu se bod největších napětí posouvá směrem do obráběného materiálu a přechází tak do bodu **B**.

Část materiálu pod tímto bodem odchází pod břit, kde se plasticky a

1.2 Aspekty a efekty vysokoproduktivního obrábění „HPM „

Základní podmínkou progresivního obrábění je naprostá převaha požadovaných fyzikálních vlastností materiálu řezného nástroje nad obráběným. Obecně se předpokládá, že se vzrůstající řeznou rychlostí roste celkové množství tepla, a to téměř úměrně s narůstající rychlostí stříhu třísky i intenzitou tření třísky o nástroj. **Plastickou deformací třísky** v rovině stříhu **se „skokově“ mění její teplota**, která dále **roste třením třísky o čelo nástroje**.

Při klasickém obrábění dochází ve smykové rovině k mechanickému zpevnění třísky, které vede k jejímu ztvrdnutí oproti původnímu stavu. Díky tomu, že zpevněná tříska klade větší odpor, narůstá úhel roviny stříhu, který zvyšuje tloušťku třísky i její odpor proti ohybu a současně zvětšuje plochu kontaktní zóny.

Mezi třískou a čelem nástroje „**spolupůsobí**“ přitlačné i třecí síly, které tímto nabývají vysokých hodnot. Dochází takto k přechodu velké části tepla vyvolaného třením z třísky do nástroje. Třecí teplo a značná přitlačná síla třísky podporují difusní procesy, které vedou k vymílání kráteru na čele nástroje. Intenzita vývoje celkového procesního tepla roste úměrně se zvyšováním rychlosti **smyku třísky** ve smykové rovině, ale také s řezným odporem, který je dán obráběným materiálem.

Za těchto podmínek se nedají (anebo velmi problematicky) obrábět tvrdé a kalené materiály. Z uvedených faktů vyplývá, že „**horní interval**“ řezné rychlosti je u „běžných“ materiálů a „konvenčních“ nástrojů omezen prudkým poklesem řezivosti způsobeném náhlou plastickou deformací, kterou způsobuje intenzivně rostoucí procesní teplo.

Během řezného procesu lze provádět pozorování **mikrozměn** i **makrozměn**. Přímé pozorování změn v mikroskopických objemech, které odpovídají řádově velikosti zrna je značně obtížné vzhledem k vysoké **deformační rychlosti** v_d , (řádově se pohybující **10^4 až 10^6 m.s⁻¹**), intenzivní a nerovnoměrné deformaci a vysokému teplotnímu gradientu při ohřevu deformovaného materiálu (řádově **10^4 až 10^6 °C.s⁻¹**), ovlivňujícímu zejména v oblasti sekundární deformace jak deformační zpevnění, tak i fázové přeměny.

Uvedené charakteristiky výrazně omezují přímé pozorování mikrozměn v oblasti kořene třísky na úzký rozsah řezných podmínek, týkajících se pouze nižších řezných rychlostí. Mezi experimentální metody přímého zjišťování mikrozměn patří fotografování boční plochy vzorku při ortogonálním řezání a rychlostním filmování. Kamery pro rychlostní filmování se nazývají časové lupy. Podstatou je zde fotografování zkoumaného děje vysokou snímkovou frekvencí (**4000 až 18000 obr.s⁻¹**) a následné promítnutí s frekvencí podstatně nižší. Nevýhodou je však složité, pracné a nákladné provedení experimentu.

Přímé pozorování změn v makroskopických objemech je méně obtížné než přímé pozorování mikrozměn. **Makroskopické změny** lze pozorovat **fotografováním** boční plochy

vzorku při ortogonálním řezání, rychlostním **filmováním** nebo přímým pozorováním **pod mikroskopem**, avšak za extrémně nízkých řezných podmínek. Boční plocha zkoumaného vzorku je opatřena pomocnou mřížkou, prostřednictvím níž lze určovat deformace jednotlivých elementů, což umožní vymezení deformačních oblastí a stanovení charakteru a intenzity deformace ve směru zvolených souřadných os. Při použití časové lupy má tento způsob experimentálního studia velký význam pro sledování vzniku elementární třísky a pro sledování tvorby i rozpadu nárůstku.

Experimentálním studiem změn ukončených lze stanovit součinitel přechování třísky

$$K = \frac{a_1}{a} = \frac{l}{l_1} = \frac{S_1}{S} > 1. \quad (1.8)$$

Primární plastické deformace mají za následek rozdíl mezi průřezem odřezávané vrstvy **S** a průřezem vzniklé třísky **S₁**. Tloušťka vzniklé třísky **a₁** je vždy větší než tloušťka odřezávané vrstvy (přechování příčné) a délka vzniklé třísky **l₁** je vždy menší než odpovídající dráha nástroje **l** (přechování podélné).

Vedle délkové metody stanovování **K** se častěji používá metoda hmotnostní, při které se zváží hmotnost vzniklé třísky **m₁** změřené délky **l₁** a při známé měrné hmotnosti **ρ** obráběného materiálu se součinitel přechování třísky **K** dá vypočíst z matematického výrazu

$$K = \frac{1000 \cdot m_1}{l_1 \cdot \rho \cdot S}. \quad (1.9)$$

Intenzitu primární plastické deformace **ε** lze stanovit ze vztahu

$$\varepsilon = \frac{K^2 - 2K \cdot \sin \gamma_n + 1}{K \cdot \cos \gamma_n} \quad (1.10)$$

Rovněž je možné orientačně při studiu makrozměn stanovit velikost primární plastické deformace **ε** (*poměrný kluz*) z výrazu

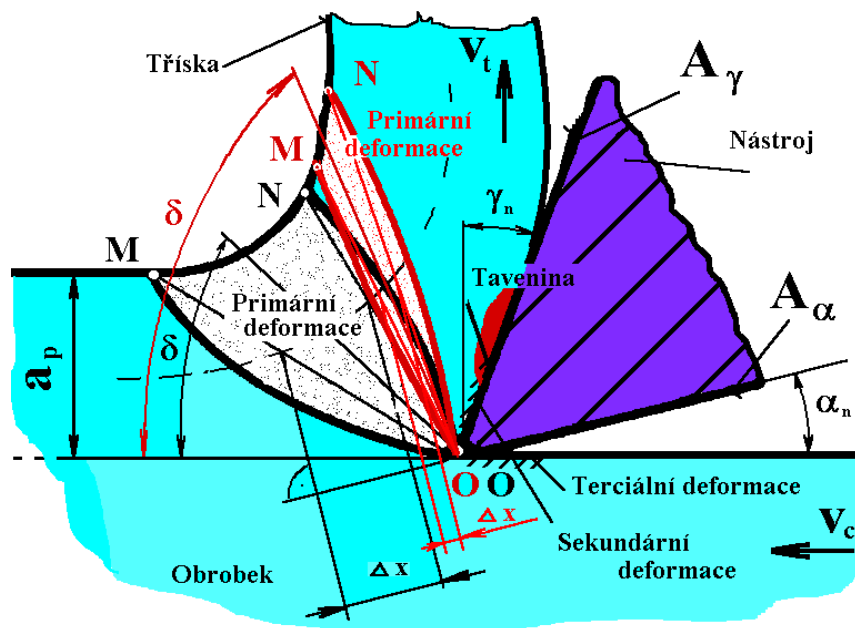
$$\varepsilon = \cot g \delta + \operatorname{tg} (\delta - \gamma_n). \quad (1.11)$$

Za předpokladu, že v důsledku řezné rychlosti probíhá pohyb částic uvnitř oblasti **O'OMN** rovnoměrně, je možné na základě hodnoty **Δx** stanovit deformační rychlost **v_d**

$$v_d = \left[\cot g \delta + \operatorname{tg} (\delta - \gamma_n) \right] \cdot \frac{v_c}{\Delta x} \quad (1.12)$$

Vysokorychlostní obrábění, realizované zvláště výkonnými, mimořádně tvrdými a tepelně odolnými řeznými nástroji, probíhá při teplotě třísky blízké tavné teplotě obráběného materiálu. Za **určité řezné rychlosti** dochází k **náhlé změně** řady **metalurgických, chemických i mechanických vlastností třísky**. Tříska sníží svou přitlačnou sílu na čelo nástroje. Tento děj nastane také v případě kalené ocelové třísky, která rovněž změkne. Třecí síla i celkový řezný odpor klesne, zvětší se **úhel smyku δ, resp. stříhu β**, ztenčí se

průřez odcházející třísky a zvýší se rychlost v_t jejího odchodu z kontaktní zóny.



Obr. 1.5 Tvorba třísky u klasické a „HSC“ technologie

Jelikož předpokladem významného efektu rychlostního obrábění (řezání, frézování) je hodnota posuvové rychlosti $\mathbf{v}_f$ alespoň 15 m.min^{-1} , nejlépe však $\mathbf{v}_f = 30 \text{ m.min}^{-1}$ a výše (dle výzkumů TU v Darmstadtu), lze korigovat vztah (1.13) pro podmínky HSC technologie na tvar, kde rozdíl mezi $\mathbf{v}_c$ a výslednou řeznou rychlostí $\mathbf{v}_e$ nelze již zanedbat.

$$v_d = [\cot g \delta + tg (\delta - \gamma_n)] \cdot \frac{v_e}{\Lambda_x}. \quad (1.13)$$

Výše uvedené efekty lze zdůvodnit mimo jiné také tím, že je posuvová rychlost již srovnatelná s řeznou rychlostí v_c , což způsobuje **zvýšenou reakci plasticky se deformujícího materiálu i ve směru posuvové rychlosti v_f .**

Také se sníží plocha kontaktní zóny a omezí sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Do nástroje se přenáší minimální množství tepla, protože naprostá většina vygenerovaného tepla odchází s třískou. Třecí síla F_r mezi dvěma relativně k sobě se pohybujícími elementy je pro stacionární stav popsána zákonem:

$$F_r = \mu \cdot F_n \quad [\text{N}]. \quad (1.14)$$

Koeficient tření μ je přitom přijímán jako konstantní veličina. Pro vysokorychlostní třískové obrábění tento předpoklad neplatí, protože koeficient μ nezůstává konstantní¹, ale se stoupající řeznou rychlostí klesá.

Na spodní straně třísky může v extrémních případech docházet k vytváření tekuté vrstvy, tedy k dosažení teploty tavení obráběného materiálu. Tím je tření na čelní ploše nože redukováno, proto ubývá pěchování třísky a přirůstá zakřivení třísky.

Úbytek pěchování třísky vede k přírůstku úhlu kluzu (úhlu stříhu, jak uvádí literatura), a tím k **redukování přetvárné práce**. Utvářející se tříska „zčervená“ (obr. 1.5) a následně **sníží** svou **přítlačnou sílu F_n** na čelo nástroje. Tento děj nastává i při obrábění kalené oceli, kde takto zahřátá tříska rovněž změkne.

Třecí síla, ale i celkový řezný odpor poklesne, zvětší se úhel smykové roviny, ztenčí se průřez třísky, a tím se zvýší rychlost odchodu v_t z kontaktní zóny. Plocha kontaktní zóny se naopak sníží, čímž se omezí sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně.

Do nástroje, ale i obrobku se za těchto podmínek přenáší minimální množství tepla, protože převážná většina vygenerovaného tepla „odchází s třískou“.

Tento popsany děj způsobuje, že se, i přes celkově značný nárůst uvolněného tepla během procesu, omezí působení nežádoucích difusních mechanismů i mechanického vymílání čela. Vysoká kvalita řezné hrany (jemnozrnná struktura) „HSC“ nástrojů a důmyslné povlakování jejich povrchů zvyšují odolnost čela i celého břitu proti abrazivnímu i difusnímu opotřebením. Podíl přestupu procesního tepla do nástroje se ještě více snižuje z důvodu jeho napovlakování, které v tomto případě také plní funkci tepelně izolační vrstvy.

Růst teploty řezné části nástroje se po dosažení určité řezné rychlosti zpomaluje. Při obrábění hliníku dosahuje teplota svého maxima okolo 600 °C, u bronzu 1000 °C, v případě šedé litiny kolem 1300 °C a u oceli 1500 °C. Následné zvyšování řezné rychlosti nevede k zvláště výraznému zrychlování procesu opotřebením nástroje, vede však k výraznému zkracování strojního času obrábění.

Vyšší teplota třísky je tedy pozitivním faktorem a principiálním zdrojem příznivých efektů vysokorychlostního třískového obrábění. Chlazení „*místa obrábění*“, tak jak ho známe z klasické (konvenční) technologie, zde není zpravidla nutné a mnohdy ani žádoucí, poněvadž by bránilo dosažení „vysokorychlostního režimu“. Z hlediska zvýšené citlivosti supertvrdých řezných materiálů na tepelné šoky není kapalinové chlazení mnohdy ani přípustné. V případě nepřerušovaného obrábění keramických a jiných supertvrdých materiálů může být potřebná teplota dosažena laserovým předehtíváním obráběného materiálu⁹, a to těsně před jeho vstupem do primární zóny stříhu.

1.2.1 Oblasti deformací

Při vnikání břitu nástroje do obráběného materiálu vznikají pružné a následně plastické deformace v těchto oblastech:

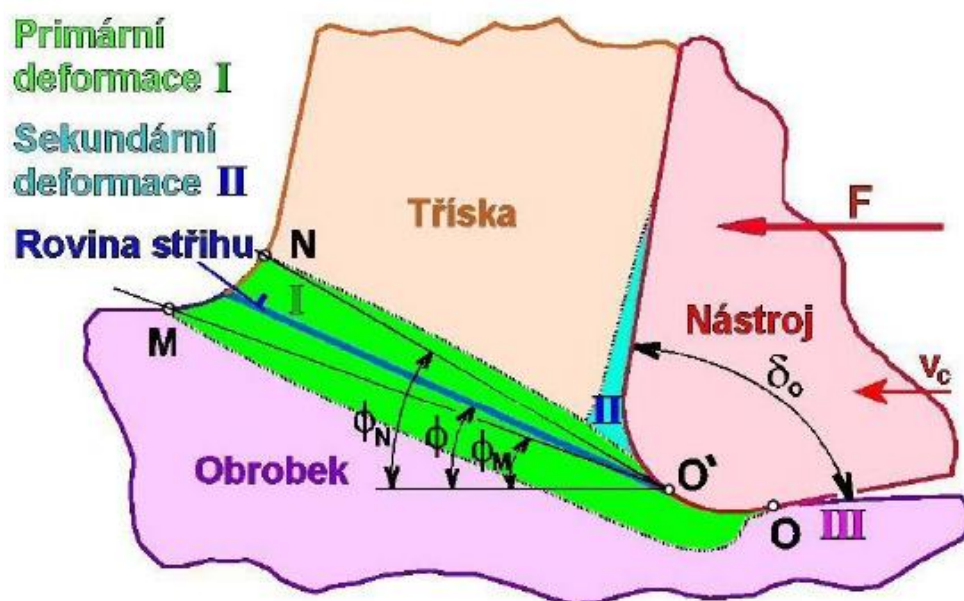
- před břítem nástroje, v oblasti primární plastické deformace, která se značí **I** a vymezuje body **OMNO**,
- v povrchových vrstvách styku třísky a čela nástroje je oblast sekundární plastické deformace, která je označena **II**,

- v povrchové vrstvě obrobenej plochy vzniká oblast terciární plastické deformace **III**.

Velikost oblasti **OMNO'**, její tvar a stav napjatosti jsou proměnlivé a závisí zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, především na jeho deformační a zpevňovací schopnosti.

S rostoucí řeznou v_c , ale zejména posuvovou rychlostí v_f se tato oblast značně zužuje (ve vysokorychlostním resp. „HSC“ obrábění) a tím obě roviny téměř splývají. Rovněž záleží na řezném prostředí (chlazení, suché obrábění), geometrii řezného nástroje a jemu předurčené kinematice (myšleno vzhledem k obrobku).

Při zvětšování pracovního úhlu čela γ_{ne} klade nástroj menší odpor proti odchodu třísky, tříska tak odchází snadněji, a proto je méně deformována. Při zvětšování pracovního úhlu nastavení κ_{re} se šířka třísky zmenšuje, což se projeví v poklesu velikosti koeficientu přechování třísky, ale pouze do určité hodnoty tohoto úhlu. Při volbě optimálních řezných podmínek je nutno mít tyto zákonitosti na zřeteli.



Obr. 1.6 Oblasti plastických deformací v zóně řezání

Plastická deformace obráběného materiálu v procesu řezání způsobuje:

- oddělení třísky od obrobku (oblast I),
- mechanické zatížení nástroje řeznými odpory,
- tepelné zatížení nástroje,
- opotřebení nástroje (na čele v důsledku II, na hřbetu v důsledku vlivu III),
- změnu textury materiálu v tříске i v povrchové vrstvě obrobenej plochy,
- vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobenej plochy,

- přechování třísky (průřez a délka třísky neodpovídají teoretickým hodnotám).

1.3 Parametry HPM strojů

Víceosé simultánně řízené obráběcí centra pro rotační i nerotační součásti se vyznačují velmi vysokými otáčkami vřeten, značnými výkony elektromotorů, rychloposuvy pro přejezdy a hlavně pracovními posuvy, které jsou více než desetinásobně vyšší než kterými disponují konvenční obráběcí stroje. Pod pojmem víceosé simultánně řízené obráběcí centra je třeba si uvědomit, že tyto obráběcí stroje páté generace jsou schopny níže uvedenými parametry, svými obrobkovými i nástrojovými systémy, se libovolně pohybovat (rotačně i translačně) a „naklápět“ v pěti a více osách současně.

- otáčky 10 000 - 90 000 min⁻¹
- výkony 15 - 100 kW
- rychloposuvy 90 - 140 m.min⁻¹
- posuvy 10 - 50 m.min⁻¹
- víceosé simultánně řízené OC

1.3.1 Technické parametry HSC strojů

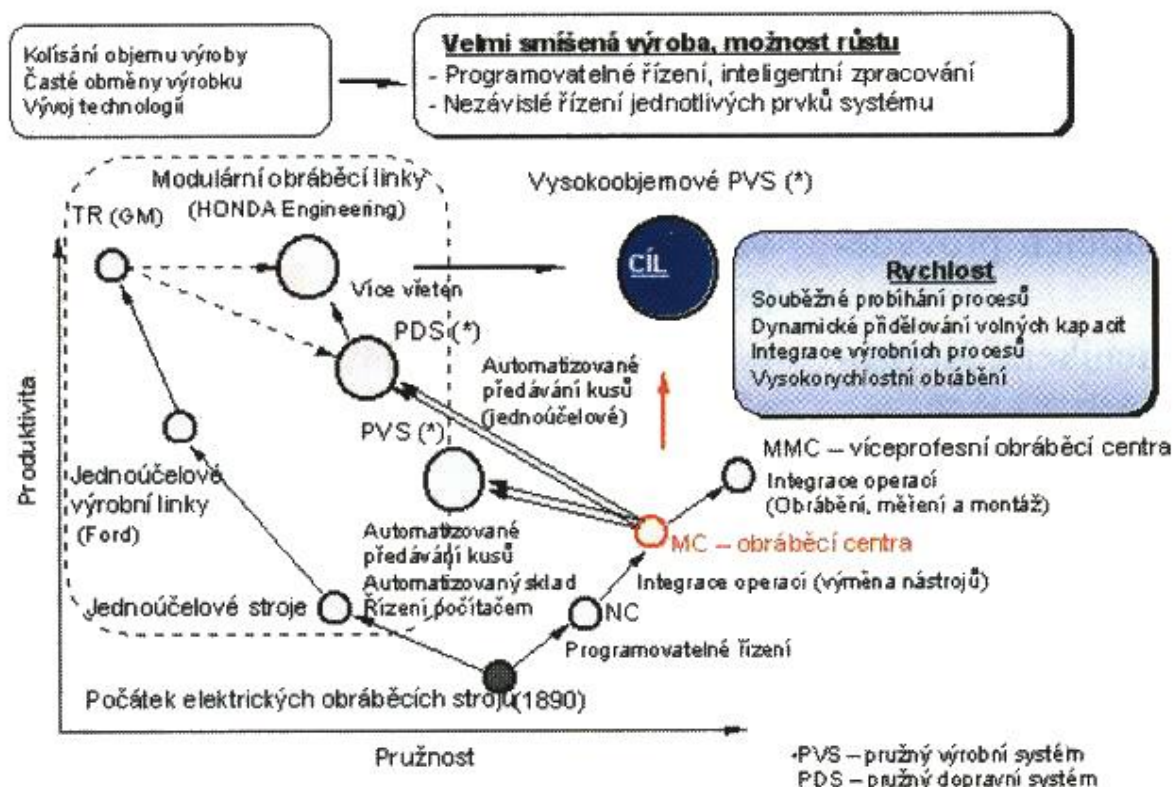
Obráběcí stroje a technologie aneb digitální obrábění se koncem minulého století s ohledem na požadavky vyvíjelo takto:

- 70. léta – hromadná výroba
- 80. léta – kvalita
- 90. léta – kvalita výrobních procesů
- 2000 – Rychlost

V současnosti se důraz přesouvá na rychlost výroby (zkracování strojních časů). Nejdůležitějším se stává, jak rychle firma dokáže získat informace, vyrobit výrobek a dodat jej spolu se službami zákazníkovi. Není-li dostatečně rychlá, není zákazník spokojen. Díky současnému prostředí – rychlosti Internetu, počítačů atd., není-li firma dostatečně rychlá ve vztahu k zákazníkovi, nakoupí zákazník jinde. Tedy pokud máte kvalitní výrobek, dobrou cenu, ale pomalu reagujete – neprodáte.

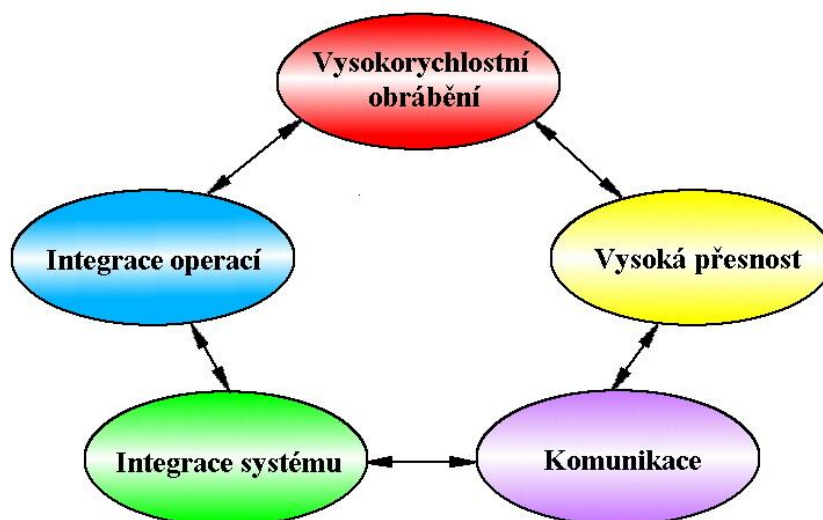
Hledání řešení výše uvedených problémů se ubírá mnoha cestami. Na obrázku jsou znázorněny různé cesty, jak požadovaných cílů dosáhnout.

POŽADAVKY VÝROBY



Obr.1.6 Současné požadavky průmyslové výroby

Největším problémem je to, že velké výrobní objemy díky rychlé inovaci výrobků postupně klesají. Transferové linky nebo jednoúčelové stroje v levé části grafu nedosahují potřebné pružnosti. Naopak NC stroje na pravé straně jsou sice velmi pružné, ale málo produktivní. Cílem je zařízení, které splňuje obě – produktivitu i pružnost. Za vším stojí – schopnost vyrobit libovolnou součást tak rychle, jak je potřeba.



Obr.1.7 Cíle vývoje nových technologií

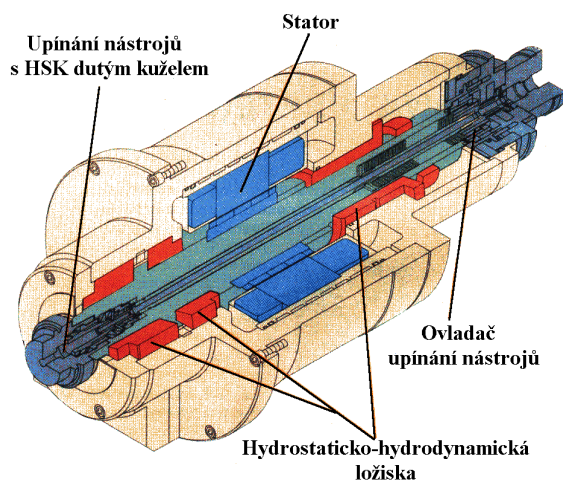
1.3.2 Vysokootáčková vřetena a jejich uložení

Konvenční vřetena obráběcích strojů s externími pohony, mechanickými převodovkami a spojky nedosáhnou potřebný výkon, geometrickou přesnost, radiální, axiální a torzní tuhost a tlumení vibrací v širokém rozsahu otáček požadovaném HPM technologiemi.

Nově vyvinuté HSC stroje jsou vybaveny „**integrovanými**“ **vřeteny** se zabudovaným koaxiálním bezkartáčovým (asynchronním nebo synchronním) motorem opatřeným **vnějším mazacím a chladicím subsystémem**.

Vřetena musí být **silově** předepnuta v radiálním i axiálním směru a pracovat bez vůle, s dobrou tuhostí i účinností v celém rozsahu otáček a pracovních teplot. Tyto požadavky mění konstrukční řešení uložení vřeten ve velmi obtížný problém.

Motory integrovaných vřeten jsou bez výjimky bezkartáčové, s elektronickým přepínáním satorových vinutí během otáčky. U asynchronních motorů je **M_k** vyvozován účinkem vířivých proudů indukovaných v „kleci“ rotoru (extrémně silné permanentní magnety ze vzácných zemin nebo keramiky. Výhodou **synchronních** motorů je jejich **studený** princip, vyšší parametry „na váhu“.

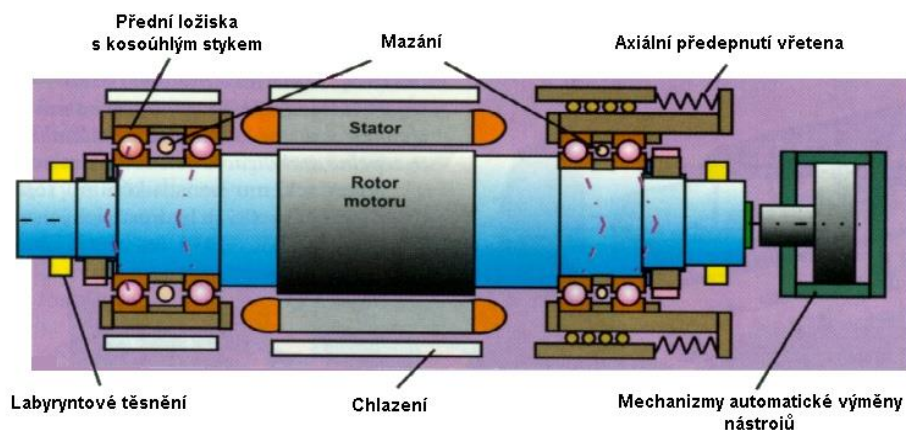


Obr.1.8 Hydrostaticko–hydrodynamické vřeteno s maximálními otáčkami 20 000 min⁻¹ a výkonem 37,5 kW

Integrovaná vřetena mohou mít jeden z těchto způsobů uložení:

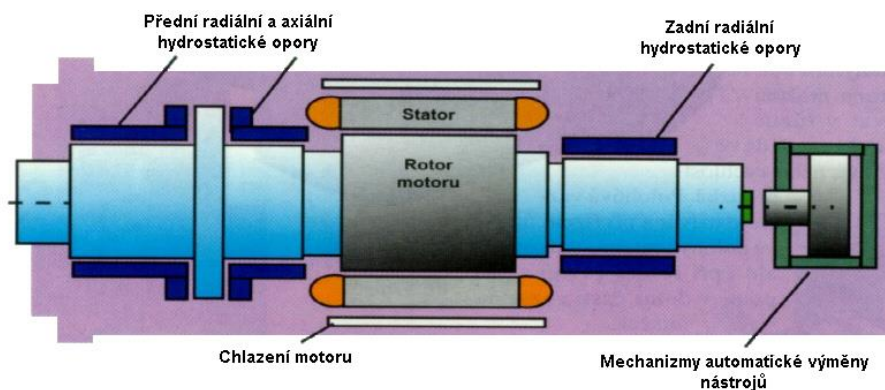
1. **Vřetena se vzduchovým uložením** mohou být použita v otáčkovém rozsahu od 10 000 do 200 000 min⁻¹. Mohou být aplikována jen pro menší průměry a malé vnější síly. Vzduchová ložiska jsou velmi citlivá na silové přetížení a proto je jejich použití pro HSC frézování nebo soustružení neschůdné.

2. **Vřetena s valivým uložením**, vybavená zejména ložisky s kosoúhlým stykem, jsou až dosud převládajícím řešením pro HSC frézovací a soustružnické operace. Keramické kuličky s dvojnásobnou tvrdostí a 40 % hmotností nahrazují ocelové kuličky téměř ve všech HSC aplikacích. Taková ložiska jsou nazývána „hybridní“ a vyznačují se sníženými odstředivými silami, mnohem delší životností a vyšší tepelnou odolností. Obr.1.9. ukazuje schéma konstrukčního vřetena s valivým uložením. Zadní radiální ložiska jsou uložena v axiálně plovoucím pouzdře pro udržení konstantního axiálního předepnutí v širokém rozsahu otáček a teplot. Původní výhody jednoduchosti a nízkých cen valivých uložení se značně vytrácejí nutností použití externích mazacích, chladicích i přehřívacích subsystémů pro HSC vřetena tohoto typu.



Obr.1.9 Schéma konstrukčního řešení integrovaného vřetena s valivým uložením

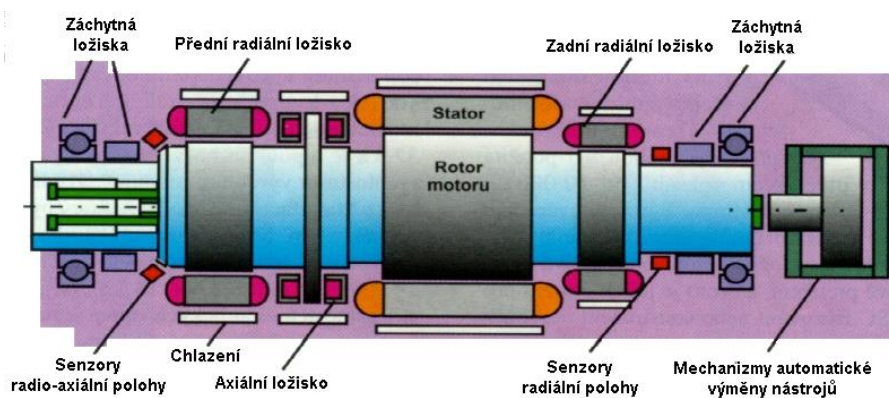
3. **Vřetena s hydrostatickým uložením**, jejichž princip je znázorněn na obr.1.10 jsou principiálně jednodušší. Nízkoviskózní olej, který zde slouží jako radiální i axiální opora pro uložení vřetena, vykonává současně funkce mazání, chlazení přehřívání a tepelné stabilizace, což vede k relativně jednoduchému konstrukčnímu řešení vřetena. U velkých hydrostatických vřeten zůstává nezávislé chlazení motoru nutností. Vřeteno má výborné tlumení, velmi vysokou tuhost i přesnost a je řešitelné i pro nejvyšší vnější síly. Třecí moment je v klidu nulový, ale roste s otáčkami, což znesnadňuje aplikace otáček nad 25 000 min⁻¹. Firma Ingersoll Milling vyvinula kombinované hydrostaticko-hydrodynamické vřeteno do maximálních otáček 20 000 min⁻¹ a výkonu 37,5 kW a použila ho ve svém „vysokorychlostním výrobním modulu“ (High Velocity Manufacturing Module“. Vynikající vlastností hydraulických vřeten je zejména jejich vysoké tlumení. Byly publikovány srovnávací studie, které prokazují zvýšení odolnosti obráběcích strojů proti samobuzeným kmitům o několik set procent (!) pouhou výměnou valivě uloženého vřetena za hydrostatické.



Obr.1.10 Princip vřetena s hydrostatickým uložením

4. **Vřetena s magnetickým uložením**, schématicky znázorněná na obr.1.11 jsou vybavena senzory, které monitorují radiální i axiální odchylky a řídí proud v cívkách radiálních i axiálních elektromagnetických ložisek. Intenzivní vnější chlazení magnetických ložisek i motoru je nezbytné. Senzory monitorují magnetické odchylky s frekvencí asi 10 kHz a proudy v cívkách elektromagnetických ložisek jsou řízeny s frekvencí 100 kHz, aby bylo zabezpečeno *aperiodické* chování vřeten v přechodových režimech. Aplikace procesního řízení těchto vřeten je usnadněna možností vyhodnocení proudu v cívkách jako signálu vnějších sil. Magnetická vřetena mají prakticky *nulové tření v celém rozsahu otáček* a mohou být použita pro broušení i frézování až do otáček $200\,000\text{ min}^{-1}$, přičemž mazání zde není nutností. Pomocná mechanická ložiska s patřičnou vůlí chrání magnetická ložiska před zničením při výpadku energie.

Parametry těchto vřeten se mohou pohybovat v těchto relacích (výkon/otáčky): 40 kW/40 000 min^{-1} , 20 kW/60 000 min^{-1} nebo také 10 kW/80 000 min^{-1} (firma IBAG).



Obr.1.11 Schematicky znázorněné vřeteno s magnetickým uložením

1.4 Konstrukční a technologické požadavky na HPT

Zejména v této oblasti se usiluje o to, aby přechodu od silového obrábění k HPT odpovídala konstrukce strojů pro málo a středně sériovou výrobu. HSC stroje musí disponovat vysokootáчковými vřeteny o konstantním výkonu v širokém točivém rozsahu. Rovněž ruční případně automatická výměna vřeten musí umožňovat dosažení široké technické využitelnosti strojů. Frézovací centra musí být pětiosá a vybavena s otočnými a sklápěcími stoly nebo vřeteny pro obrábění tvarově složitých součástí.

1.4.1 Technologické požadavky

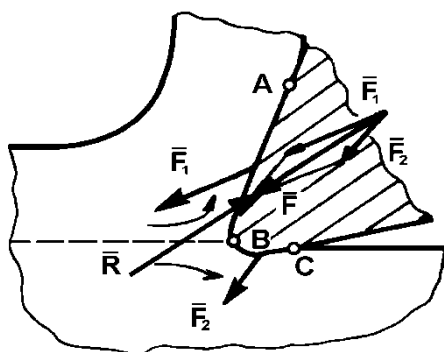
Frézovací stroje s horizontálními vřeteny musí být konstruovány se záměrem snadného odpadu třísek od obrobku. Portálové frézovací pětiosé stroje, které jsou určeny pro obrábění velkorozměrových tvarově složitých součástí musí být vybaveny vřeteny se schopností natáčení i sklápění. U pětiosých soustružnických center se vyžadují otočné osy **C** a **B**. Soustružnická centra s inverzně-vertikálním vřetenem musí zajišťovat rychlé odvádění třísek od obrobku, vysokou integraci technologických operací a snadnou manipulaci s obrobky v autonomním i systémovém nasazení. Dvojstroje určené pro středněsériovou výrobu mají být konstruovány se záměrem maximální produktivity. U dvou a více vřetenových strojů se usiluje o nejvyšší produkčnost dosahovanou zejména redukcí vedlejších časů. V neposlední řadě musí obráběcí stroje vyhovovat autonomnímu i systémovému nasazení ve výrobních buňkách, pružných výrobních systémech i linkách. Stroje s pěti, dvaceti ale i více NC osami jsou konstruované se záměrem pro vícevřetenové nebo vícesuportové operace pro velkosériovou výrobu malých součástí. Rovněž bude nezbytná vysoká přesnost řízení všech lineárních i otočných pohybů. HSC technologie mají nastoupit do speciálních strojů a obráběcích linek. Technologické požadavky směřují k integraci technologických operací a nástupu multiprofesních i multitechnologických strojů. Specializované stroje se budou zaměřovat na obrábění hliníkových slitin, litiny, oceli a podobně, ale také na moduly pro nejvyšší produktivitu, vyžadovanou ve velkosériové výrobě.

1.4.2 Konstrukční požadavky

Z požadavků na konstrukci obráběcích strojů zaujímá schopnost vyšší vlastní frekvence rámu a minimalizace pohyblivých hmot umožňujících dosažení požadovaných rychlostí i zrychlení prioritní místo. Rovněž je vyžadován dobrý útlum relativních kmitů mezi nástrojem a obrobkem. Taktéž redukce, případně eliminace rázů od zrychlovaných hmot do základu není nevýznamná.

Toto se také týká dokonalého a rychlého odvodu třísek z obrobku, pracovního prostoru stroje, z blízkosti rozhodujících částí rámu a ze stroje vůbec. Požaduje se nekompromisní eliminace tepla přímo u jeho zdrojů, tepelná stabilizace rámu i uzlů s přibližně konstantní relativní tuhostí v celém pracovním prostoru stroje.

1.5 Složky síly řezání



Síla obrábění a její složky jsou výhradně jevem dynamickým. Při obrábění v závislosti na čase kolísá jejich okamžitá velikost F_{ok} , a to i při obrábění za konstantních řezných podmínek (nutnost několikrát experimentální měření opakovat). Kolísání je způsobeno zejména rozptylem mechanických vlastností obráběného (testovaného) materiálu a mechanikou tvorby třísky.

Obr. 1.12 Síla řezání a její rozklad při soustružení

Síla řezání F je výslednicí dvou složek (viz obr. 1.12), a to aktivní složky F_1 a složky pasivní F_2 . Sílu řezání i její složky pak dále rozkládáme (viz obr. 1.12).

Poměr velikostí jednotlivých složek je dán zejména určitou technologií obrábění a geometrií nástroje. Ze všech složek síly řezání má zpravidla největší význam řezná (tangenciální) složka F_c . Je základem pro formulaci omezujících podmínek při optimalizaci řezných parametrů.

Pasivní (radiální) složka síly soustružení F_p (působící v rovině zadní P_p) je zachycována tuhostí soustavy stroj-nástroj-obrodek a vyvolává deformace tohoto systému. Složka axiální F_f (osová), působící v rovině boční P_f (ve směru posuvu nástroje) představuje rozhodující část posuvové síly.

Poměr velikosti jednotlivých složek např. síly soustružení je pro poměrně „často používanou“ řeznou geometrii přibližně roven $F_c : F_p : F_f = 1 : 0,4 : 0,25$.

Jiné geometrie samozřejmě mají toto rozložení odlišné.

Složky síly řezání (obrábění – podélné vnější soustružení) jsou vzájemně kolmé a platí pro ně:

$$F_e = \left(F_c^2 + F_p^2 + F_f^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.14)$$

Měrná síla obrábění p (měrný řezný odpor) je velikost řezné (cuttingové) složky síly obrábění F_c , vztažená na 1 mm² odřezávaného průřezu třísky S .

$$p = \frac{F_c}{S} = \frac{R_c}{S} \quad [MPa, N.mm^{-2}] \quad (1.16)$$

Ze znalosti měrné síly obrábění p daný případ obrábění a ze znalosti průřezu S můžeme určit velikost řezné složky síly řezání - obrábění F_c . **Měrná síla** obrábění závisí na obráběném materiálu, **tloušťce odřezávané vrstvy**, **rychlosti obrábění**, řezné geometrii, řezném prostředí, velikosti opotřebení břitu, event. (a to ne nepodstatně) na dalších parametrech.

V současnosti se stále častěji objevuje řada nových materiálů a s nimi také řada vstávajících problémů ve výrobní praxi. Obrobitelnost materiálů je komplexní pojem, který vypovídá zejména o mechanických a fyzikálních vlastnostech materiálu, o chemickém složení materiálu, jeho struktuře, ale také způsobu výroby polotovaru.

Ve výrobě jsou na obrobitelnosti závislé kvalitativní parametry procesu obrábění, parametry integrity povrchu a zejména pro výrobu rozhodující ekonomické výsledky procesu. Významnou roli při obrábění rovněž hraje nejen použitý způsob obrábění, ale zejména použitý materiál a geometrie řezného nástroje.

Hodnocení obrobitelnosti je možno provádět na základě:

- řezné rychlosti (kinematická obrobitelnost)
- dosažené drsnosti obrobené plochy
- velikosti opotřebení břitu nástroje
- množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu
- teploty řezání
- druhu a tvaru tvořící se třísky

Obrobitelnost je důležitou technologickou vlastností, proto je významné její zjišťování. Jako kritérium pro hodnocení obrobitelnosti se dnes využívá hodnot řezné rychlosti pro zvolenou trvanlivost a opotřebení označované jako v_{TVB} . I když je možné využívat i jiné druhy opotřebení, je třeba vědět, ve kterém rozsahu řezné rychlosti je dané kritérium rozhodující. Metodika zkoušek představuje stanovení hodnoty v_{TTB} ověřovaného materiálu a její porovnání s hodnotou materiálu referenčního. Postup zkoušek zahrnuje kontrolu vlastností obou materiálů a volbu nástrojů.

Význam pojmu „obrobitelnost strojírenských materiálů“ stále roste především při širším uplatňování automatizace a CNC techniky s adaptivním řízením. V budoucnu bude požadováno, aby obrobitelnost každého materiálu měla jen malé odchylky od předpokládané hodnoty. Pokud tato podmínka nebude splněna, musí se začít uplatňovat systémy, které umožní třídit obráběné materiály s ohledem na odchylky od požadované obrobitelnosti. Z hlediska technologie obrábění ale stále zůstává jako základní problematika zjišťování a

stanovení obrobiteľnosti. S hodnotou trvanlivosti nástroje souvisí i otázka jeho opotřebení a volba vhodného kritéria opotřebení.

Výsledky výzkumných prací prokazují, že k opotřebení a poškození nástroje dochází v důsledku různých mechanismů, které probíhají různě. a to podle toho, zda se jedná o operaci hrubování, polohrubování, nebo dokončování.

Z hlediska poškozování nástroje jsou proto významné tyto vlastnosti nástrojového materiálu: houževnatost a odolnost proti opotřebení.

Z hlediska technologie obrábění je obrobiteľnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu a v obecném smyslu ji lze definovat jako míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracován některou z metod obrábění. Je hlavním činitelem, který ovlivňuje volbu řezných podmínek pro funkci nástroje při všech metodách obrábění.

Obrobiteľnost závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- pracovní prostředí,
- řezná geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je obrobiteľnost vlastností **relativní** a pro daný sledovaný materiál **se určuje porovnáním s jiným materiálem, obráběným stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek**. Srovnávacím kritériem pak může být teplota řezání, utváření třísky, velikost řezných sil (odporů), jakost povrchu obroběné plochy nebo, a to nejčastěji, velikost řezné rychlosti při zvolené trvanlivosti v_T (obvyklé hodnoty trvanlivosti: **45, 30** nebo **15** minut).

Pokud je obrobiteľnost posuzována hodnotou v_T , jedná se prakticky o vyhodnocování úběru obráběného materiálu (velikost objemu materiálu odebraná za jednotku času) pomocí daného nástroje při smluveném konstantním průřezu třísky (např. pro podélné soustružení: hloubka třísky $a_p = 2$ mm, posuv na otáčku $f = 0,2$ mm), v daném řezném prostředí.

Pro potřeby vyhodnocování obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin, označovaných malými písmeny:

- a - litiny,
- b - oceli,**
- c - těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi),

- d - lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku),
- e - plastické hmoty,
- f- přírodní nerostné hmoty,
- g- vrstvené hmoty ,
- h - gumy
- v- tvrzené litiny pro výrobu válců.

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti a ve vztahu k tomuto materiálu je pak stanovována relativní obrobiteľnost všech ostatních materiálů celé skupiny. Například pro skupinu oceli je referenčním (etalonovým) materiálem ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1 podle ČSN 41 2050). Materiály každé skupiny jsou děleny do tříd a to na základě **součinitele (indexu) obrobiteľnosti**, daného např. vztahem:

$$K_v = \frac{v_{T/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{T/VB} \text{ etalonového materiálu}}, \quad (1.17)$$

$$\text{případně} \quad K_v = \frac{c_{v_{zk.mat}}}{c_{v_{et.mat}}} \cdot T \left(\frac{1}{m_{et}} - \frac{1}{m_{zk}} \right), \quad (1.18)$$

kde $v_{T/VB}$ (pro náš případ) odpovídá v_{15zk} [m.min⁻¹], což je řezná rychlost v_c při trvanlivosti $T = 15$ minut pro zkoušený (sledovaný) materiál,

$v_{T/VB}$ (pro náš případ) odpovídá v_{15et} [m.min⁻¹] je řezná rychlost v_c při trvanlivosti $T = 15$ minut pro referenční (etalonový) materiál.

Relativně nejhorší obrobiteľnost (nejhůře se obrábějící) v dané skupině má vždy materiál zařazený do třídy s nejnižším číslem. Nejlepší obrobiteľnost má materiál zařazený do třídy s nejvyšším číslem. Příklad dělení skupiny oceli na třídy, včetně hodnot i_o (střední hodnota, rozsah hodnot, vyjádření hodnotou kvocientu geometrické řady) je uveden v tabulce č.2.1.2.

Třídy jsou označovány číslem umístěným před písmeno, které určuje danou skupinu materiálů (např. 11a. 14b. atd.). Odstupňování střední hodnoty indexu obrobiteľnosti v jednotlivých třídách je dáno geometrickou řadou s kvocientem $q = 10^{1/10} = 1,26$

Obrobiteľnost, jak již bylo uvedeno, je především vlastností obráběného materiálu. Přesto však musí být posuzována v úzké souvislosti s řezivostí nástroje (nástrojového materiálu), který je použit pro zkoušky obrobiteľnosti. Tuzemská odborná literatura uvádí vlastnosti a třídy obrobiteľnosti pro téměř 500 druhů ocelí podle ČSN, k nimž přiřazuje 263 druhů ocelí podle DIN včetně čísla materiálu (WSN). Tyto údaje doplňuje 137 druhů ocelí,

známých podle EN (Evropské normy).

Třídy obrobitelnosti jsou značeny podle CNN a současně jsou porovnány s třídami obrobitelnosti uváděnými v katalogu firmy WIDIA (92 druhů oceli). Oceli, které nebyly nalezeny v katalogu WIDIA, jsou převedeny pomocí porovnávací tabulky.

Obrobitelnost materiálu je určována jako relativní, tj. srovnáním zkoušeného materiálu a referenčního (etalonového) materiálu. Podle CNN je pro oceli doporučován pouze jeden etalonový materiál, a to ocel 12 050.1. Na základě praktických zkušeností se ukazuje, že by bylo vhodné využívat pro každou třídu obrobitelnosti jiný referenční materiál. Doporučené materiály uvádí následující tabulka. Referenční (etalonový) materiál má hodnotu koeficientu obrobitelnosti $q = 1$.

Jednotné stále platné normativy zařazují oceli do tříd obrobitelnosti na základě zkoušek bez chlazení, prováděných slinutými karbidy typu P10-P20, které mají ve srovnání s dnes již velmi často používanými povlakovanými SK a jinými reznými materiály, vyznačujícími se zejména podstatně jemnější a pravidelnější zrnitostí, mnohem nižší řezivost.

Tab. 2 Hodnoty součinitele Kv (indexu) obrobitelnosti pro jednotlivé třídy skupiny ocelí

Třída	Kv			Třída	Kv		
	vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah		vyjádřeno kvocientem	Stř. hodnota	rozsah
1b	$1,26^{-13}$	0,050	0,045-0,054	11b	$1,26^{-3}$	0,50	0,45-0,56
2b	$1,26^{-12}$	0,065	0,055-0,069	12b	$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71
3b	$1,26^{-11}$	0,080	0,070-0,089	13b	$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89
4b	$1,26^{-10}$	0,10	0,09-0,11	14b	$1,26^0$	1,00	0,90-1,12
5b	$1,26^{-9}$	0,13	0,12-0,14	15b	$1,26^1$	1,26	1,13-1,41
6b	$1,26^{-8}$	0,16	0,15-0,17	16b	$1,26^2$	1,59	1,42-1,78
7b	$1,26^{-7}$	0,20	0,18-0,22	17b	$1,26^3$	2,00	1,79-2,24
8b	$1,26^{-6}$	0,25	0,23-0,28	18b	$1,26^4$	2,50	2,25-2,82
9b	$1,26^{-5}$	0,32	0,29-0,35	19b	$1,26^5$	3,15	2,83-3,55
10b	$1,26^{-4}$	0,40	0,36-0,44	20b	$1,26^6$	4,00	3,56-4,47

Tab. 3 Doporučené referenční (etalonové) oceli

Třída obrobitelnosti	18b/1	17b/2	16b/3	15b/4	14b/5	13b/6	12b/7	11b/8	10b/9	9b/10
Etalon	12 010	11 373	12 040	14 220	12 050	12 050	12 060	12 060	12 061	15 330
	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
	105	130	160	160	190	250	250	280	280	350

Tab. 4 Doporučené referenční (etalonové) austenitické oceli

Třída obrobitelnosti	12b/21	12b/22	9b/23	8b/24	8b/25	7b/26
Etalon	17 020	17 021	17 248	17 238	17 352	-

Tab. 5 Doporučené nástroje pro zkoušku obrobitelnosti

Metoda obrábění	Doporučené nástroje
Soustružení	VBD typu SNGN 120408 nebo SPGN 120408, SK P20 , průřez držáku 25x25 mm, úhel $\chi_r = 70^\circ$ (PN223850.1 nebo PN223850.2).
Vrtání	Vrták $\varnothing$ 10 mm, ČSN 221140, strojní ostření s tolerancí délky ostří 0,2 mm. Pro vrtáky se slinutým karbidem doporučen druh K10 .
Frézování	Frézovací hlava PN 222462.15 nebo PN 222462.25 o průměru 125 mm, počet zubů 10. Po upnutí destiček je dovolené maximální házení axiální 0,03 mm, házení radiální 0,05 mm.

Tab. 6 Doporučené řezné podmínky pro zkoušku obrobiteľnosti

Metoda obrábění	Řezné podmínky		
	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]	Posuv [mm.ot ⁻¹]	Hloubka řezu [mm]
Soustružení	80, 100, 125	0,2	2,0
VBD z SK	160, 200, 250		
Vrtání RO	12, 18, 24, 30, 35	0,12	3 D
Vrtání SK	28, 36, 44, 52, 60	0,08	2 D
Frézování	80, 110, 139	f _z = 0,1 mm	2
VBD z SK	176, 220, 278		šířka frézování 0,5D

Jednotné stále platné normativy zařazují oceli do tříd obrobiteľnosti na základě zkoušek bez chlazení, prováděných slinutými karbidy typu P10-P20, které mají ve srovnání s dnes již velmi často používanými povlakovanými SK a jinými řeznými (super řeznými) materiály, vyznačujícími se zejména podstatně jemnější a pravidelnější zrnitostí, mnohem nižší řezivost.

Tab. 7 Porovnání obrobiteľnosti podle ČSN (CNN) a DIN (WIDIA)

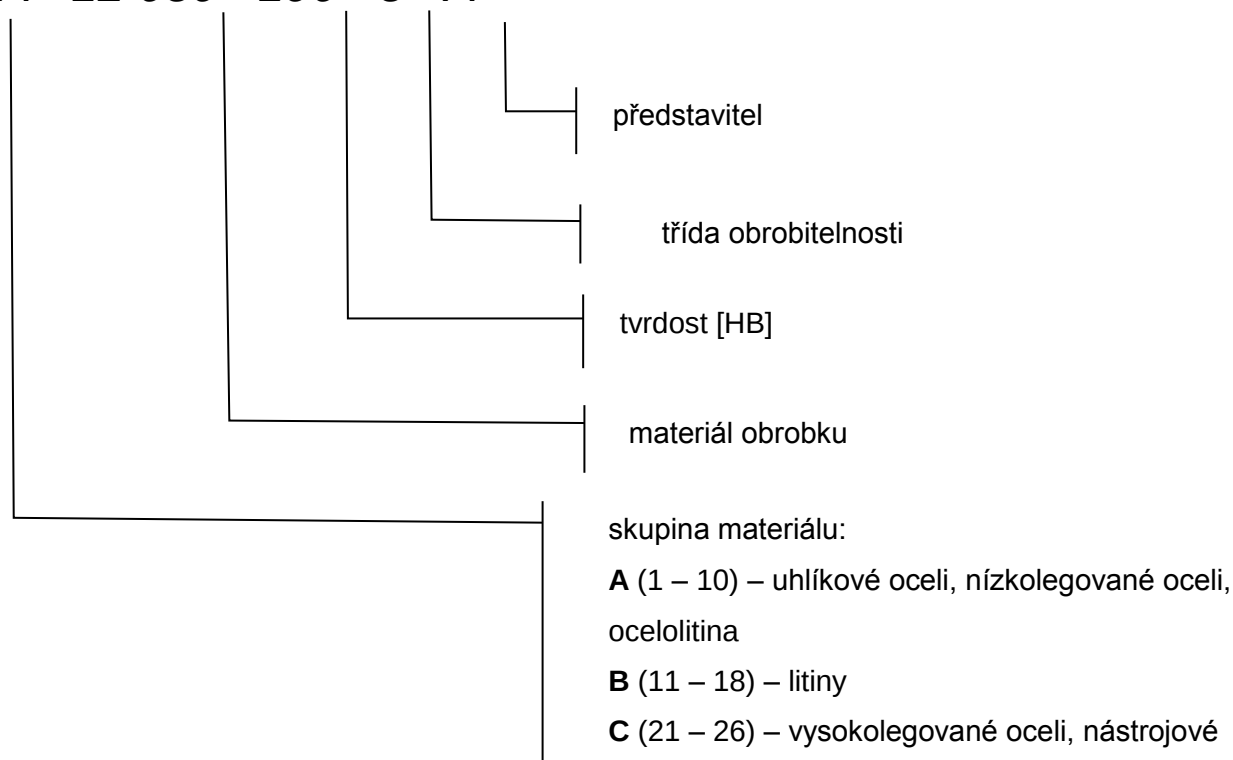
Oceli										
ČSN (CNN)	18b	17b	16b	15b	14b	13b	12b	11b	10b	9b
WIDIA (DIN)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Austenitické oceli										
ČSN (CNN)	12b	11b	10b	9b	8b	7b				
WIDIA (DIN)	21	22	23	24	25	26				

Tab. 8 Součinitel (index) obrobiteľnosti K_v

Třída	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b	10b
Tvrđost [HB]									350	300
minimální	0,045	0,055	0,070	0,090	0,12	0,15	0,18	0,23	0,29	0,36
střední	0,050	0,065	0,080	0,10	0,13	0,16	0,20	0,25	0,32	0,4
maximální	0,054	0,069	0,089	0,11	0,14	0,17	0,22	0,28	0,35	0,44
Třída obrobiteľnosti	11b	12b	13b	14b	15b	16b	17b	18b	19b	20b
Tvrđost [HB]	280	250	250	190	160	160	130			
minimální	0,45	0,57	0,72	0,9	1,13	1,42	1,79	2,25	2,83	3,56
střední	0,5	0,63	0,8	1	1,26	1,59	2	2,5	3,15	4
maximální	0,56	0,71	0,89	1,12	1,41	1,79	2,24	2,82	3,55	4,47

Zápis obrobiteľnosti dle DIN (WIDIA)

A 12 050 190 5 A



1.6 Požadavky na vysokoproduktivní technologie

Výše uvedené vlastnosti vysokoproduktivních procesů vyžadují okamžité odstraňování třísek z obrobku, z pracovního prostoru stroje a ze stroje vůbec. Nesmírný zdroj tepla nahromaděných horkých třísek by vyvolal intenzivní tepelné toky do rámu stroje, nástroje i obrobku a následně ztrátu přesnosti obráběcího procesu způsobenou tepelnými dilatacemi i tvarovými deformacemi těchto částí. Proto je důraz kladen zejména na:

- rychlý odvod třísek z otvorů, dutin a prohlubní obrobku i z jeho vnějších povrchů a jeho nejbližšího okolí, ze kterého by mohly ohřívat obrobek vedením nebo sáláním;
- eliminování možnosti ulpívání a shromažďování třísek v blízkosti nebo na té části rámu stroje, která zprostředkuje mechanické spojení mezi obrobkem a nástrojem, přenáší složky síly řezání a svými silovými i tepelnými deformacemi bezprostředně ovlivňuje přesnost obrábění. Do této „stěžejní“ části rámu patří nejen příslušné nepohyblivé i pohyblivé části loží, stojanů, příčníků, saní, pracovních stolů a suportů, ale i vzájemná přímočará nebo kruhová vedení i nepohyblivá spojení těchto částí. Přináležejí zde i upínače obrobků, upínače nástrojů i vlastní nástroje.
- z toho plyne, že HSC stroj produkuje za jednotku času oproti konvenčnímu obrábění zvýšený objem třísek (dvou až osminásobek), u HVC jde o $[cm^3 \cdot min^{-1}]$
- rozžhavené třísky vygenerovaným „procesním“ teplem dosahují více než desetinásobku doposud běžných hodnot, což vyžaduje jejich okamžité odstraňování z obrobku i pracovního prostoru a stroje vůbec
- nahromaděný zdroj tepla (žhavých třísek) může vyvolat intenzivní tepelné toky do rámu stroje, nástroje i obrobku a následně ztrátu přesnosti obráběcího procesu tepelnými dilatacemi i tvarovými deformacemi stroje
- rychlý odvod třísek z otvorů, dutin a prohlubní obrobku a z jeho vnějších povrchů a nejbližšího okolí,
- z té části rámu stroje, která zajišťuje mechanické spojení mezi obrobkem a nástrojem, přenáší složky síly obrábění a silovými či tepelnými deformacemi bezprostředně ovlivňuje proces obrábění (lože stojany, příčnky, saně pracovní stoly a suporty, ale i vzájemná kruhová vedení i nepohyblivá spojení (upínače obrobků i nástrojů, ale i vlastní nástroje).

Neustálé zdokonalování mechanické stavby strojů se vyvíjí v současné době pomaleji a obtížněji než vývoj v oblasti elektroniky, řídicí a výpočetní techniky. Například v oblasti pohonů se to projevuje ubýváním mechanických převodů, jejichž funkci přebírají elektrické

regulační pohony. Nejvýraznější posun v úrovni pohonové techniky je zřejmý na regulačních pohonech posuvů NC obráběcích strojů, na které jsou kladeny ze všech technických aplikací nejvyšší požadavky pokud jde o rozsah a přesnost regulace, dynamiku, tuhost apod. Mechanické převody již narážejí na hranice svých možností a oproti minulosti se stávají omezujícím prvkem při zvyšování dynamiky a přesnosti posuvů NC strojů. Každé další malé zlepšení jejich vlastností je nutno vyvážit značnými náklady a velkým úsilím při vývoji, zatímco v elektrotechnice, a to v slaboproudé i silnoproudé je vývoj dynamičtější.

S nástupem nových výkonnějších materiálů řezných břitů byla vyvolána řetězová reakce ve vývoji obráběcích strojů pro nové technologie tzv. vysokorychlostní obrábění (HSC - High-Speed-Cutting) neboli obrábění vysokými rychlostmi.

Pohony posuvů obráběcích strojů pro technologie HSC by měly umožňovat pracovní rychlosti suportů při frézování až $0,5$ až $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, aniž by utrpěla tvarová přesnost trajektorie, jejíž přípustná chyba je v řádu 10^{-2} mm . Rychloposuvy se blíží k hranici $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a dosažitelná zrychlení a zpomalení suportů dosahují násobků g .

Určujícím faktorem pro řezný výkon je převaha tvrdosti nástroje nad materiálem obrobku. Fyzikální hranici tvrdosti řezného břitu (diamant $10\,000 \text{ HV}$, při oteplení do $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$) se přibližuje kubický nitrid bóru s $9\,000 \text{ HV}$, při zachování tvrdosti do $1\,400 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hranice řezné rychlosti zatím nebyla prokázána, takže snaha za maximálním úběrem materiálu při zachování přesnosti obrábění zatím pokračuje. Z toho vyplývá, že klasické pohony posuvů NC obráběcích strojů s pohybovými kuličkovými šrouby se blíží hranici svých možností a pro technologie HSC jsou stále častěji nahrazovány pohony lineárními. Šroub se za pohybu stroje ohřívá a zpravidla bývá největším zásobníkem kinetické energie a současně brzdou při zvyšování dynamiky.

Podélné vrtání šroubu s průchodem chladicí kapaliny, nasazení keramických kuliček u ložisek a jiné úpravy přinášejí zlepšení tepelné bilance, neřeší však zásadním způsobem požadovaný kvalitativní skok týkající se dynamiky pohybu. Zvýšením stoupání lze sice do jisté míry zpomalit rotaci šroubu, a tím minimalizovat ohřev i kinetickou energii pohybové osy.

Konstrukčně čistým řešením je však „zbavení se“ přebytečné transformace z rotace motoru na posuv suportu a využít tak přímý výkon.

1.6.1 Rozbor splnitelnosti požadavků

Porovnáme-li oba shora definované požadavky z hlediska obtížnosti jejich realizace v podmínkách HSC procesu, můžeme konstatovat toto:

a) Zdánlivě jednodušší první požadavek může být velmi nesnadno splnitelný pro skříňové, žebrované a tvarově složité nerotační obrobky, upnuté na vodorovných upínacích

plochách pracovních stolů nebo otočných stolů se svislou osou otáčení a opracovávané nástroje ve svislých nebo vodorovných vřetenech. Rovněž obtížná situace je u přírubových součástí s vnitřními centrickými nebo excentrickými otvory a prohlubněmi, obráběných na karuselech i soustruzích s vodorovnou osou vřetena. Gravitační i odstředivé síly zde spíše brání, nežli usnadňují vyprazdňování třísek z děr a prohlubní. Suché obrábění, které je sice důležitou a vysoce ekologickou verzí HSC procesů, však neumožňuje odplavování třísek a může vyprazdňování dutin, prohlubní a otvorů značně znesnadnit.

b) Tepelné vlivy ovlivňují na obrobek zhoubněji než na nástroj. Působí po celou dobu pracovního cyklu, na rozdíl od nástroje, který pracuje na obráběcích centrech nebo v revolverových hlavách jen zlomek této doby, a má navíc většinou hladké tvary bez dutin a otvorů, které nejsou na ulpívání třísek tak náchylné. Tepelné deformace tvarově složitých obrobků jsou nepředvídatelné, za obrábění neměřitelné a předem ani v průběhu operace nekompensovatelné. Mění se s postupem obrábění a vyvolávají vnitřní pnutí, která nevymizí ani po obrobení načisto a následném vychladnutí obrobku.

c) Ochrana „rozhodující“ části rámu před tepelnými deformacemi je dobře řešitelná, je-li možno tuto část umístit nad obrobek, neboť naprostá většina třísek padá dolů a vzhůru odletující suché třísky na vhodně krytovaném rámu neulpívají. Nástroj nelze principiálně před třískami ochránit, a proto na jeho poloze příliš nezáleží. Zejména je důležité, aby obráběné otvory a prohlubně na obrobkách byly otevřené směrem dolů a tímto usnadnily „gravitační“ odpadávání třísek od špiček nástrojů. Tepelné deformace nástrojů jsou kompenzovatelné dotykovými sondami, které měří polohu špiček nástrojů vzhledem k rámu před zahájením jejich operace, případně po jejím ukončení a poskytují data pro elektronickou kompenzaci odchylek.

1.6.2 Optimalizace polohy obrobku, nástroje a nosné části rámu

Z takto provedené analýzy jsou zřejmé výhody uspořádání obráběcích strojů s „visícími“, tedy „nohama vzhůru“ upnutými obrobky. Stroje mají nosnou, rozhodující část rámu umístěnou ve své horní části nad obrobkem a nástroje se k obrobku přibližují zespodu nebo ze stran. Nevýhodou obtížnějšího upínání obrobků, vyplývajícího z této revoluční koncepce HSC strojů, lze řešit u soustružnických strojů a center využitím svislého vřetena i k automatické manipulaci zejména přírubových součástí mezi vřetenem stroje a dopravníkem polotovarů, nebo hotových přírub. Toto řešení vede k pohyblivému vřeteníku ve dvou až třech NC osách a ke zjednodušení nebo i eliminování NC pohybů v nástrojové části.

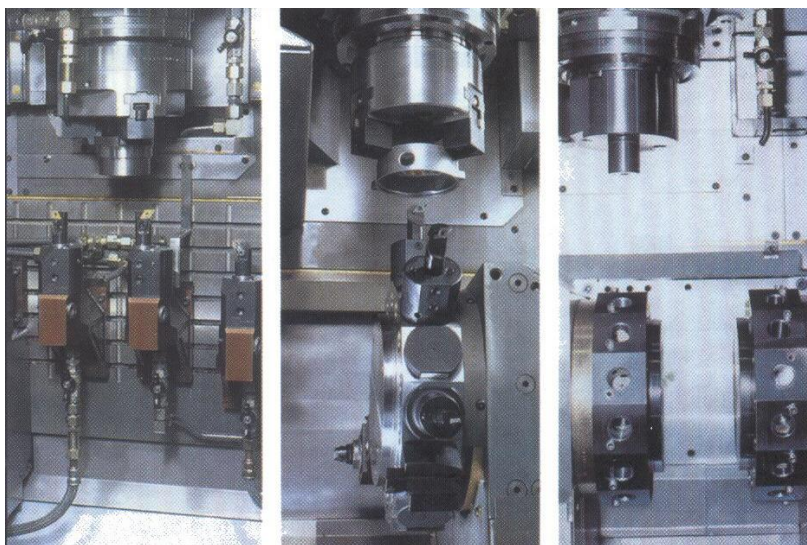
U strojů a center na nerotační obrobky byla nalezena celá řada konstrukcí, u kterých se provádí upnutí v klasické vodorovné poloze a realizuje překlopení do „visící“ polohy pro obrábění. U pětiosých strojů je možné k tomu využít rotačních NC os *B* a *C*. Pro skříňové

obrobky jsou z tohoto hlediska výhodná uspořádání s vodorovnou sou rotace otočného stolu nebo nosiče technologických palet, při kterých je vyprazdňování dutin a prohlubní usnadněno indexováním stolu.

1.6.3 Konstrukční a technologické varianty řešení pro rotační obrobky

Uspořádání pracovního prostoru strojů řady VerticalLine, která zahrnuje stroje s oběžným průměrem 270, 325 a 450 mm (typy V200, V200T, V250 a V300). Pohyby vřeteníku svislého vřetena s integrovaným motorem jsou číslicově řízeny v osách X, Y a Z. Osy X a Z slouží kromě NC řízení radiálních a axiálních pohybů vlastního obrábění i k manipulaci a upínání polotovarů a hotových přírubových obrobků. Osa Y slouží společně s polohově řízeným natáčením vřetena v ose C k realizaci obrábění rotujícími nástroji s různoběžnou i mimoběžnou osou rotace vzhledem k ose rotace hlavního vřetena stroje. Všechny skupiny i mechanismy „rozhodující“ části rámu jsou umístěny v horní části stroje, zatímco třísky padají okolo nástrojů dolů a jsou kontinuálně transportovány ze stroje. Nástroje a nástrojové revolverové hlavy se nepohybují, čímž vznikají široké možnosti ve variabilitě nástrojového vybavení pro nejrůznější technologické požadavky. Kromě pevných soustružnických nástrojů mohou být na nástrojové desce i v revolverových hlavách umístěny rotující nástroje pro obrábění přídavných nerotačních povrchů. Takovéto uspořádání slouží k obrábění brzdových bubnů a má jeden nástroj na nástrojové desce a dvě revolverové hlavy.

Jiná uspořádání s několikanástrojovými jednotkami na desce nebo jednou či dvěma revolverovými hlavami s vyloučením desky jsou uvedena na obr.1.13. Nástrojová deska je jako celek včetně upnutých nástrojových jednotek vyjímatelná nebo vyměnitelná.



Obr.1.13 Varianty uspořádání s nástrojovou deskou revolverovými hlavami

Na obr.1.14 je znázorněno provedení s NC osou *B*, které umožňuje pětiosé obrábění rotačních obrobků s přídavnými nerotačními povrchy pevnými i rotujícími nástroji včetně využití osy *Y* pro mimostředné operace mimoběžnými nástroji.



Obr.1.14 Pětiosé provedení s NC osami X, Y, Z, B a C

Jednodušší technologické operace na zadní straně obrobku mohou být provedeny pomocí jednotky protivřetena umístěné na nástrojové desce v klasické „karuselové“ vertikální poloze. Nástrojová hlava s omezeným počtem nástrojů je naopak spojena s hlavním vřeteníkem stroje. Hlavní vřeteno vloží obrobek po dokončení své hlavní operace do protivřetena a po obrobení z druhé strany jej odejme a přenesení do zásobníku.

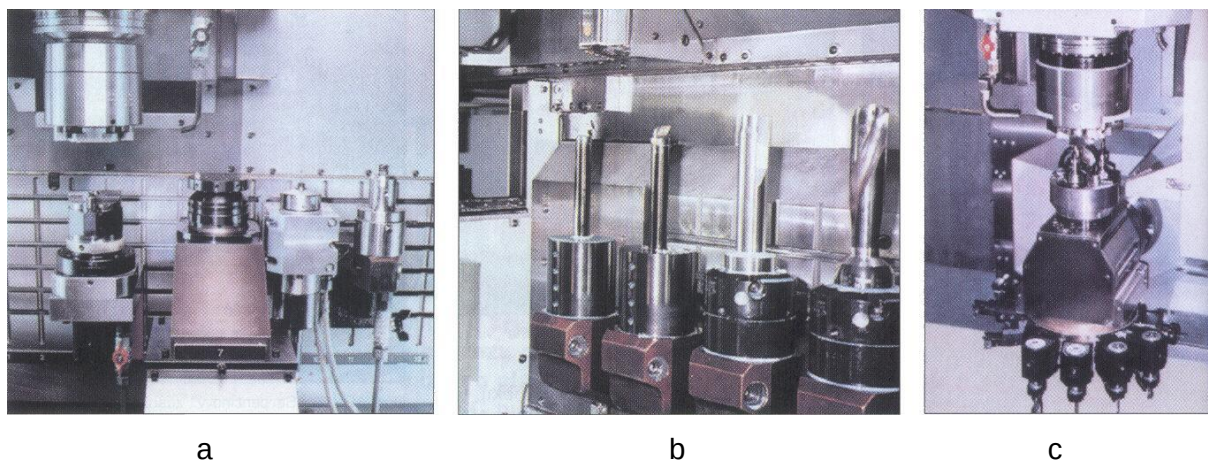
Využití plného souboru nástrojů a technologických hlavic pro obrábění z druhé strany je možné pomocí vidlicového obraceče, do kterého vřeteno odloží obrobek po první operaci. Vidlice obrátí obrobek o 180° a položí ho na pomocný upínač na revolverové hlavě, odkud si ho už z velmi vysokou přesností odebere vřeteno.

Stroje mohou mít i tandemové provedení s dvěma „visícími“ vřeteníky, mezi něž je umístěna překlápěcí stanice s vidlicí, která překlopením přemístí součást od prvního vřetena k druhému za současného otočení obrobku o 180°.

Obrobky menších průměrů vstupují do stroje ze „serpentinového“ zásobníku. Konkrétní provedení může například pojmout 700 součástí o průměru 300 mm. Větší obrobky používají pásové dopravníky. Vřeteno má manipulační schopnost odebírat a vracet obrobky do libovolných poloh v rámci svých *X*, *Y*, *Z* zdvihů, což usnadňuje manipulační aplikace. Jednou z možností je i použití univerzálních upínacích palet na rotační obrobky. Pásové i jiné dopravníky umožňují propojování i řetězení strojů do výrobních buněk a pružných buněk s nejrůznějším prostorovým uspořádáním.

Byla již ověřena celá řada netradičních technologií pro soustružnický stroj. Obr.1.15. nás informuje o možnosti použití vysokofrekvenčních nástrojových vřeten (a), jednotek pro

vrtání hlubokých děr (b) několika - vřetenových jednotek (c) montovaných na nástrojovou desku.



Obr.1.15 Použití vysokofrekvenčních nástrojových vřeten (a), jednotek pro vrtání hlubokých děr (b) několika - vřetenových jednotek, (c) montovaných na nástrojovou desku.

Jinou možností je laserové svařování a laserové kalení povrchů s následným tvrdým a suchým vysokorychlostním obráběním. Obráběcí stroj firmy Index, který aplikuje popsané principy obrábění a manipulace „visících“ rotačních obrobků dokonce na osmivřetenové provedení (typ MV 200 Multiline Production Center). Variabilita nástrojového a technologického příslušenství je tu nepředstavitelná. Jedná se zde vlastně o kruhově uspořádanou osmistanicovou NC linku s centrálním odvodem třísek středem stroje.

1.6.4 Obráběcí centra a klasifikace nerotačních součástí

Pro autonomně pracující obráběcí centra i stroje pracující ve výrobních buňkách a PVS vzniká potřeba definovat „technologické rodiny“ součástí, které je stroj bez podstatných změn technologického vybavení schopen komplexně obrobít. To lze provést jen na základě klasifikace součástí z hledisek skupinové technologie.

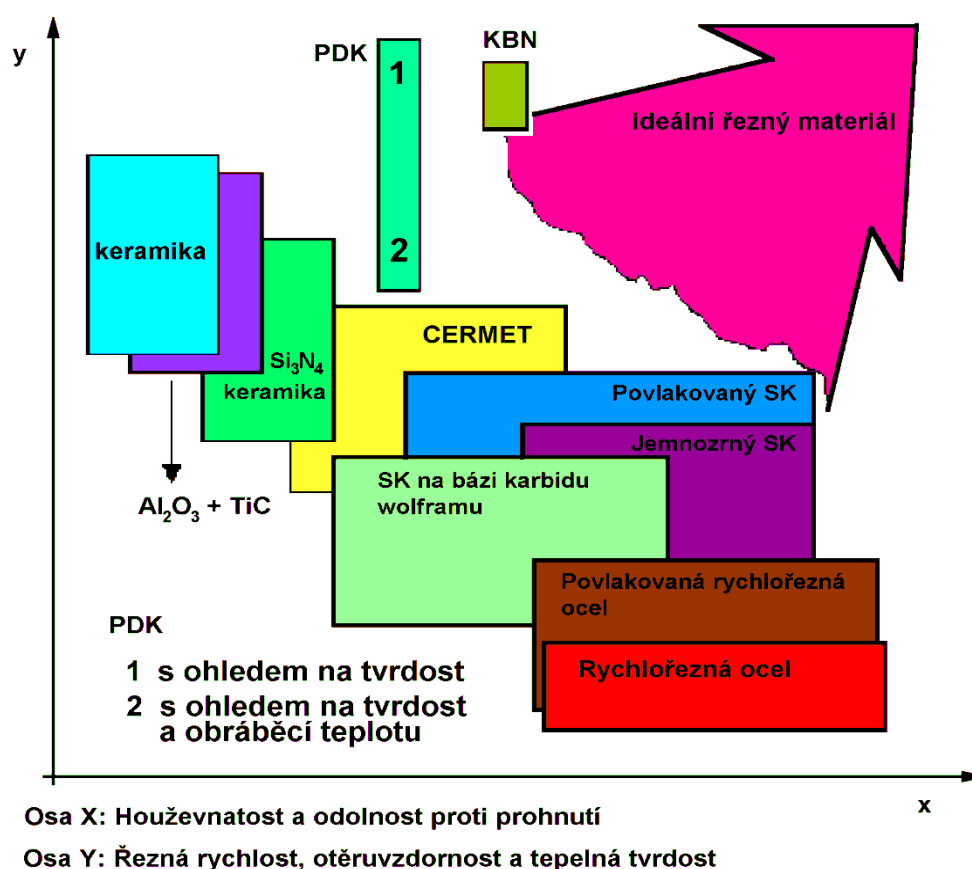
Dosud užívané metody skupinové technologie, které třídily obráběné třídiily obráběné dílce podle výskytu a četnosti elementárních tvarů obráběných povrchů, měly svůj význam v době, kdy tvarová podobnost mohla značně usnadnit přípravu výroby v podmínkách ručně řízených či ručně programovaných NC strojů.

S nástupem počítačově programovaných obráběcích center i dokonalejších metod CAD/CAM programování se však již význam tvarové podobnosti obráběných povrchů snižuje, neboť souvisle řízené stroje mohou realizovat jakékoliv programované pohyby a moderní CAD/CAM systémy je snadno naprogramují. Je proto potřebné hledat nové přístupy ke klasifikaci součástí z hlediska jejich přiřazování NC strojům a sestavování „technologických rodin“ obráběcích center a buněk.

1.7 Progresivní materiály nástrojů pro HPM

Na nadcházejícím obrázku je znázorněn přehled všech až doposud používaných řezných materiálů. Již více než stoletý cílený vývoj (myšleno od používání rychlořezných ocelí 19 800) trvanlivých (otěru vzdorných, tepelně odolných, tvrdých, pevných, a přitom houževnatých) řezných materiálů, směřuje k vyvinutí tzv. ideálního řezného materiálu, který bude současně disponovat maximálně dosažitelnou houževnatostí, odolností proti prohnutí, ale i co nejvyšší otěruvzdorností i tepelnou tvrdostí.

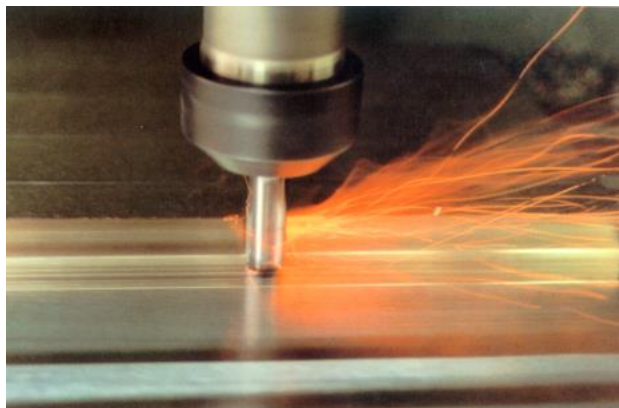
K těmto vytýčeným vlastnostem dospěl již v posledních cca 30-ti letech kubický nitrid bóru, který co do tvrdosti se téměř vyrovná i diamantu, aniž by za vysokých teplot difundoval do kovových strojírenských materiálů, obsahujících železo. Zejména těmito vlastnostmi (a nejen těmito) se stává tzv. „super řezným materiálem“, jehož vývoj ještě stále není ukončen. Právě v posledním desetiletí se v „grafu posunuje doprava“ téměř na úroveň jemnozrnných povlakovaných slinutých karbidů, aniž by poklesl směrem k počátku osy Y.



Obr. 16 Směřování vývoje současných řezných materiálů

Následující barevná fotografie nás odborně zasvěcené může docela dobře informovat

o teplotě právě vzniknuvší a od místa svého oddělení rychle odcházející třísky. Studující těchto textů znalí nauce o materiálu a teorie obrábění si snadno vydedukují o jakou teplotu třísky (alespoň přibližně na základním principu termometru), ale i řezné parametry se v tomto uváděném případě jedná.



Obr. 17 Odchod žhavé třísky při „HSC frézování“

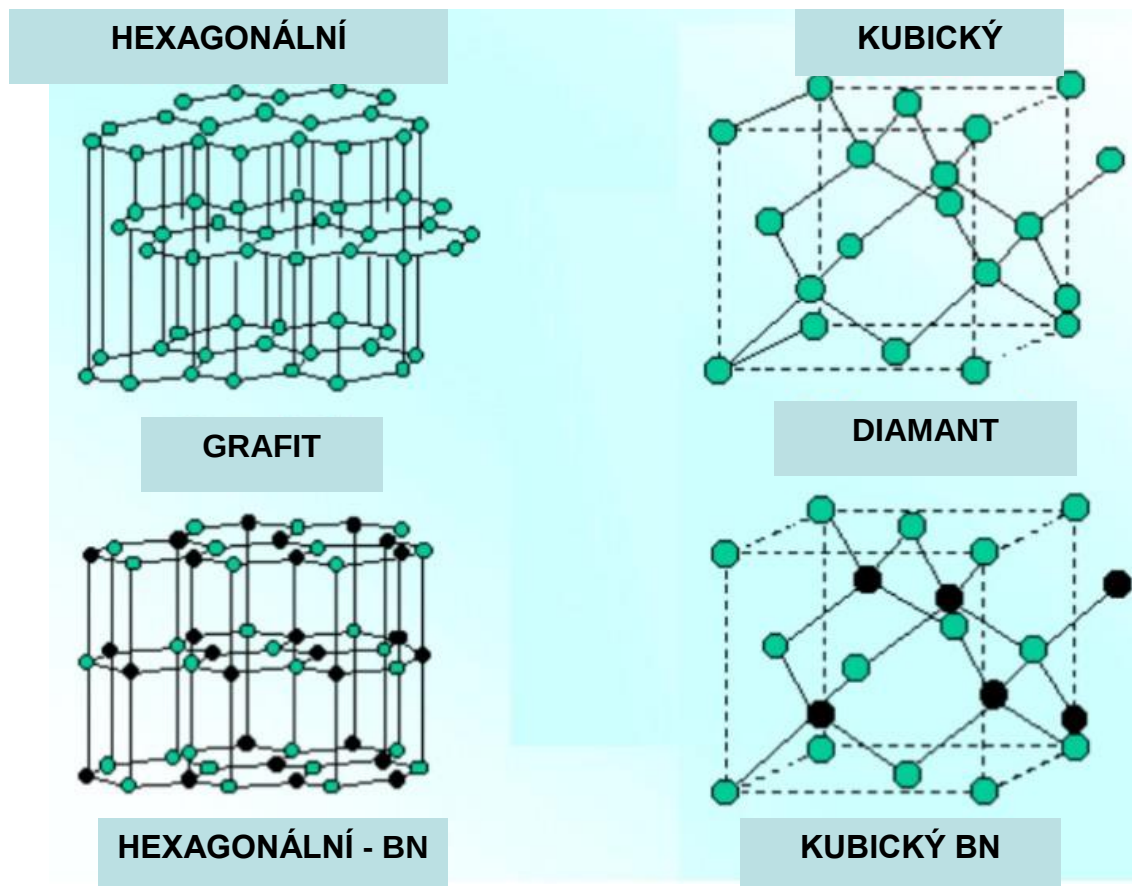
Pro doplnění informací, které“ praxí a bohatou experimentální zkušeností prošlým specialistům na třískové obrábění“ může poskytnout pouhá barevná fotografie, je vhodné a žádoucí, ale i z praktického hlediska zajímavé doplnit, že v okamžiku svého vzniku má nový obrobený povrch stejnou teplotu, jakou měl bezprostředně před obrobením.

Samozřejmě se jedná o tzv. „suché obrábění“ rozuměno obrábění bez použití jakéhokoli procesního média (nechladíme, nemažeme, neodsáváme, neodplavujeme, neofoukáváme zchlazeným vzduchem, nepoužíváme tzv. chladicí mlhu – mikrochlazení), apod. Další užitečnou informací pro pedagogické, odborně zaměřené středoškolské pracovníky může být, že obráběným materiálem je v námi zde uváděném případě středně legovaná ocel o vysoké tahové pevnosti, ale i tvrdosti a obráběným materiálem je monolitní stopková, povlakovaná jemnozrnná fréza, vyrobená z vícesložkového slinutého karbidu.

Velmi vysoká řezivost současně vyráběných řezných materiálů je především dána jejich strukturou, která se vyznačuje velmi homogenní strukturou, kde jednotlivých velikost zrn (rozměr přes zrno) nepřesahuje 1 mikrometr. Zjednodušeně se dá říct, že je lepší, když budou mít všechna zrna 0,9 mikrometrů, než když se jejich rozměr bude pohybovat od 0,5 a až po 0,9 mikrometrů.

Mezi uznávanou odbornou veřejností je všeobecně známý fakt, že jejich vlastnosti jsou zejména dány jejich modifikací. Jedná se o prostorové uspořádání nebo-li konfiguraci jejich atomů. Následující obrázek nám představuje diamant (tedy uhlík) a bór, a to v kubické (krychlové) a hexagonální (šesterečné) konfiguraci. Čistý uhlík v kubické sestavě svých atomů je nejtvrdším známým nerostem, v grafické sestavě je znám jako tuha či saze, které mají co do tvrdosti diametrálně se lišící vlastnosti.

Modifikace diamantu a nitridu bóru:



Obr. 18 Konfigurace atomů bóru a uhlíku

Druhým, zde uváděným prvkem, je bór doprovázený nitridem (dusíkem). Zatímco šesterečná konfigurace těchto prvků dobře poslouží např. kosmetickým účelům, prostorové uspořádání v krychli mu umožní být „super řezným materiálem odolávajícím nejvyšším řezným teplotám ze všech doposud známým řezným materiálům.

1.8 Nástroje pro vysokoproduktivní obrábění a jejich úpravy

Současně nastupující vysokoproduktivní strojírenská výroba vyžaduje sofistikované řezné nástroje, které musí splňovat celý soubor předem stanovených požadavků. Dále je uvedeno několik následujících vybraných požadavků, které musí velmi rychle se otáčející řezné nástroje bezpodmínečně splňovat. Přiblížme si tedy stručně jednotlivé vybrané body požadavků, které jsou níže uvedeny:

1.8.1 Požadavky na současný řezný nástroj

a) Rotační symetrie u frézovacích a vrtacích řezných nástrojů (brousicí kotouče zde nebudeme z obsahových důvodů uvažovat) je při otáčejících se „osových“ řezných nástrojů, často i několika desítkami tisíc se otáček za minutu, naprosto nezbytná. Vlivem obrovských odstředivých sil, které nutně provázejí tyto hodnoty otáček, zákonitě hrozí reálné nebezpečí nepřipustného rozkmitání rotujícího nástroje, po kterém s velkou pravděpodobností může dojít k jeho roztržení, jehož důsledek může být i tragický pro obsluhu obráběcího centra, ale i pro jeho okolí. Proto je tzv. opláštění vysokorychlostních center prakticky „pancéřováno“.

b) Ani striktně dodržená rotační symetrie frézovacích a vrtacích nástrojů nemusí nutně zabránit výše uváděnému nežádoucímu případu. Není-li dodržen další z vybraných požadavků, a to symetrická vyváženost velmi rychle rotující hmoty nástroje, může rovněž dojít k jeho roztržení, které lze přirovnat k explozi munice. Tento nesnadný požadavek však musí vyřešit „hutní prvovýroba“.

c) Zajištění minimální odchylky obvodového házení spadá do oblasti problematiky vývojových konstruktérů a jejich technologů, ale i následné obsluhy obráběcího centra, při výměnách, upínání a ustavování uvažovaných rotačních řezných nástrojů.

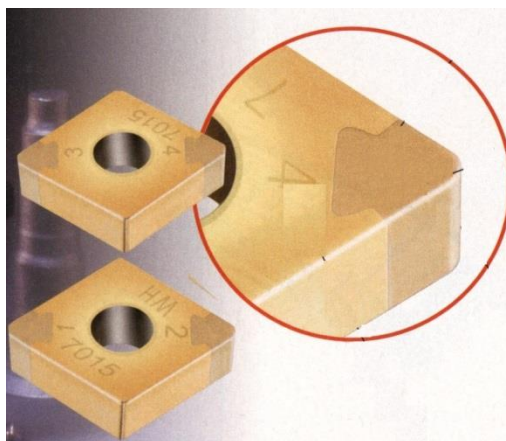
d) Následující uvažovaný požadavek je zaměřen na optimalizovanou geometrii břitu. Rotační nástroj tedy musí být navržen, zkonstruován a následně vyroben tak, aby jeho nástrojové úhly umožňovaly technologovi určujícímu tzv. „strategii frézování“ ustavit nástroj vzhledem k obrobku tak, a to včetně k uvažované vzájemné kinematice nástrojového a obrobkového systému stroje, aby jeho pracovní úhly zachovaly požadovanou „optimálnost“.

e) Rovněž vysoká tuhost soustavy stroj – **nástroj** – obrobek je pro HPM nezbytnou nutností. Potřebná velmi vysoká tuhost řezného nástroje, který je v dynamickém řezném procesu zatěžován nejen silově a tepelně, avšak u rotačních nástrojů kinematický, zejména odstředivou silou, klade extrémní požadavky na materiál, ze kterého je vyroben.

f) Vzhledem k velmi vysokým objemovým úběrům obráběného materiálu za čas, mají utvářející se třísky značný průřez. Proto musí být řezné nástroje konstruovány tak, aby měly dostatečně velký a vhodně tvarovaný prostor (velké komory pro třísky) pro jejich dočasnou kumulaci a následný rychlý odvod.

g) Extrémní namáhání břitů nástrojů musí být konstrukčně podpořeno tak, aby maximálně eliminovalo vrubový účinek, který je negativním průvodcem optimální řezné geometrie.

h) Rovněž důmyslné vzájemné překrytí jednotlivých břitů příznivě snižuje neustálé vzniky a zániky řezných odporů, které přerušovaný řez nutně provázejí. Postupné nájezdy a následně i postupné výjezdy jednotlivých břitů rotačních nástrojů tak minimalizují riziko vzniku vibrací.



Obr. 19 Nemonolitní VBD

Pro nejnáročnější požadavky na vlastnosti řezných materiálů jsou vyvinuty necelistvé (zkomponovány z více než jednoho materiálu) vyměnitelné břitové destičky se vsazenými např. diamantovými břitů. Docílí se tím především velká úspora super řezného materiálu, protože funkčními částmi zde uváděné čtvercové VBD jsou pouze její rohové části.

- rotační symetrie
- vyváženost rotačních hmot
- min. odchylky obvodového házení
- optimalizovaná geometrie břitu
- dostatečná tuhost
- velké komory pro třísky
- snížený vrubový účinek
- překrytí břitů

1.8.2 Požadavky na současný řezný materiál

- odolný proti opotřebení,
- teplotně stabilní,
- houževnatý, vhodný povlak.

Základním požadavkem na vysokorychlostní „super řezný“ materiál je jeho maximální odolnost proti jeho opotřebení, což v podstatě představuje jeho velmi vysokou otěruvzdornost.

1.9 Přesnost obráběcích strojů a stabilita řezného procesu

Přesnost obráběcích strojů bezprostředně a neoddělitelně souvisí se stabilitou

řezného procesu. Stabilita řezného procesu je taktéž zakomponována ve zvolených řezných parametrech, řezné geometrii a řezné kinematice. Jsou-li tyto tři pilíře, předurčující klidný a bezproblémový průběh obrábění, technologem vhodně zvoleny, je více než pravděpodobné, že na obráběcím stroji dostatečné tuhosti dosáhneme zákazníkem požadované přesnosti.

1.9.1 Tuhost soustavy

Tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek je pro danou soustavu hodnota konstantní. Může se však měnit způsob deformace.

Tuhost soustavy je dána vztahem :

$$j_s = \frac{F'}{\Delta y} \quad (1.19)$$

Síla způsobující deformaci obrobku:

$$F' = \sqrt{F_z^2 + F_y^2} \quad (1.20)$$

$$\text{Označíme-li } F_y / F_z = b, \text{ pak } F' = \sqrt{F_z^2 + (\beta^2 \cdot F_z^2)} = F_z \cdot \sqrt{1 + \beta^2} = F_z \cdot \lambda_s \quad (1.21)$$

(pro $\beta = 0,4$ je $\lambda_s \cong 1,08$)

Dosazením do rovnice pro tuhost:

$$j_s = \frac{\lambda_s \cdot c_{F_z} \cdot \Delta a_p^{x_{F_z}} \cdot f^{y_{F_z}}}{\Delta y} \quad (1.22)$$

kde: Δa_p je nepřesnost polotovaru

Δy je nepřesnost po obrábění ($\varepsilon = \Delta a_p / \Delta y$ zpřesnění)

LIMITNÍ POSUV Z HLEDISKA TUHOSTI SOUSTAVY BUDE

$$f_{\lim} = \left[\frac{j_s}{\lambda_s \cdot c_{F_z} \cdot \left(\frac{\Delta a_p}{\Delta y} \right)} \right]^{\frac{1}{y_{F_z}}} = \left[\frac{j_s}{\lambda_s \cdot c_{F_z} \cdot \varepsilon} \right]^{\frac{1}{y_{F_z}}} \quad (1.23)$$

SKUTEČNÝ POSUV MUSÍ BÝT MENŠÍ NEŽ LIMITNÍ:

$$f \leq \left[\frac{j_s}{\lambda_s \cdot c_{Fz} \cdot \varepsilon} \right]^{\frac{1}{y_{Fz}}} = a_7 \quad (1.24)$$

Tuhost technologické soustavy je na různých místech povrchu obrobku různá $\Rightarrow$ při určování tuhosti technologické soustavy se při výpočtu bere v úvahu pouze pasivní složka síly obrábění a deformace v jejím směru na soustavu prostřednictvím hrotu řezného klínu.

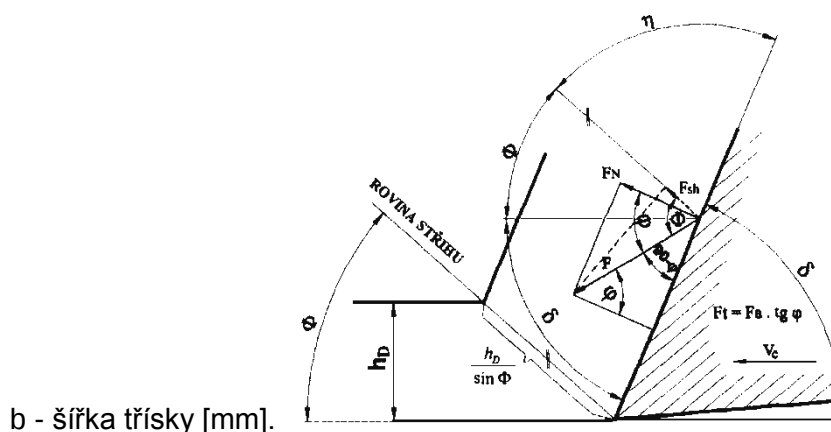
Odvození změny úhlu střižné roviny Φ (ČSN δ)

Z podmínky minimálně vynaložené práce lze stanovit sílu F , kterou nástroj působí na

$$\text{odřezávanou vrstvu: } F = \frac{\tau_k \cdot h_D \cdot b}{\sin \phi \cdot \cos \theta} = \frac{t_k \cdot h_D \cdot b}{\sin \phi \cdot \cos(\varphi + \delta + \phi - 90^\circ)}$$

(1.25)

kde: F - síla, kterou působí nástroj na odřezávanou vrstvu [N], δ -
 úhel řezu, Φ - úhel roviny stříhu, φ - úhel tření, t_k - střední kritické
 kluzové napětí v oblasti prim. deformace [MPa], h_D - hloubka řezu [mm],



Obr.5.2 Dynamické podmínky při obrábění

Cílem řešení je nalezení úhlu Φ , pro který bude síla F minimální. Tohoto je možné dosáhnout nalezením extrémní hodnoty funkce rovnice (5.7), tedy z podmínky:

$$\frac{dF}{d\phi} = 0$$

$$\frac{dF}{d\phi} = -\frac{K \cdot \cos(\varphi + \delta + \phi - 90^\circ)}{\cos^2(\varphi + \delta + \phi - 90^\circ) \cdot \sin^2 \phi} = 0 \quad (1.26)$$

Úpravou rovnice (5.8) a splněním podmínky rov. (5.9) dostáváme úhel střižné roviny

Φ závisející především na úhlu řezu δ a úhlu tření φ :

$$\Phi = 90^\circ - \frac{(\varphi + \delta)}{2} \quad (1.27)$$

Eliminací vlivu normálové složky síly obrábění F_N poklesne:

- celkový řezný odpor a třecí složka F_t zmenší se intenzita opotřebení čela nástroje,
- zvětší se úhel střížné roviny Φ ,
- značným se zmenšení úhlu tření φ na hodnotu:

$$\Phi = 90^\circ - \frac{\delta}{2} \quad (1.28)$$

Teplo odvedené třískou minimalizuje vliv energetického působení na vlastnosti povrchové vrstvy i vznik reziduálních pnutí.

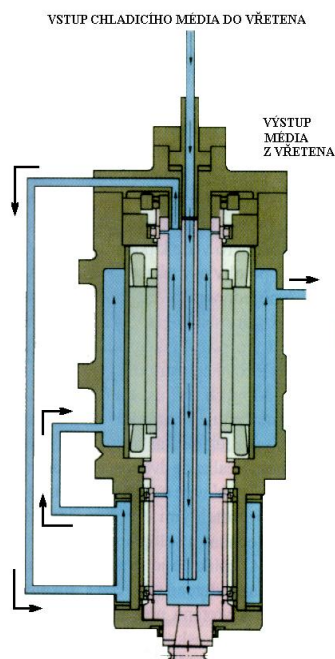
1.9.2 Tepelné toky v pohonech posuvů a jejich eliminace

Tepelné toky směřují způsobit pouze posuvné, nikoliv úhlové, nekompensovatelné deformace. Strategie boje proti tepelným vlivům je zaměřena na plné chlazení veškerého tepla v místě jeho vzniku, což je jediné účinná eliminace jakýchkoliv časově proměnných tepelných toků po stroji. Výše zmíněný stroj V 55 nemá žádná ozubená kola. Odměřování v osách X , Y a Z je elektrooptické přímé s inkrementem 0,1 mm. Posuvové motory v osách X , Y a Z jsou koaxiálně napojeny na kuličkové posuvové šrouby a profukovány vzduchem. Posuvové šrouby jsou vrtány a průtokově chlazeny, což dovoluje nastavit vysoké trvalé předpětí jejich axiálního uložení na obou koncích. I matice jsou protékány stejnou, tepelně stabilizovanou kapalinou. Tím je dosaženo úplné eliminace tepelných toků od pohonů posuvu a jejich změn v průběhu práce stroje. Pohony s takto předepnutými a chlazenými kuličkovými šrouby mají maximální roztažení 10 mm, které odpovídá kolísání teploty pod 1 °C a dovolují pracovní posuvy do 50 m·min⁻¹. Zrychlení až na maximální rychlost je 0,6 G. Prototypy odpovídajících strojů s lineárními motory byly u firmy Makino zhotoveny a zkoušeny, pro takto výkonné stroje však zatím nebyly uvolněny do prodeje z důvodu nadměrné generace tepla [8].

1.9.3 Integrovaná elektrovřetena s průtokově chlazeným statorem i rotorem

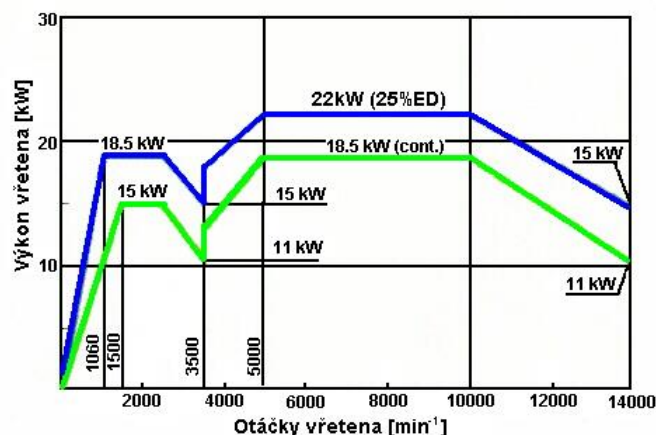
Integrovaná elektrovřetena HSC strojů mají obvykle průtokově stabilizované statory a přívod mazání ze satorů do valivých „hybridních“ ložisek s keramickými kuličkami. Při

velkém momentovém zatížení v oblasti nižších otáček se rotor přehřívá, a proto je nutno jeho moment omezovat právě při práci s většími průměry nástrojů, kde by ho bylo nejvíce zapotřebí. Nejnověji se objevují elektrovřetena s průtokovým chlazením rotoru olejem, který z něj odstředivě odstříkuje na vnitřní kroužky ložisek a je dále vyveden z rotoru k chlazení vnějších kroužků valivých ložisek a statorového vinutí motoru. Taková vřetena jsou zabudována i do výše uvedených strojů V55 a A 77 a znázorněna v řezu na obr.1.20.

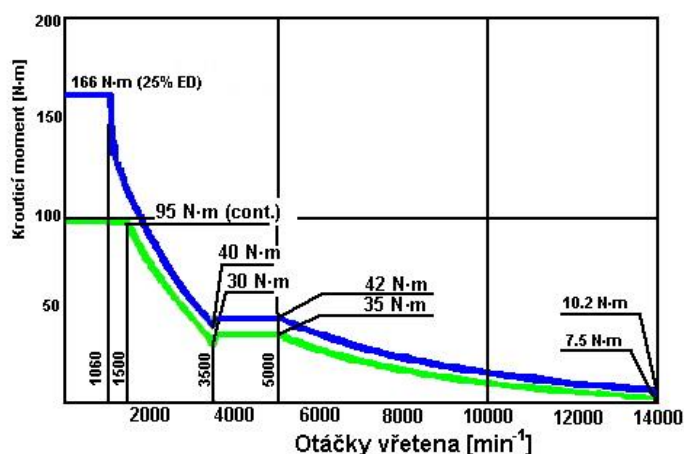


Obr.1.20 Řez integrovaným vřetenem s průtokově chlazeným statorem i rotorem (fa Makino)

Kapalinové chlazení takto chlazených vřeten zcela eliminuje tepelné toky do rámu stroje. Další vynikající vlastností těchto vřeten je automatické přepínání dvojího vinutí motoru, což výrazně zvyšuje momentovou zatížitelnost v oblasti nízkých otáček, kde motor pracuje se zvýšeným počtem pólů. Vřetena jsou dodávána ke strojům volitelně s maximálními otáčkami $14\,000\text{ min}^{-1}$, $20\,000\text{ min}^{-1}$ a $30\,000\text{ min}^{-1}$. Na obr.1.21 je vynesena výkonová a na obr.1.22 i momentová charakteristika vřetena do otáček $14\,000\text{ min}^{-1}$ po dobu 15ti minutového zatížení.

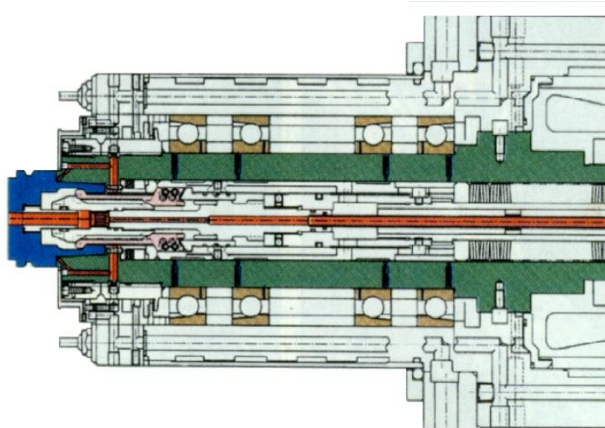


Obr.1.21 Výkonová charakteristika vřetena



Obr.1.22 Momentová charakteristika vřetena

Pozoruhodný je zejména nárůst momentů v oblasti nejnižších otáček, který poskytuje širokou využitelnost vřeten pro velký rozsah nástrojových průměrů pro HSC i standardní hrubovací technologie. Průtokové chlazení vřeten nijak nebrání vnitřnímu tlakovému chlazení nástrojů středem vřetena, ani automatickému upínání nástrojů systémem dutého kužele HSK – A63, což je zřejmé z obr.1.23, na němž je řez koncem elektrovřetena.

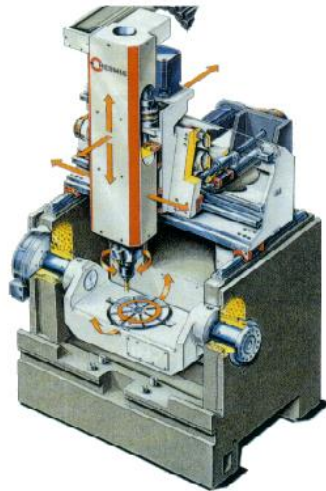


Obr.1.23 Řez předním koncem integrovaného vřetená

Aplikace frézovacích HSC technologií vyžaduje eliminaci frézování středovou partií nástroje, které znesnadňuje dosažení vysoké řezné rychlosti a tím docílení a využití většiny efektů HSC technologií. U tvarově složitých povrchů forem lze tento problém řešit cca 20° odklonem osy nástroje s kulovým koncem vzhledem k prostorové normále k okamžitému povrchu obrábění. To směřuje k použití pětiosého řízení úhlové polohy osy nástroje vůči obrobku i u poměrně jednoduchých obráběných tvarů. Požadavek pětiosého obrábění se tak stává charakteristickým požadavkem, který je kladen na stavbu HSC strojů.

Doplněním úhlových NC os **A** a **B** je možno realizovat natáčení vřeteníku, natáčením obrobku nebo rozdělením natáčení mezi vřeteník a obrobek. Realizace dvouosého natáčení vřeteníku je účelná hlavně u strojů s velmi rozměrnými nebo protáhlými obrobky, jejichž umístění na otočném a sklopném stole není reálné. Pro HSC aplikace je ovšem třeba naklápět integrované vřeteno jako celek, nikoliv přivádět pohyb k vřetenu přes naklápěcí kuželové převody.

Gyroskopické efekty HSC vřeten a požadavky rychlého odstraňování třísek spíše hovoří pro dvouosé natáčení obrobku upnutého na otočném stole. Velmi se rozšiřuje koncepce otočného stolu uloženého ve „sklopné kolébce“, která je využitelná v kombinaci s vertikálním i horizontálním vřetenem. Příklad takové kolébky je uveden na obr.1.24.



Obr.1.24 Pětiosé obráběcí centrum typu C 600 U

1.9.4 Vliv tříosých a pětiosých technologií a strategií na řešení HPM strojů

Z analýzy podmínek a strategií vysokorychlostního obrábění je zřejmé, že vysokorychlostní stroje musí být schopné pracovat ve velmi širokém rozsahu otáček a výkonu vřeten i rychlostí posuvů. K ideální charakteristice konstantního výkonu vřeten v celém otáčkovém rozsahu, která by umožnila velký nárůst momentu pro výkonové frézování většími průměry nástrojů, se dosti blíží charakteristiky integrovaných elektrovřeten s dvojím vinutím. Proto mají takto vybavené vysokorychlostní stroje mnohem lepší provozní využití. V jiných případech je požadovaný rozsah technologie tak velký, že je nutná výměna vřetenových hlav i za cenu vyšších nákladů a snížení přesnosti mezi navazujícími plochami. Otáčky vřeten dnešních HSC strojů leží v rozsahu 15 000 až 70 000 min⁻¹. Výkony při vysokých otáčkách vřeten nejsou požadovány příliš vysoké, neboť letmo upnuté nástroje o minimálních průměrech by je nebyly pro hrozící ohybový lom ani schopny přenést. Výkony při středně vysokých otáčkách dosahují 20 až 40 kW. V oblasti nižších otáček je rozhodující krouticí moment, který je však i při dokonalém chlazení limitován rozměry vřetena a dosahované výkony jsou poměrně nízké. Důležitým parametrem jsou časy potřebné ke zrychlení a zabrzdění vřeten, které výrazně ovlivňují doby výměny nástrojů.

Existuje již velký výběr rezných materiálů i nástrojů pro technologie vysokorychlostního, suchého a tvrdého obrábění. Je důležité si uvědomit výhodu vícebřitých nástrojů, jejichž břity se střídají v řezu a ve zbývajícím čase se chladí kapalinou, nebo alespoň rotací ve vzduchu. Je zde patrná výhoda frézování před soustružením. HSC technologie mají zatím největší význam ve vybraných kombinacích rezných a obráběných materiálů hlavně ve frézovacích technologiích. Patří sem zejména frézování litiny keramikou, frézování lehkých kovů polykrystalickými diamanty, frézování ocelí povlakovanými karbidy a

cermety a frézování kalených a legovaných ocelí kubickým nitridem boru. Největší ekonomické přínosy vznikají při obrábění lehkých slitin v leteckém průmyslu a při obrábění forem pro výrobky automobilového a plastikářského průmyslu.

Pohony pracovních posuvů dosahují $40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, výjimečně i více. Rychloposuvy při použití kapalinově chlazených kuličkových šroubů dosahují $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, u vícechodých šroubů s velkým stoupáním, které může být rovno i průměru šroubu (tzv. čtvercové šrouby), a menších zdvihů i $70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Lineární pohony jsou hlavně limitovány požadovanou posuvovou silou, nikoliv rychlostí. Jsou dnes využitelné pro stroje menších i středních velikostí s menšími ovládanými hmotami do rychloposuvů až $120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. V zásadě platí, že pohony posuvů jsou u vysokorychlostních strojů silově dimenzovány na požadované zrychlení, než na řezné síly, které jsou u vysokorychlostních technologií poměrně malé. Dosahovaná zrychlení se pohybují od 0,3 G do 3 G.

Rámy vysokorychlostních strojů, podélná vedení i uložení otočných a sklopných stolů
Rámy vysokorychlostních strojů, podélná vedení i uložení otočných a sklopných stolů musí mít vysokou tuhost a velmi dobré tlumení řetězce „nástroj-obrobek“. Tyto vlastnosti musí být rovnoměrně rozložené v celém zdvihovém rozsahu stroje. I nepatrné zachvění v nejméně příznivé poloze, způsobené například náhlou změnou řezných nebo setrvačných sil, může vyvolat poškození extrémně tvrdých, ale křehkých nástrojových hran.

Proto i všechna vedení musí mít dokonale vymezené vůle a vysokou tuhost i tlumení. Příznivě zde působí fakt, že v silovém řetězci se kombinují vedení různých prostorových, většinou na sebe kolmých směrů, jejichž tlumení se sčítá. Tak například u hydrostatických vedení, která mají nižší tlumení ve směru posuvu, ale velmi dobré tlumení v obou zbývajících kolmých směrech, jsou kmity ve směru posuvu účinně tlumeny vedením v jiné, kolmo položené NC ose.

Vysoké otáčky výkonných a robustních frézovacích vřeten mohou vyvolávat problémy gyroskopických efektů u pětiosých strojů tam, kde by se jejich prostorový sklon měnil řízením úhlových NC os **A** a **B**. Proto je vhodné řešit koncepčně rám stroje tak, aby tyto úhlové pohyby vykonával obrobek, který se na pětiosých frézovacích strojích otáčí jen zvolna. Vzniká tady velký prostor pro vývoj dokonale tuhých, bezvůlových a přesných otočných a sklopných stolů.

Vývoj vysokomomentových „kroužkových“ motorů švýcarské firmy ETEL, vývoj nových typů cykloidálních převodovek s vnitřními valivými elementy a vývoj hardwarových i softwarových prostředků elektronického řízení vymezení vůle servosmyček jsou příslibem pozitivního řešení této nové závažné a zajímavé problematiky.

Nesmírně důležité je dosažení vysoké tepelné stability stroje. Všechny zdroje nežádoucího tepla mohou být s dostatečnou rezervou chlazeny, aby byly eliminovány

tepelné toky rámem stroje, které by svojí závislostí na odebíraném výkonu vyvolávaly časově proměnné dilatace. Odtud vyplývá požadavek okamžitého odstraňování velkých objemů horkých třísek z obrobku, nástrojů, pracovního prostoru i celého stroje. Tento požadavek je v řadě případů určující při koncepčním řešení rámu stroje. Situace je ztížena především u technologií suchého obrábění, neboť zde nepůsobí chladicí a tepelně stabilizující vliv procesních kapalin.

Značný vliv na parametry, funkce, kvalitu a provozní využití HSC strojů má stupeň dokonalosti CNC systému řízení pohonů vřeten a posuvů, předzpracování, komunikace a verifikace dat, senzoriky a provozní diagnostiky. Např. Stroje firmy Makino jsou vybaveny zdokonalenými CNC systémy Fanuc s 64bitovými procesory typu RISC (Reduced Instruction Set Computer) a firemním SW typu GI (Geometric Intelligence).

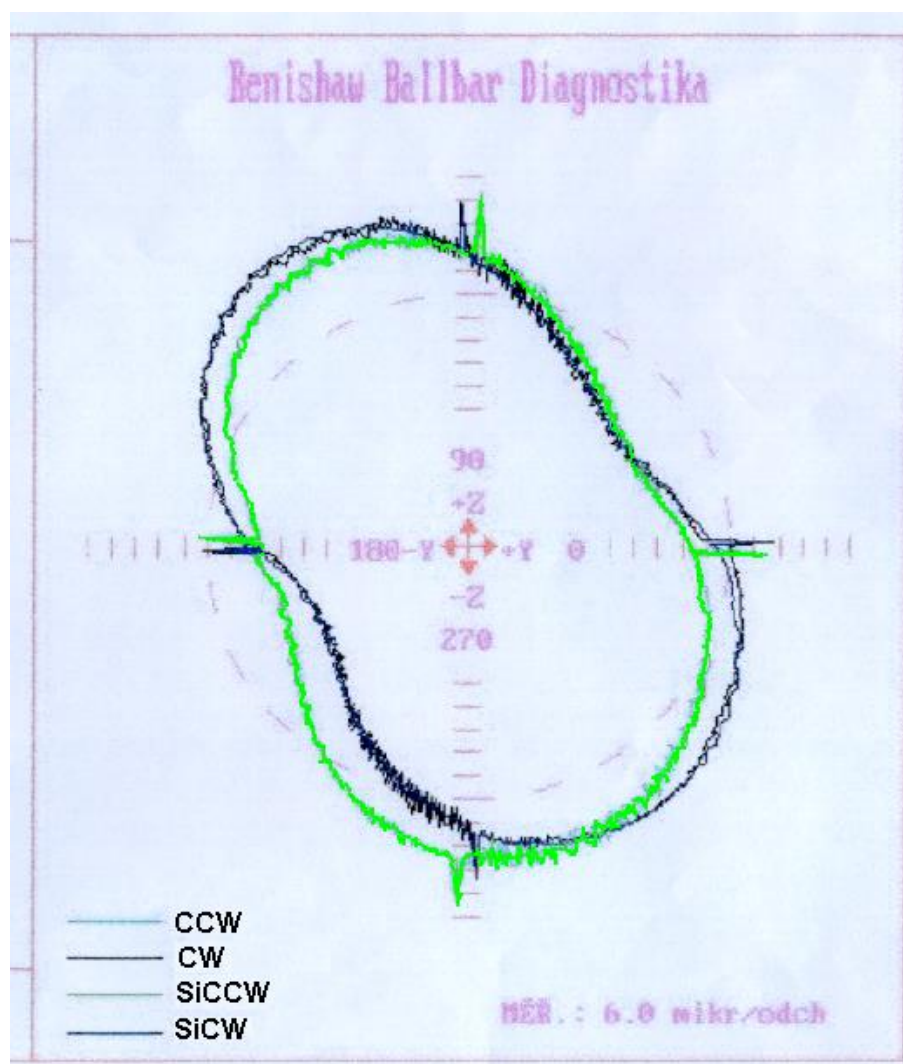
Tento SW čte a analyzuje programová data způsobem „look ahead“ několik set bloků dopředu, předvídá a kompenzuje statické i dynamické odchylky posuvových servomechanismů a řízeně zastaví stroj v případě mimořádných situací. Mikrometrové hodnoty statických i dynamických odchylek, rozměrů a tvarů obráběných povrchů až do nejvyšších rychlostí jsou výsledkem celého řetězce složitých nezávislých opatření.

Neméně závažný a často podceňovaný je vliv strategií technologického CAD/CAM programování. Správné vedení nástroje po obráběném povrchu při zachování co nejrovnoměrnějších hodnot efektivních poloměrů řezných hran a optimálního prostorového sklonu osy nástroje k obráběnému povrchu může několikanásobně zvýšit výkon obrábění, kvalitu povrchu i prodloužit podstatně životnost nástrojů. V tomto směru mají velkou perspektivu pětiosé frézovací stroje, jejichž plné nasazení však dosud vázne obtížemi ve zvládnutí jejich CAD/CAM programování.

1.9.5 Měření dynamické kruhovitosti WHN 13 CNC stroje v ose YZ

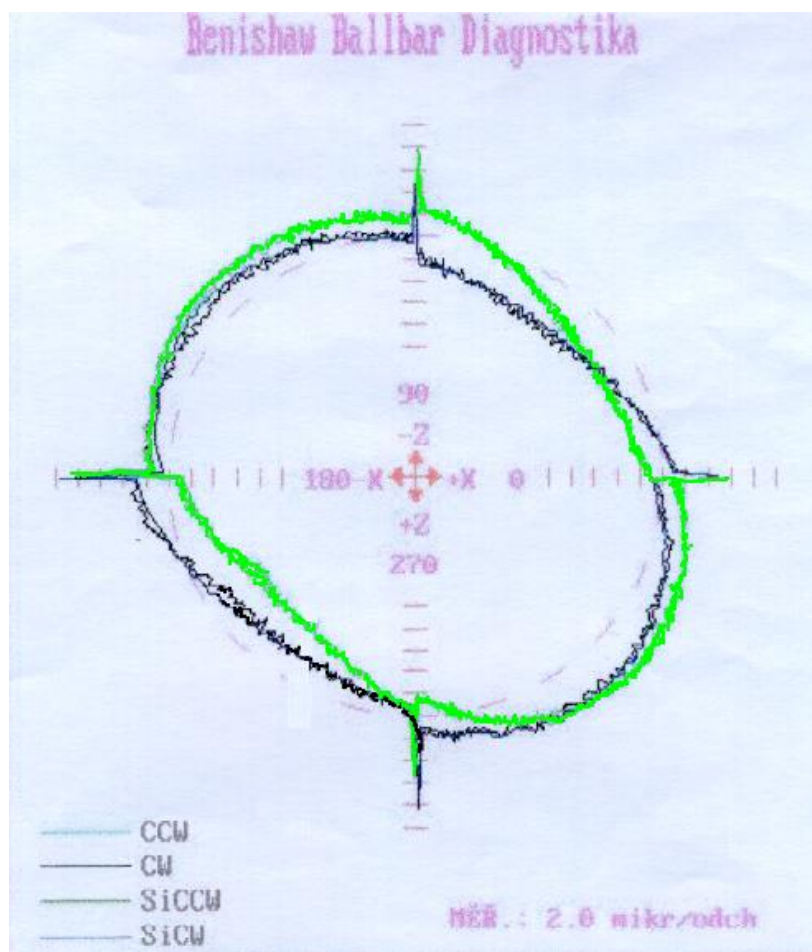
Na následujících obrázcích jsou jako příklad uvedena „Měření dynamické kruhovitosti WHN 13 CNC stroje“ ve vybraných rovinách os YZ a XZ , které jsou rozhodující pro dosahovanou přesnost konkrétního obráběcího centra.

Měření dynamické kruhovitosti WHN 13 CNC stroje v ose YZ.



Soubor: 13BX251.RTB 25 % Kolmost 98,3 $\mu\text{m}/\text{m}$ 7 % Přímost Z - 10,7 μm
Měřil: 18 % Seříz. odměř. - 41,4 μm 4 % Příčná vůle Y ► - 2,3 μm
Stroj: WHN 13 CNC B 13 % Zpoždění serva Y ► + 15,2 μm ◀ - 7,0 μm ◀ + 12,0 μm
Datum: 12 % Zpoždění serva Z ▲ + 13,5 μm
▼ - 11,2 μm Kruhovitost: 51,4 μm

Měření dynamické kruhovitosti WHN 13 CNC stroje v ose XZ



Soubor: 13BX251.RTB 21 % Kolmost 23,1 μm /m % Mrtvý chod X ► - 2,1 μm

Měřil: ◀ - 2,5 μm

Stroj: WHN13CNC 19 % Zpoždění serva X ► + 4,2 μm 5 % Mrtvý chod Z ▲ -1,6 μm

◀ + 6,2 μm ▼ - 1,3 μm

Datum: 20 % Zpoždění serva Z ▲ + 5,1 μm

▼ + 6,8 μm Kruhovitost: 15,6 μm



Nutno zapamatovat

Vysokorychlostní obrábění není o vysoké řezné rychlosti, ale o dostatečně vysoké rychlosti posuvu. Obrábíme zásadně „za sucha“, tudíž bez chlazení či mazání

Zásadní parametr zajišťující plný efekt HSC - vysokorychlostního obrábění (vysokorychlostního řezání kovů a jejich slitin) je rychlost posuvu, jehož hodnota musí dosahovat minimálně 15 m/s, nejlépe však 30 m/s. Další zvyšování posuvové rychlosti z pohledu tvorby třísky již nepřináší další efekt, ale významně zkracuje strojní čas.



Porovnání konvenčního a vysokoproduktivního obrábění (HPM):

Konvenční:

- nízká produktivita – dlouhý strojní čas,
- nelze efektivně dosáhnout vysokou kvalitu obrobeného povrchu.

HPM:

- až 10-ti násobné zvýšení produktivity výroby,
- dosažení vysoké rozměrové přesnosti,
- dosažení vysoké geometrické přesnosti,
- vysoká integrita obrobeného povrchu,
- vysoká kvalita a životnost funkčních ploch strojních součástí.



Praktické použití

Lze aplikovat na velmi široký sortiment hutnických materiálů, a to zejména na velmi tvrdé a vysoce pevné legované ušlechtilé konstrukční materiály. Zvláště výhodné pro víceosé prostorové obrábění rozměrných a tvarově matematicko obtížně definovatelných 3D ploch vstřikovacích forem, kovacích zápusťek , lopatkových kol apod.

Nástroje pro vysokorychlostní obrábění se vyznačují:

- jemnozrnnou až submikrozrnnou homogenní strukturou,
- u rotačních nástrojů je požadována velmi vysoká souosost (osová) přesnost,
- velmi vysokou osovou přesností rozložení rotačních hmot.

Požadavky na nástroje:

- vysoká tvrdost a houževnatost řezného materiálu,
- odolnost proti opotřebení za velmi vysokých teplot,
- náročné požadavky na geometrii řezné části nástroje a integritu ostří.



Výhody

vysoká produktivita a kvalita obrábění	➡	dlouhá životnost součástí,
vysoká rozměrová a tvarová přesnost	➡	funkční spolehlivost.



Nevýhody

Vysoká náročnost na organizaci práce,
Možný sociální dopad zapříčiněný podstatnou úsporou pracovních sil.

KAPITOLA 1 - LITERATURA

- [1] ŠEBELA Antonín. *Výrobní stroje, 1. díl Obráběcí stroje*. Ostrava : VŠB Ostrava 1986, I. vydání. 267 s.
- [2] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení-2.část*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-470-9. 120 s.
- [3] SOUČEK, Pavel a BUBÁK, Antonín. *Vysoce dynamické pohony posuvů obráběcích strojů*. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002 s.119. ISBN 80-238-8426-3
- [4] TLUSTÝ, J. *Method of Analysis of Machine Tool Stability, proc. M.T.D.R. conference* Manchester, 1965.
- [5] Weck, M. *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme*, band 4, VDI Verlag, 1992.
- [6] Weck, M. *Statische und dynamische Eigenschaften von WZM*. Sborník konference MUWZM, RWTH Aachen, 2002.
- [7] BACH, P, HANÁČEK, L. Přesnost obráběcích strojů. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 153-168. ISBN 80-238-9694-6.
- [8] ZELENÝ, Jaromír. Vysokorychlostní obrábění aneb obráběcí stroje a technologie na přelomu století. *MM Průmyslové spektrum – speciál*, červen 2000. 114 s. ISBN 80-85986-19-1.
- [9] ZELENÝ, J. Nové vývojové směry v obráběcích strojích a technologiích. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 10-23. ISBN 80-238-9694-6.
- [10] BRYCHTA, Josef. *Možnosti zvyšování efektivity obrábění prostorových ploch nepravidelných tvarů frézováním*. (Habilitační práce). Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 124 s.
- [11] KOČMAN, K. & NOVÁK, P. Tools in Engineering Production and Environmental Technology. In *Sborník přednášek II. Mezinárodní nástrojářské konference – ITC 2001 Zlín*. Zlín : Academia centrum univerzity Tomáše Bati, 2001, s. 33÷39. ISBN 80-7318-008-1
- [12] BUBÁK, A., Smolík, J. Nová frézovací centra pro HSC - stroje pracující s vysokými dynamickými parametry. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 10-58. ISBN 80-238-9694-6.

- [13] LIOTTO, G. WANG, Ch. *Vector Measurement of Volumetric Positioning Errors*. Proc. of the Laser Metrology and Machine Performance, Huddersfield, West Yorkshire, England, 7/1997.
- [14] SolidWorks 2001. *Výuková příručka Ancor pro strojní konstruktéry*. Ancor, 2001.
- [15] www.ancor.cz
- [16] BUBÁK, A., DOMŠA, P., KOLÁŘ, P., PŘIKLOPIL, A., SOUČEK, P. *Pohony na EMO 2001 v Hannoveru*. Sborník Obráběcí stroje na EMO Hannover 2001. Praha, listopad 2001. SpOS 2001, s. 237. ISBN 80-238-7849-2.
- [17] NOVOTNÝ, L. Kuličkové šrouby a matice. *MM průmyslové spektrum*, červen, č. 6. Praha : Vogel Publishing s.r.o, 1999. ISSN 1212-2572. s. 22-24.
- [18] ALTAN, T. & FALLBOHMER, P. Hochgeschwindigkeits- Frasen mit PKB Werkzeugen. *Werkstatt und Betrieb* 6/97. München: Carl Hanser Verlag München, 1997. ISSN 0043-2792. s. 416 ÷ 419.
- [19] BACH, P. Dynamika frézovacích center. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 87-102. ISBN 80-238-9694-6.
- [20] BILÍK, O. *Obrábění II. 1. Díl*. Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění. Ostrava : VŠB-TU Ostrava 1994. ISBN 80-7078-228-5. 132 s.
- [21] BILÍK, O. *Obrábění II. 2. díl*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1995. ISBN 80-7078-627-5. 118 s.
- [22] BRYCHTA, Josef, SIKORA, Roman. Application of Superhard Cutting Materials for Face Milling Operation. *Manufacturing technology*, June 2002, vol. 2, p. 58-60. ISSN 1213-2489.
- [23] BRYCHTA, Josef. Problematika obrábění 3D ploch. In *WORKSHOP 2002 Fakulty strojní, 18. ledna 2002*. Ostrava : VŠB-TU v Ostravě. 2002. s. 103-106. ISBN 80-248-0051-9.
- [24] BRYCHTA, Josef. Problematika vysokorychlostního obrábění 3D ploch na přelomu tisíciletí. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Řada strojní*. Ročník XLVII, část 1, 2002. Ostrava : VŠB-TU v Ostravě. Ediční středisko VŠB-TU Ostrava č. 1/2001/FS vydání I. s. 21-26. ISBN 80-248-0093-4.
- [25] BRYCHTA, Josef, SMOLKOVÁ, Hana, FOLTÝN, Petr. Zvyšování výrobnosti a snižování výrobních nákladů optimalizací řezných podmínek. In *Zborník referátov z VI. medzinárodnej konferencie „Nové smery vo výrobných technológiach ‘2002*. Prešov: FVT Prešov. 13.-14. 6. 2002. s. 169-173. ISBN 80-7099-828-8.

- [26] BRYCHTA, J. *Obrábění I- Návod pro cvičení -1 část*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-436-9. 84 s.
- [27] BRYCHTA, J. Zvyšování výrobnosti a snižování výrobních nákladů optimalizací řezných podmínek. *WORKSHOP '99 Fakulty strojní*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-637-X. s. 7-10.
- [28] ČIRČOVÁ, Eva. Geometria rezného klína a obrobiteľnosť materiálov. *Strojárstvo v hospodárstve a priemysle*. Ročník IV., 2000-1/2001, č. 12. s.42.
- [29] DOMŠA, P. Prstencové motory a jejich aplikace. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 115-122. ISBN 80-238-9694-6.
- [30] JANOUŠEK,V. Nebrzdí programátoři vaše CNC frézky. Technický měsíčník, *MM průmyslové centrum*, Vogel Publishing, číslo 6, s.r.o. Praha: Praha, 1999. ISSN 1212-2572. 6 s.
- [31] HANÁČEK, L. Paralelní kinematické struktury. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 59-72. ISBN 80-238-9694-6.
- [32] HOUŠA, J. Lineární pohony obráběcích strojů. Technický měsíčník, *MM průmyslové centrum*, č. 6, s.r.o. Praha: Vogel Publishing Praha, 1999. s. 6.
- [33] HOUŠA, Jaromír. *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, 186 s. ISBN 80-238-9694-6.
- [34] CHVOJKA, P. Diagnostika vřeten. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 133-142. ISBN 80-238-9694-6.
- [35] KOCMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., Brno, 1993. ISBN 80-214-1187-2. 213 s.
- [36] KOCMAN, K. & NOVÁK, P. Volba a korekce řezných parametrů pro CNC výrobní systémy. In: *Zborník prednášok z konferencie „ Strojárska technológia a valivé ložiská 97“*. Žilina: ŽU Žilina, 1997. s. 34÷37.
- [37] KOCMAN, Karel a PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [38] KOLÁŘ, P. Vřetenové jednotky. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 123-132. ISBN 80-238-9694-6.

- [39] KORSÁKOV, W. S. Grundlagen der Technologie des Maschinensbaus. Berlin: VEB Verlag Technik Berlin, 1969. 524 s.
- [40] KRAUS, L., ŘASA, J. Laserové technologie a integrace laserů do OS. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 73-85. ISBN 80-238-9694-6.
- [41] MÁDL, J. & SCHUBERT, V. *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění*. Praha : ČVUT Praha, 1983. 171 s.
- [42] MÁDL, J. *Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění*. Praha: ČVUT Praha, 1988. 57 s.
- [43] MÁDL, J. *Teorie obrábění*. Praha : ČVUT Praha, 1990. 189 s.
- [44] MAUSHART, J. Hochgeschwindigkeitsfräsen – Technologie, *Werkzeuge und Anwendungsgebiete*. Bellach: Fraisa SA Bellach, 1998. 235 s.
- [45] NOVOTNÝ, L. Kuličkové šrouby a matice. Nové směry v obráběcí technice. Technický měsíčník, *MM průmyslové centrum*, s.r.o. červen č. 6 Praha: Vogel Publishing Praha, 1999. ISSN 1212-2572. s. 22 ÷ 24.
- [46] NOVOTNÝ, O., SMOLÍK, J. Stav nosných soustav obráběcích strojů a využití lehkých tuhých konstrukcí. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 103-114. ISBN 80-238-9694-6.
- [47] ONDRÁČEK, M, PŘIKLOPIL, A. Komponenty obráběcích strojů. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 143-152. ISBN 80-238-9694-6.
- [48] PETEKKA, J. Vysokorychlostné obrábanie. In: *Zborník prednášok z 5. vedecké konferencie s medzinárodnou účasťou „CO-MAT-TECH '97“*, Trnava: STU Trnava, 1997. ISBN 80-227-0979-4. s. 409 ÷ 412.
- [49] PETRŮ, F. Nový reprezentant HSC obrábění. Nové směry v obráběcí technice, Technický měsíčník, *MM průmyslové centrum*, Vogel Publishing, s.r.o. červen č. 6. Praha: Praha, 1999. ISSN 1212-2572. s. 26 27.
- [50] PŘIKRYL, Z.; MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. 3. vydání, Praha: SNLT ALFA Praha, 1982. 235 s.
- [51] REUTELER, A. *Werkzeugtechnologie im Hochgeschwindigkeitsfräsen*. Bellach: Fraisa SA Bellach, 1997. 185 s.
- [52] SANDVIK Coromant. Příručka obrábění. *Produktivní obrábění kovů*. CMSE / Idérekam / Sjöströms Text & Repro. Aros: Västra Aros, 1997. 290 s.

- [53] SCHULZ, H. & CEBALO, R. High Speed Machining. *Proc. 3rd Int. Conf. on Production Engineering CIM 95*. Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb: 23-24.11. Zagreb, 1995. p. D/79-D/91.
- [54] VĚTROVEC, K. Měření jednobokého odvalu: nástroj pro analýzu převodových skříní. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 179-183. ISBN 80-238-9694-6.
- [55] ZAHŘÁDKA, J. Nové typy japonských strojů. Technický měsíčník, *MM průmyslové centrum*, Vogel Publishing, s.r.o. červenec, č. 6. Praha: Praha, 1999. ISSN 1212-2572. s. 54÷55.
- [56] ZELENÝ, J. Řezný proces na přelomu tisíciletí. Technický týdeník, 24/1999. 4 s.
- [57] ZELENÝ, J. Trendy HSC obráběcích strojů na EMO Paříž 99. Technický měsíčník, *MM průmyslové centrum*, Vogel Publishing, s.r.o. červenec, č. 6., 1999. ISSN 1212-2572. s. 56 58.
- [58] ZEMAN, P, ŠAFEK, J., MÁDL, J. Nástroje a monitorování řezného procesu. In *Směry vývoje obráběcích strojů*. Sborník semináře SpOS a VCSVTT, prosinec 2002. Vydala: Společnost pro obráběcí stroje Horská 3, Praha 2002, s. 169-177. ISBN 80-238-9694-6.

2. REZNÉ MATERIÁLY PRE VYSOKORÝCHLOSTNÉ OBRÁBANIE

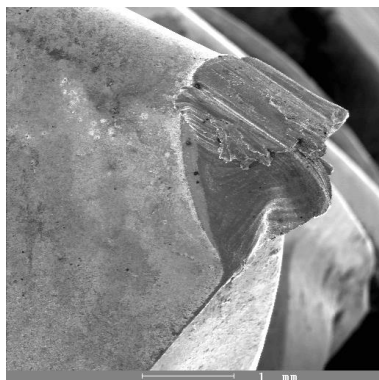
Správna voľba druhu rezného materiálu je dôležitým činiteľom pri návrhu rezných nástrojov. Ideálny materiál pracovnej časti nástroja by mal vyhovovať základným požiadavkám, ktoré sú značne rôznorodé. Predovšetkým vysokú tvrdosť, ktorú by mal zachovať i pri vysokej teplote, oteru-vzdornosť, odolnosť proti fyzikálnym a chemickým vplyvom, predovšetkým vysokú húževnatosť. Dôležité sú aj požiadavky jednoduchého a kvalitného tepelného a mechanického spracovania, rozmerová stálosť ako aj cenová a fyzická dostupnosť. V technickej praxi ide o použitie materiálov, ktoré v rôznej miere spĺňajú uvedené požiadavky a tým vykazujú aj rôznu vhodnosť použitia pri obrábaní rôznych materiálov a dodržaní konkrétnych požadovaných technologických podmienok. Základným cieľom voľby druhu materiálu je predovšetkým trvanlivosť reznej hrany nástroja.

Voľba vhodného typu rezného materiálu je ovplyvnená predovšetkým:

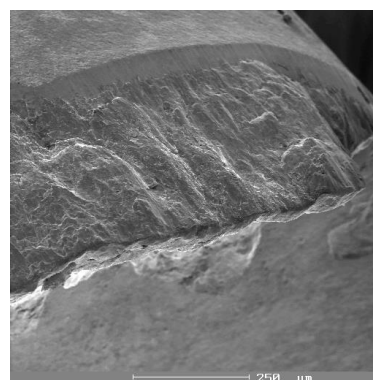
- požadovaným výkonom alebo trvanlivosťou nástroja,
- charakterom a veľkosťou namáhania nástroja,
- charakterom konštrukcie rezného nástroja (celistvý, spájkovaný a pod.),
- cenou materiálu resp. jeho dostupnosťou,
- obrábatelnosťou rezného materiálu. [5]

Optimálnosť použitia rezného materiálu je okrem iného úzko spojená s obrobkom, štruktúrou, chemickým zložením a mechanickými vlastnosťami.

Pri obrábaní dochádza k vysokému mechanickému a tepelnému namáhaniu rezného klina. Rezný klin je navyše na kontaktných plochách s materiálom obrobku vystavená rôznym účinkom. Taktiež môže dôjsť k plastickej deformácii rezného klínu (obr.2.1) a periodickému oddeľovaniu nárastku počas obrábania (obr.2.2). [2]



Obr. 2.1 Plastická deformácia rezného klina nástroja zo spekaného karbidu pri sústružení titánovej zliatiny VT 3-1, riadkovacia elektrónová mikroskopia



Obr. 2.2 Nalepovanie niklovej zliatiny na rezný klin pri sústružení, riadkovacia elektrónová mikroskopia

Pri extrémnych podmienkach obrábania dochádza ku krehkému porušeniu rezného klinu v dôsledku mechanických a teplotných rázov. Oter rezného klina, plastická deformácia, pôsobenie nárazku a krehký lom spôsobujú stratu reznej schopnosti rezného klina. Preto rezné nástroje pre vysokorychlostné obrábanie musia spĺňať vysoké požiadavky na pevnosť, tuhosť a schopnosť odvádzať zvýšené množstvo tepla. Rezný klin musí mať taktiež zvýšenú odolnosť voči oteru pri vysokých teplotách a tlakoch, húževnatosť a tvrdosť aj pri vysokých teplotách a vysokú odolnosť voči mechanickým a tepelným rázom. Tieto požiadavky sú často protichodné. V konkrétnych podmienkach obrábania musí teda rezný materiál, geometria rezného klina optimálne vyhovovať rozhodujúcim požiadavkám daných obrábaným materiálom a spôsobom obrábania.

Neustále rozširovanie automatizácie, zavádzanie a vývoj nových druhov ťažkoobrábateľných materiálov, využívanie numericky riadenej a inej modernej techniky, núti vyvíjať a využívať nové skupiny nástrojových materiálov význačných vlastností:

- nástrojové ocele,
- spekané karbidy,
- cermety
- keramické rezné materiály,
- syntetické, veľmi tvrdé polykryštalické materiály (supertvrde),
- brúsiace materiály prírodné a syntetické. [5]

Tab. 9 Základné vlastnosti rezných materiálov [2]

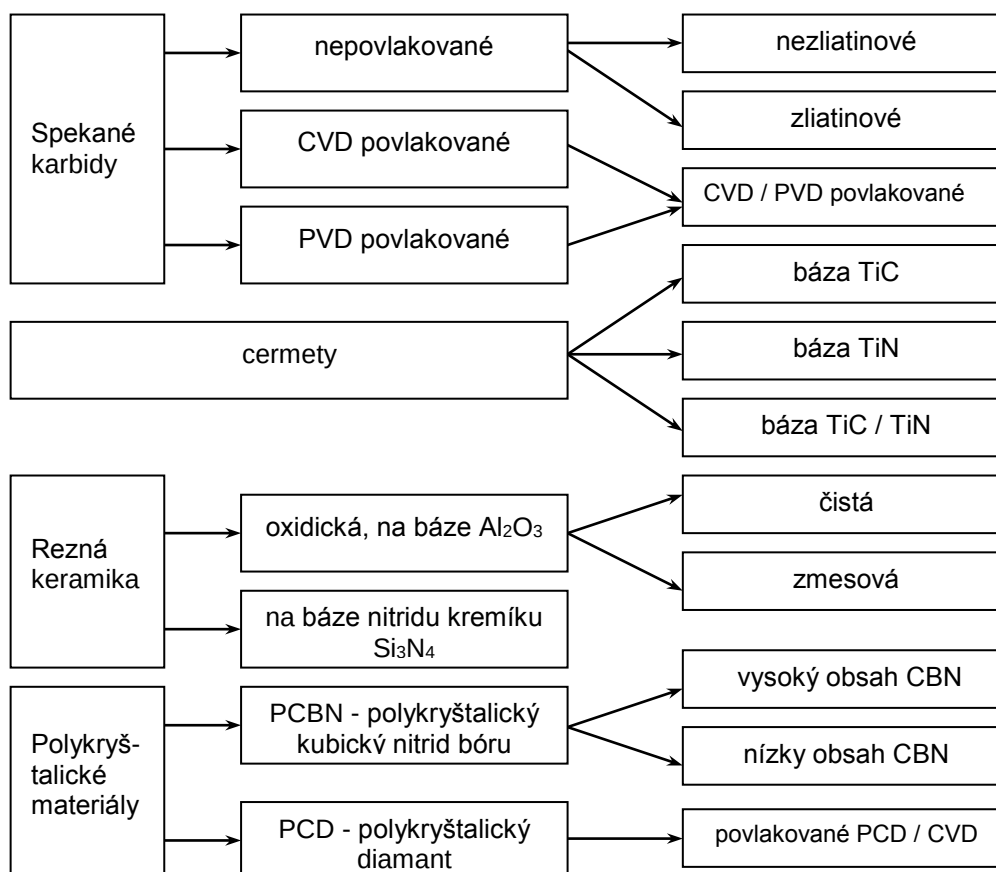
Rezný materiál	Tvrdosť HV	Pevnosť v tlaku (MPa)	Pevnosť v ohybe (MPa)	Teplotná odolnosť (°C)
Rýchlirezna ocel'	750 až 800	2500 až 3500	2000 až 3000	560 až 620
Spekaný karbid	1300 až 2000	4000 až 5600	900 až 2200	1100 až 1200
Rezná keramika	2000 až 2400	3500 až 4000	450 až 600	1600 až 1800
Zmesná keramika	2800 až 3000	4500	400 až 700	1300
KNB	4500	4000	600	1500
Diamant	7000	3000	300	720

Vývoj nových materiálov a nástrojových sústav hrá dôležitú úlohu v procese skvalitňovania trieskových technológií. Najnovšie rezné materiály prinášajú nárast použiteľných rezných rýchlostí a trvanlivosti rezných klinov nástrojov aj pre tvrdé a ťažkoobrábateľné materiály. Moderné rezné materiály používané na nástroje je možné rozdeliť do týchto základných skupín :

- spekané karbidy nepovlakované,
- spekané karbidy povlakované metódou CVD (Chemikal Vapor Deposition),
- spekané karbidy povlakované metódou PVD (Physical Vapor Deposition),
- cermety (Ceramics with Metallic Binders),

- oxidická keramika na báze kysličníka hlinitého (Al_2O_3),
- keramika na báze nitridu kremíka (Si_3N_4),
- polykryštalický kubický nitrid bóru (PCBN),
- polykryštalický diamant (PCD). [5]

Podrobnejšie a prehľadnejšie popisuje novodobé rezné materiály obr. 2.3.



Obr. 2.3 Prehľad typov novodobých rezných materiálov [5]

V súčasnosti výrobcovia nástrojov ponúkajú široký sortiment rezných materiálov na realizáciu vysokých rezných rýchlostí pri obrábaní ľahkých kovov, uhlíkových aj legovaných ocelí, liatin, kalených a ťažkoobrábateľných materiálov.

2.1 Rýchlorezné nástrojové ocele

Nástrojové ocele rozdeľuje ich podľa charakteru tento druh ocelí na:

- vysokovýkonné,
- výkonné,
- pre bežné výkony. [5]

Z nástrojových ocelí sú pre vysokorýchlostné obrábanie vhodné rýchlorezné

nástrojové materiály. Predovšetkým vysokovýkonné rýchlorezné ocele s vyšším obsahom kobaltu a molybdénu pri znížení obsahu volfrámu, tab. 1.2. Taktiež sú vhodné supertvrde rýchlorezné ocele, ktoré majú zvýšený obsah uhlíka až 1,4 % a rôzne vysoký obsah vanádu. Dosahujú tvrdosť až 70 HRC, majú zvýšenú odolnosť voči opotrebeniu, vysokú tvrdosť aj pri zvýšených teplotách. Sú náročnejšie na tepelné spracovanie, zle sa brúsia a sú vhodné na obrábanie ocelí zušľachtených na vysokú pevnosť, žiarupevných kobaltových zliatin a titánových zliatin. [2]

Tab. 10 Prehľad typov rýchlorezných nástrojových ocelí [5]

Skupina	Oceľ STN,PN	Informatívne chemické zloženie (%)						Poznámka
		C	Cr	W	Mo	V	Co	
18% W	19 824	0,75	4,2	18,0		1,30		Ocele pre bežné výkony a výkonné bez kobaltové
9 až 12% W	19 800	0,80	4,2	9,0		1,65		
	19 802	0,85	4,2	10,3		2,35		
	19 811	0,85	4,2	12,0		2,55		
W + Mo	19 820	1,00	4,2	3,0	2,7	2,30		
	19 827	0,85	4,2	6,0	3,3	2,10		
	19 829	1,05	4,2	6,3	5,0	1,90		
	19 830	0,85	4,2	6,2	5,0	1,85		
	19 833	0,90	4,2	5,8	3,0	2,30		
Mo + W	19 835	0,95	4,2	2,5	7,0	2,00		
W + V	19 810	1,30	4,4	11,0		4,00		
18% W	19 855	0,70	4,2	18,0		1,50	4,8	Ocele vysokovýkonné kobaltové
	19 859	0,65	4,2	18,0		1,75	9,5	
	19 860	0,75	4,2	18,0	0,7	1,60	9,5	
10% W	19 856	0,95	4,2	10,2		2,35	5,0	
	19 857	0,95	4,2	10,2		2,35	9,8	
W + Mo	19 850	0,95	4,2	5,8	5,0	2,00	8,0	
	19 852	0,85	4,2	6,2	4,8	1,85	5,0	
W + V	19 858	1,35	4,4	12,0		4,25	5,0	
W+Mo+V	19 861	1,25	4,2	10,2	3,8	3,30	10,5	
veľmi tvrdá	19 851	1,10	4,2	7,0	3,8	1,90	5,0	

Vývoj nových druhov ocelí vo svete charakterizovaný týmito základnými cestami:

- vzhľadom k nedostatku volfrámu, obmedzovať výrobu a využitie rýchlorezných nástrojových ocelí s vysokým jeho obsahom (18%) t. j. obmedziť výrobu niektorých vysokovýkonných rýchlorezných nástrojových ocelí (19 855, 19 859, 19 860), ako i ocele 19 824, resp. obsahom uhlíka im podobné,
- vývoj rýchlorezných nástrojových ocelí na báze molybdénu so zvýšeným obsahom uhlíka a rozširovanie komplexne legovaných ocelí na báze Mo – W – V – Co,
- vývoj vysokotvrdých rýchlorezných nástrojových ocelí , ktoré dosahujú po

tepelnom spracovaní vysokých tvrdostí (70 HRC). Tieto ocele predstavujú vo vývoji RO novú etapu. Sú typické zvýšeným obsahom uhlíka s prísadou kobaltu. Sú dobre obrábateľné. Americké typy pod označením M 40až 46 sú známe i u nás. Oblasť kaliacich teplôt týchto ocelí je posunutá k nižším hodnotám. Sú náročné na popúšťanie (4-násobné),

- vývoj nových technológií výroby rýchlorezných nástrojových ocelí, kde za novú technológiu možno považovať výrobu rýchlorezných nástrojových ocelí metódou práškovej metalurgie s využitím izostatického lisovania práškov, resp. výrobu rýchlorezných nástrojových ocelí vákuovo či elektricky pretavovaných. Prášková metalurgia zaisťuje výbornú homogenitu štruktúry. Rozvoj tejto technológie umožnila výroba práškov granuláciou roztavenej ocele. Boli patentované procesy, ktoré poskytujú granule rôznej veľkosti, morfológie a štruktúry. [5]

Použitie rýchlorezných ocelí nie je možné pri obrábaní ocelí, ktorých pevnosť je vyššia ako 1800 MPa, vytvrditeľných zliatin a ocelí vo vytvrdenom stave a pri obrábaní vysokolegovaných liatin, (tab. 11)

Tab. 11 Prehľad a odporúčané použitie pre obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov [2]

Druh	Označenie	Odporúčané použitie
výkonná	19 802	- pre sústružnícke nástroje, tam kde nie je z hľadiska výkonu, upnutia, alebo tvaru obrobku možné použiť spekané karbidy - upichovacie a tvarové nože, vnútorné nože a pod. - pre ocele strednej pevnosti do 900 MPa
	19 810	- pre sústružnícke nástroje, tam kde nie je z hľadiska výkonu, upnutia, alebo tvaru obrobku možné použiť spekané karbidy, - pre ocele strednej pevnosti do 900 MPa, sivú a tvrdnú liatinu
bežná	19 820	- pre menej namáhané nástroje pre bežné výkony, - pre materiály nižšej a strednej pevnosti do 850 MPa
	19 824	- pre tvarové nože a vrtáky malých priemerov - pre materiály nižšej a strednej pevnosti do 850 MPa
výkonná	19 827	- pre značne namáhané nástroje a aj pre prerušovaný rez, - pre materiály nižšej a strednej pevnosti do 900 MPa
	19 829	- pre záhlbníky, závitníky a vrtáky, - pre obrábanie materiálov vyššej pevnosti a niektoré ťažkoobrábateľné materiály
	19 830	- pre značne namáhaných nástrojoch s požiadavkou vysokej húževnatosti, - pre prerušovaný rez a materiály do pevnosti 900 MPa
vysokovýkonná	19 851	- pre najnáročnejšie nástroje pre obrábanie materiálov najvyššej pevnosti - pre zliatiny na báze niklu a materiály so silným abrazívnym účinkom
	19 852	- pre obrábanie ocelí a ocelí na odliatky vysokej pevnosti, - pre obrábanie tvrdenej sivej liatiny pri vysokých rýchlostiach a prerušovaný rez
	19 855	- pre vysokovýkonné obrábanie a obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov - pre obrábanie ocelí vysokej pevnosti, austenitických ocelí, vysokolegovaných ocelí a liatin
	19 857	- pre veľmi namáhané nástroje špeciálneho použitia, - pre obrábanie vysokolegovaných zliatin a zliatin titánu
	19 858	- pre najviac namáhané nástroje s vysokými požiadavkami na odolnosť voči opotrebeniu, - pre obrábanie liatin vysokej tvrdosti a ostatných tvrdých a húževnatých materiálov

	19 861	- pre obrábanie s veľkým prierezom triesky, pre obrábanie tvrdých a húževnatých ťažkoobrábateľných materiálov pri vysokých rezných rýchlostiach
--	---------------	---

2.2 Spekané karbidy

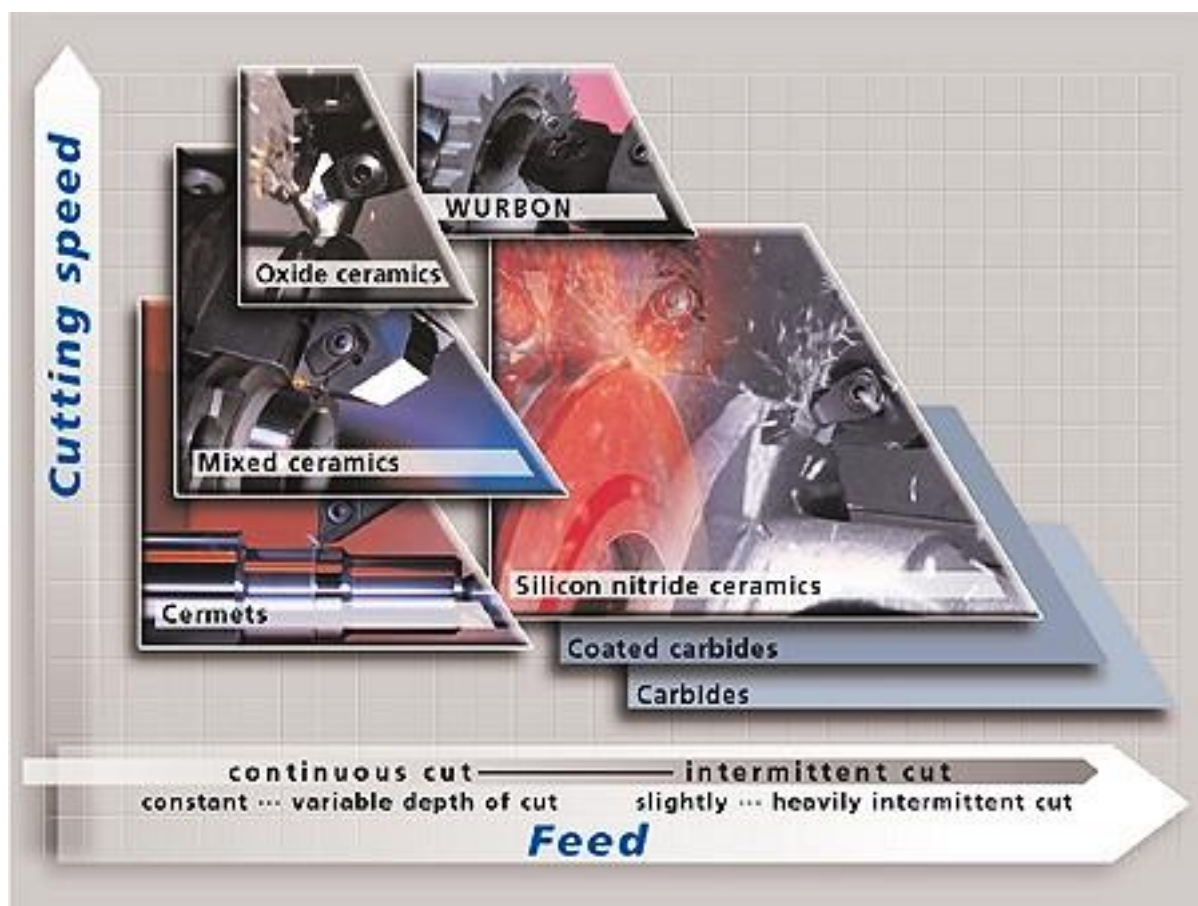
Spekané karbidy sú heterogénne zliatiny vyrábané cestou práškovej metalurgie. Hlavnými zložkami sú karbidy vysokotavitelných kovov napr. W, Ti, Ta, Nb a pod. a kovy skupiny železa, najčastejšie čistý kobalt.

Dôležitou vlastnosťou SK je, že si zachovávajú tvrdosť i pri vysokých teplotách. Ich technológia výroby pozostáva v hrubých rysoch z mletia prášku, lisovania a spekania. Spekanie prebieha na dvakrát. Predspekanie sa robí pri teplote 800°C. Po tomto spekaní je ešte možné materiál obrábať. Nasledujúcim spekaním pri teplotách 1400°C až 1580 °C sa dosiahne vysoká tvrdosť. [5]

ISO delí SK pre obrábanie do troch skupín:

- skupina P, pre obrábanie materiálov, ktoré dávajú dlhú triesku (na báze WC + TiC + Co),
- skupina K, pre obrábanie materiálov, ktoré dávajú krátku triesku (na báze WC + Co),
- skupina M, pre materiály, ktoré dávajú krátku i dlhú triesku (WC + TiC + TaC / Nb + Co).

Spekané karbidy sú najrozšírenejším nástrojovým materiálom nielen pre vysoko-rýchlostné obrábanie, ale pre obrábanie vôbec. Majú vysokú tvrdosť až 91 HRA a vysokú odolnosť voči oteru aj pri teplotách okolo 1000 °C. Množstvo kobaltu v spekaných karbidoch určuje jeho húževnatosť, naopak so zvyšovaním karbidickej zložky stúpa ich tvrdosť a odolnosť voči vysokým teplotám. Delia sa podľa DIN ISO 513 na šesť skupín:



Obr. 2.4 Aplikácia rezných materiálov vzhľadom na zmenu reznej rýchlosti, posuvu a kontinuality rezu.

P Sú doporučené pre obrábanie materiálov dávajúcich dlhú triesku. Sú určené na obrábanie ocelí a oceľoliatin, pri ktorých prevažuje difúzny a chemický oter, teda v oblasti vysokých teplôt rezania. Táto skupina obsahuje karbid volfrámu (WC), karbid titanu (TiC) a niektoré druhy obsahujú aj karbid tantalu (TaC). Označujú sa modrou farbou.

M Sú doporučené pre obrábanie materiálov dávajúcich dlhú i krátku triesku. Sú vhodné pre materiály pri obrábaní ktorých vzniká adhézny oter, taktiež sú odolné voči abrazívnemu opotrebeniu, teda pre obrábanie ocelí i pri menších rezných rýchlostiach, hlavne však pre väčšinu ťažkoobrábateľných materiálov (ocelí zušľachtených na vysokú pevnosť, austenitických ocelí, žiaruvzdorných a žiarupevných ocelí, a pod.). Táto skupina obsahuje karbid volfrámu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC), a karbid chrómu (CrC). Označujú sa žltou farbou.

K Sú doporučené pre obrábanie materiálov dávajúcich krátku triesku. Sú určené pre prípady obrábania, kde prevažuje abrazívny oter, napr. pre obrábanie liatin a ocelí zušľachtených na vysokú pevnosť. Základnou zložkou tejto skupiny je karbid volfrámu (WC). označujú sa červenou farbou.

N Sú doporučené pre obrábanie hliníka a jeho zliatin, neželezných kovov, čiže materiálov zo zníženou tvrdosťou, pevnosťou a dávajúcich plynulú alebo krátku triesku. sú určené pre prípady obrábania, kde prevažuje adhézne a difúzne opotrebenie, napr. pre obrábanie vytvrdzovaných materiálov, ale aj pre obrábanie hliníka a jeho zliatin a taktiež medi a jej zliatin. základnou zložkou tejto skupiny je karbid volfrámu (WC). označujú sa zelenou farbou.

S Sú doporučené pre obrábanie žiaruvzdorných a žiarupevných odolných super – zliatin, napr. titan, nikel, kobalt, atď. Jedná sa o materiály s vysokou húževnatosťou, pevnosťou, tvrdosťou, zlou tepelnou vodivosťou dávajúcich plynulú článkovitú alebo krátku triesku. Sú určené pre prípady obrábania, kde prevažuje vysoké abrazívne a adhézne opotrebenie, napr. pre obrábanie titanových zliatin, ale aj pre obrábanie niklu a kobaltu a ich zliatin. Označujú sa hnedou farbou.

H Sú doporučené pre obrábanie tvrdých materiálov nad 40 HRC, Jedná sa o materiály s vysokou tvrdosťou a pevnosťou, dávajúcich krátku triesku vo väčšine prípadov pretavenú. Sú určené pre prípady obrábania, kde prevažuje vysoké abrazívne opotrebenie a tepelné zaťaženie Označujú sa sivou farbou. [2]

2.2.1 Vlastnosti spekaných karbidov

Základné vlastnosti SK sú:

- vysoká odolnosť proti opotrebeniu pri vysokých teplotách (700 – 1000°C),
- vysoká tvrdosť, malá pevnosť v ohybe (sú krehké),
- dobré mechanické a fyzikálne vlastnosti (pevnosť v tlaku, odolnosť proti korózii, vysoká merná hmotnosť, malý súčiniteľ tepelnej rozťažnosti),
- zlá tepelná a elektrická vodivosť.

Vysoká tvrdosť je veľmi cennou vlastnosťou spekaných karbidov. Dosahuje sa v dôsledku vysokého obsahu karbidov kovov ako tuhých roztokov. Tvrdosť spekaných karbidov závisí od chemického zloženia, od zrnitosti a mikroštruktúry. Je tým väčšia, čím je vyšší obsah karbidov, stupeň disperznosti kryštálov a čím je vyššie percento tuhého karbidového tuhého roztoku. Spekané karbidy prevyšujú tvrdosť rýchlorezných ocelí o 10 HRC. Preto spekanými karbidmi môžeme obrábať veľmi tvrdé ocele a materiály. Zvýšením teploty tvrdosť spekaných karbidov klesá. Rastúci obsah spojiva zapríčiňuje pokles tvrdosti pri danej teplote. [2]

Pevnosť v ohybe SK je vlastnosť, ktorá dáva obraz o jeho húževnatosti. Pevnosť v ohybe so stúpajúcim obsahom kobaltu až do obsahu 25% Co, kedy sa dosiahne maxima. Na pevnosť v ohybe SK výrazne tiež vplyva obsah uhlíka. Prebytok i nedostatok uhlíka

spôsobuje znižovanie pevnosti v ohybe. Ohybovú pevnosť značne ovplyvňuje aj veľkosť karbidických zŕn a šírka spojovacej fáze medzi kryštálmi.

Pevnosť v tlaku SK typu WC – Co rastie najprv do 6% Co a ďalej so stúpajúcim obsahom kobaltu klesá. Pri zaťažení prakticky nenastáva žiadna plastická deformácia, ale nastáva okamžité lom.

Rázová pevnosť SK je rovnako ovplyvnená množstvom spojovacej fáze. Pevnosť stúpa so stúpajúcim obsahom Co.

Pevnosť v ťahu, stanovenie je obtiažne vzhľadom k veľkej krehkosti SK. U SK WC – Co s 10% Co je nemožné zistiť behom zaťaženia žiadnu trvalú deformáciu. Pretrhnutie nastane bez plastickej deformácie.

Modul pružnosti klesá zo stúpajúcou teplotou. SK má 3-krát väčší modul pružnosti ako oceľ. Jemnozrnné SK majú vyššie hodnoty modulu pružnosti.

Štruktúra zliatin typu WC – Co je tvorená zrnami karbidu WC a spojovacej fáze. Má byť rovnomerná bez nečistôt. SK s jemnou štruktúrou sú odolnejšie proti oteru, zatiaľ čo SK s hrubšou štruktúrou sú húževnatejšie.

Podskupiny SK s nízkymi číslami sú u všetkých troch hlavných skupín druhý s veľkou odolnosťou proti oteru a malou húževnatosťou (napr. O10) a v podskupinách s vysokým číslom je tomu opačne (napr. P50).

Tepelná vodivosť a teplotná rozťažnosť patria k najdôležitejším fyzikálnym vlastnostiam SK. SK majú spravidla lepšiu tepelnú vodivosť ako rýchlorezné ocele, čo je z hľadiska procesu rezania priaznivé. So zlepšením tepelnej vodivosti sa zvyšuje odvod tepla od triesky a rezného klina SK majú menšiu náklonnosť k zliepaniu s obrábaným materiálom (trieskou) počas rezania. Je to jednou z kladných vlastností SK. Odolnosť SK proti opotrebovaniu závisí od teploty, pri ktorej sa SK zliepajú s obrábaným kovom. Popritom so zvyšovaním zliepavosti rezného materiálu sa zvyšuje náklonnosť k tvoreniu nárastku a zhoršuje sa drsnosť povrchu. Titánvolfrámové SK sú menej náchylné na zliepanie ako volfrámové. Tým možno vysvetliť aj ich vyššiu trvanlivosť pri obrábaní ocele. Podľa mernej hustoty SK možno usudzovať o kvalite spečenia a o ich hustote či pórovitosti. Vysoká pórovitosť je nežiadúca, lebo zhoršuje mechanicko-fyzikálne a rezné vlastnosti. [1]

2.2.2 Povlaky spekaných karbidov

Jednou z ciest, ako úspešne zvyšovať trvanlivosť nástroja a teda aj produktivitu výroby je úprava povrchu reznej časti nástroja. Medzi radou tradičných povrchových úprav (napr. povrchové kalenie, chemicko - tepelné spracovanie atď.) sa v poslednom čase stále viac presadzujú tzv. depozičné plazmové technológie a to CVD a PVD povlaky (CVD - Chemical Vapour Deposition; PVD - Physical Vapour Deposition). Tieto povlaky nielen že

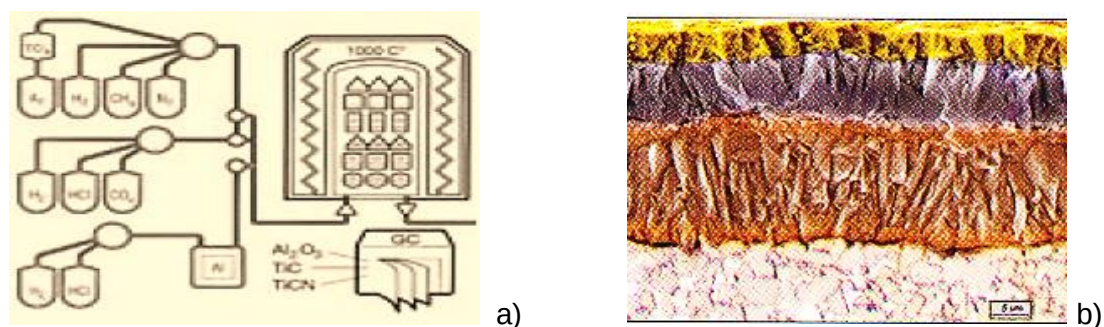
výrazne zvyšujú trvanlivosť nástroja, ale majú tiež vysokú tepelnú odolnosť a umožňujú obrábať bez použitia reznej resp. chladiacej kvapaliny.

Rezné platničky môžu byť opatrené jednoduchými, dvojnásobnými ba dokonca i viacnásobnými vrstvami týchto povlakov, ktoré môžu zlučovať rozdielne vlastnosti každého typu vrstvy povlaku. Hrúbka vrstiev sa u rezných doštičiek pohybuje medzi $2 \div 15 \mu\text{m}$.

CVD povlaky.

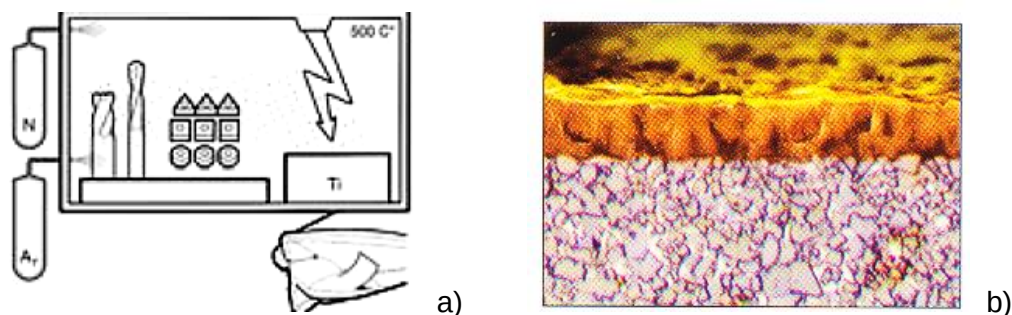
Povlakovanie technológiou CVD sa v podstate prevádza formou chemickej reakcie rôznych plynov. Napr. v prípade povlaku karbidu titanu to sú: vodík, chlorid titanu a metán. Doštičky sa zahrievajú na teplotu cca 1000°C , pričom pred zahájením samotného povlakovania musí byť obzvlášť presne nastavený obsah uhlíka obr.2.5a.

Podobne sa prevádza povlakovanie oxidom hlinitým a nitridom titanu, pri ktorých je používaný chlorid hlinitý alebo plyný dusík. Štruktúra CVD povlaku, obr.2.5b.



Obr. 2.5 a) schéma procesu povlakovania metódou CVD, b) štruktúra CVD povlaku

PVD povlaky sú to povlaky na báze (Ti,Al,Si)A metódou spočívajúcou v odparovaní materiálu pomocou nízkonapätového oblúka obr. 1.6a. Tento typ povlaku sa vyznačuje popri vysokej tvrdosti tiež vysokou tepelnou odolnosťou (až do 1050°C). Vďaka svojmu vzniku pri, teplotách nižších ako CVD povlaky, minimálne ovplyvňujú vlastnosti podkladového substrátu. Vrstva PVD povlaku býva $3 \div 5 \mu\text{m}$ hrubá, je tenšia ako zrovnateľná vrstva CVD povlaku. Štruktúra povlaku, obr. 2.6b.



Obr. 2.6 a) Schéma procesu povlakovania metódou PVD, b) štruktúra PVD povlaku

Za hlavné prínosy a teda dôvody pre použitie povlakovaných rezných nástrojov je možné považovať:

- zvýšenie tvrdosti a oteruvzdornosti povrchu nástroja,
- zníženie trenia v mieste kontaktu nástroja a triesky,
- zníženie citlivosti na výrubovú húževnatosť (vyvolanú predovšetkým prerušovaným rezom),
- zvýšenie odolnosti rezných platničiek voči tepelným šokom,
- zníženie nežiadúcej povrchovej reaktivity rezného materiálu s obrobkom a okolitým prostredím za zvýšených teplôt (zníženie nežiadúcej tvorby nárastku),
- charakter zvyškového napätia, ktoré je tlakové a má za následok potlačovanie vzniku a následného rastu trhlín povrchu nástroja. [2]

Tento jav je možné dokumentovať aj na vlastnostiach týchto materiálov v procese tzv. mokrého obrábania. Pri použití reznej kvapaliny v kombinácii s prerušovaným rezom (ktorý je charakteristický pre frézovacie operácie) je rezná platnička ďaleko viac zaťažovaná tepelnými rázmi, čo má za následok vznik a následné šírenie tzv. hrebeňových trhlín.

Ďalší vývoj a výroba povlakovaných rezných platničiek s oteruvzdornými vrstvami tak môže i v ďalšom veľmi krátkom období priniesť veľmi zaujímavé a progresívne výsledky. Rozdiely medzi jednotlivými vlastnosťami PVD a CVD povlakov sú na obr.2.7.



PVD	-	+	+	-	+	+
CVD	+	0	0	+	0	-

Obr. 2.7 Porovnanie vlastností PVD a CVD povlakov

Prehľad a odporúčané použitie spekaných karbidov pre obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov je uvedený v tabuľke 12 a 15.

Tab. 12 Prehľad a odporúčané použitie SK pre obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov [2]

Ocele vysokej pevnosti a tvrdosti				chrómové ocele kaliteľné feritické a poloferitické
do 1200 MPa do 380 HV	do 1400 MPa do 440 HV	do 1800 MPa do 550 HV	nad 1800 MPa nad 550 HV	
spekané karbidy pre sústružnícke nože				
P 10-20 M 10 K 05-10	M 10 K 05-10	K 01-10 H 15 M 10	K 01-10 H 10-15 M 10	H 05-10 K 05-10 P 10-30
spekané karbidy pre vrtáky, výhružníky a pod.				
P 20 M 10 K 10	M 10 K 10	K 10		M 10 K 10 P 20

Tab. 13 Prehľad a odporúčané použitie SK pre obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov [2]

Austenitické a feriticko-austenitické ocele			zliatiny Ni, Co a Ni-Cr	Ti a zliatiny	liatiny vysokej tvrdosti	Vysokolegované liatiny
C 1,2, Mn 12 - 14	Cr 18, Ni 9, Ti a Mo	Cr 25, Ti, Mo, Ni 12-17, W				
spekané karbidy pre sústružnícke nože						
M 10-30 K 10	M 10-30 K 10 P 40	M 10-30 S 10-30 K 05-10	S 01-30 M 20-30 K 10	S 01-30 M 10-20 K 10	K 01-10	
spekané karbidy pre vrtáky, výhružníky a pod.						
M 10 K 10	M 10 K 10	K 10	M 10 K 10	K 10	K 10	K 10 M 10

Coronite je úplne novým rezným materiálom, v ktorom sa zlučuje húževnatosť rýchloreznej ocele s odolnosťou proti opotrebeniu, ktorá je vlastná spekaným karbidom. Tieto vlastnosti umožňujú frézam coronite pracovať v porovnaní s inými nástrojmi mnohonásobne rýchlejšie. Navyše majú tieto rezné nástroje vyššiu trvanlivosť reznej hrany, vyššiu spoľahlivosť a dosahujú vysokú akosť obrobeného povrchu. Coronite je rezný materiál, ktorý bol vyvinutý hlavne pre obrábanie ocelí, je však použiteľný pre obrábanie zliatin titánu, rôznych ľahkých neželezných kovov a tiež liatin. Materiál nielen že vyplní existujúcu medzeru v oblasti rezných materiálov medzi spekaným karbidom a rýchloreznou oceľou, ale svojimi schopnosťami značne prevyšuje produktivitu obrábania typickú pre nástroje s rýchloreznou oceľou. Vlastnosti nového rezného materiálu sú dané veľkosťou rezného zrna, výrobnou technológiou a pracovnými postupmi pri výrobe extrémne malých zŕn nitridu titánu. Pomocou špeciálnej technológie sú zrná rovnomerne rozptyľované do tepelne spracovanej základnej fázy ocele. Obsah zŕn je približne 50% z celkového objemu, a preto je pomer tvrdých častíc vyšší ako u rýchlorezných ocelí a nižší ako určuje spodný limit pre obsah tvrdých častíc pri

spekaných karbidov.

2.3 Cermety

Cermet je spoločný názov pre všetky tvrdé kovo-keramické materiály, pri ktorých sú tvrdé zložky tvorené karbidom titánu TiC, karbidonitridom titánu TiCN, nitridom titánu TiN alebo karbidom volfrámu WC. Cermety sú látky, ktoré sa skladajú z keramickej látky (CERAMICS) a z kovu (METAL). Patria na rozhranie medzi SK a RK. V praxi cermety radíme medzi spekané karbidy, zhotovené na báze titánu. Rezný materiál sa vyznačuje vysokou tepelnou odolnosťou a vyššou húževnatosťou ako spekané karbidy na báze volfrámu. Stal sa tak vhodným materiálom pre vysoko náročné operácie. V súčasnej dobe sa úspešne používa pre frézovanie a sústruženie koróziivzdorných ocelí a liatin, ako aj pre jemné dokončovacie sústruženie uhlíkových legovaných a kalených a po-púšťaných ocelí do 1000 MPa neprerušovaným rezom. Ďalšie použitie v mnohých odboroch ako hmoty žiaruvzdorné, trecie materiály s možnosťou vysokého zaťaženia aj ako magnetické materiály pre slaboprúdovú techniku. [2]



Obr. 2.8 Vzhľad a tvar vymeniteľných rezných platničiek vyrobených z cermetu



Obr. 2.9 Cermet Mitsubishi NX3035 pre sústruženie so špeciálnym spojivom

Podľa zloženia je možné ich deliť na 2 skupiny:

- cermety s kovovým základom,
- cermety s nekovovým základom.

K ich prednostiam patrí

- vysoká odolnosť voči opotrebeniu chrbtovej plochy a vytváraniu žliabku na čelnej ploche,
- vysoká chemická stabilita a tvrdosť aj pri vysokých teplotách,
- malý sklon k tvorbe nárastkov,
- malý sklon k difúznemu opotrebeniu.

V porovnaní so spekanými karbidmi na báze volfrámu majú:

- - vysokú stabilitu hrotu pri malých a konštantných zaťaženiach,
- - lepšiu a dlhotrvajúcu schopnosť vytvárania kvalitných povrchov,
- - väčšiu odolnosť voči vrubovému opotrebeniu na chrbtovej ploche,
- - sú vhodné pre obrábanie materiálov náchylných na vznik nárastku. [2]

Tieto vlastnosti sa vzťahujú na dokončovacie operácie a v niektorých prípadoch tiež operácie polohrubovacieho obrábania.

2.4 Keramické rezné materiály

Keramika v súčasnosti znamená spoločný názov pre veľký počet rôznych rezných materiálov. Keramické rezné materiály sú tvrdé, majú vysokú tvrdosť za tepla a nereagujú chemicky s materiálom obrobku. Zaručujú dlhú trvanlivosť hrotu a môžu byť použité pri vysokých rezných rýchlostiach. Pri správnom používaní je možné dosiahnuť vysokú trvanlivosť nástroja pri vysokej reznej rýchlosti.

V oblasti reznej keramiky (RK) možno v súčasnej dobe vyčleniť 3 základné skupiny:

- a) *oxidová keramika* - na báze Al_2O_3 a to prakticky čistá 99% Al_2O_3 a RK z Al_2O_3 s prísadou až 15% z O_2 ,
- b) *zmiešaná keramika* – na báze Al_2O_3 a TiC, ďalej na báze Al_2O_3 a TiC prípadne karbonitridu titanu TiCN,
- c) *neoxidická keramika* – na báze nitridu kremíka Si_3N_4 . [5]

Oxidická keramika na báze čistého oxidu hlinitého má relatívne nízku pevnosť a húževnatosť a tiež nízku tepelnú vodivosť. Tieto vlastnosti sú príčinou vylamovania reznej hrany pri nevhodných podmienkach obrábania. Pridaním malého množstva oxidu zirkoničitého (ZrO_3) je možné uvedené vlastnosti podstatne zlepšiť. Výhody keramiky obsahujúcej ZrO_3 je v zlepšenej húževnatosti. Tvrdosť, hustota a rovnomerná veľkosť zrna určujú spoločne s množstvom pridávaného zirkónu rozsah použitia. Farba čistej keramiky lisovanej za studena je biela, pri keramike lisovanej za tepla je sivá. [2]

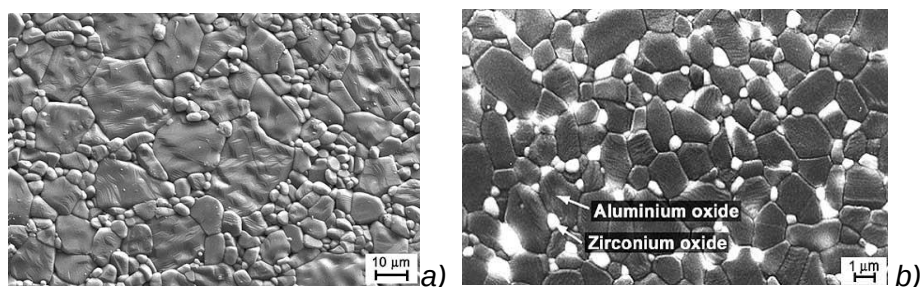
Podstatná časť oxidickej keramiky môže byť použitá pri obrábaní liatiny prípadne konštrukčných uhlíkových ocelí.



Obr. 2.10 Vzhľad a tvar vymeniteľných rezných platničiek vyrobených z oxidickej keramiky



Obr. 2.11 Príklad vzhľadu a tvaru vymeniteľných rezných platničiek triedy GC1115



Obr. 2.12 Mikroštruktúra oxidickej keramiky
a) Al_2O_3 v 99,7 % čistote b) Al_2O_3 a ZrO_3 , leptané.

Zmesná keramika na báze oxidu hlinitého získava pridaním kovovej fázy vyššiu odolnosť voči tepelným šokom. Tento typ rezného materiálu je pre svoju zlepšenú vodivosť podstatne menej náchylný k lomu, ale tiež toto zlepšenie je relatívne a húževnatosť tohto materiálu nie je možné porovnať so spekanými karbidmi. Kovová fáza pozostáva z karbidu titaničitého a nitridu titánu v množstve od 20 - 40%. Pri výrobe lisovaní za tepla vznikajú vymeniteľné rezné platničky čiernej farby, ktorých oblasť použitia zahŕňa všetky operácie a materiály, ktoré je možné obrábať keramikou. [2]

V oblasti zmiešanej keramiky sa najväčší význam prikladá RK s prísadou TiC. Oblasť použitia pri sústružení kalených ocelí a tvrdej liatiny. S úspechom sa tento druh RK nasadzuje pri dokončovacom obrábaní.



Obr. 2.13 Vzhľad a tvar vymeniteľných rezných platničiek vyrobených zo zmesnej keramiky



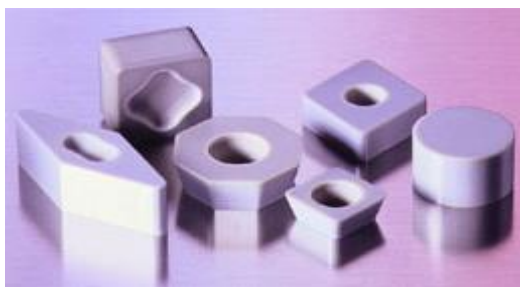
Obr. 2.14 Mikroštruktúra zmesnej keramiky, zv. 200x, leptané na farebnú mikroskopiu.

Vystužená keramika na báze oxidu hlinitého predstavuje keramiku vystuženú viskéro - názov je odvodený od vlákien kryštálu, ktorému sa hovorí viskér. Tieto kryštalické vlákna majú priemer len 1 μm a dĺžku viac ako 20 μm . Ide o karbidu kremíka vysokej pevnosti. Účinkom tohto vystuženia sa podstatne zvýši húževnatosť, pevnosť ťahu, odolnosť proti tepelnému šoku a súčasne tiež tvrdosť pri vysokej teplote ako aj odolnosť voči opotrebeniu. Podiel viskéro v reznom materiáli je približne 30%. Lisovaním za tepla sa dosiahne v reznej platničke rovnomerné rozloženie viskéro. Vyvážená tvrdosť, húževnatosť a odolnosť voči tepelným rázom umožňujú použiť tento druh keramiky pri obrábaní žiaruvzdorných zliatin, kalených ocelí, liatin a hlavne pri prerušovanom reze. [2]



Obr. 2.15 Mikroštruktúra vystuženej keramiky, leptané.

Neoxidická keramika na báze nitridu kremíka je rezný materiál s odlišnou odolnosť voči tepelným rázom a húževnatosť, ktoré sú lepšie, ako pri keramike na báze oxidu hlinitého. Výhodne je možné použiť tento materiál pri obrábaní liatiny s veľkým objemom odobratého materiálu. Keramika na báze nitridu kremíka si zachováva vysokú tvrdosť pri vysokých teplotách. Aj keď tento rezný materiál nemá takú chemickú stabilitu pri obrábaní ocelí ako keramika na báze oxidu hlinitého, možno ju úspešne použiť k obrábaniu liatin bez aplikácie reznými rýchlosťami až 400 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Keramika s nitridu kremíka je dvojfázový materiál, v ktorom sú kryštály nitridu kremičitého uložené v spojive. Platničky sa vyrábajú lisovaním za studena a spekaním, alebo lisovaním za tepla s vybrusovaním tvaru. [2]



Obr. 2.16 Vymeniteľné rezné platničky vyrobené z neoxidickej keramiky Si_3N_4

Hlavné oblasti použitia keramiky je obrábanie liatiny, žiaruvzdorných zliatin, kalených ocelí, a v niektorých prípadoch tiež ocelí. Pri hrubovacích a dokončovacích operáciách liatin vykazuje čistá keramika na báze oxidu hlinitého dobré výsledky hlavne vtedy ak nie je na odliatku povrchová kôra a stiahnutiny. Nitrid kremíka je vhodný pri prerušovanom reze a pri meniacich sa hĺbkach rezu. Zmesná keramika na báze oxidu hlinitého sa s výhodou používa v prípadoch, kde sa dáva prednosť akosti obrobeného povrchu pred trvanlivosťou reznej hrany. V tomto prípade je kritériom lepšia odolnosť proti opotrebeniu na čele, ktorá priamo ovplyvňuje akosť obrobeného povrchu.



Obr. 2.17 Mikroštruktúra neoxidickej keramiky Si_3N_4 , zv. 200x, leptané na farebnú mikroskopiu.

Tieto materiály sú taktiež vhodné pre obrábanie žiaruvzdorných zliatin, kalených ocelí a tvrdých liatin, kedy je možné aplikovať podstatne vyššie rezné rýchlosti z niekoľkonásobne vyššou trvanlivosťou. Pri obrábaní tvrdých druhov liatin má veľký význam schopnosť keramiky odolávať abrazívnemu opotrebeniu, ktoré je spôsobené tvrdými karbidmi.

Keramické platničky vyrobené na báze veľmi čistého Al_2O_3 alebo zmesi s karbidom kovu sú vhodné pri obrábaní vysokými reznými rýchlosťami. Sú však citlivé na nárazy mechanické či tepelné. Vyžadujú preto práce bez chladenia a tuhú technologickú sústavu. Oproti kovovým rezným materiálom je ich pevnosť za tepla a odolnosť proti oteru značne vyššia. RK zostáva i pri teplotách 1300 °C pomerne stálou. Zvláštny význam pri obrábaní RK má vytvorenie ochrannej fazetky, ktorá pevnostne stabilizuje rezný klin, čím sa stáva necitlivá proti tepelným zaťaženiam.

2.5 Kubický nitrid bóru

Kubický nitrid bóru (KNB) veľmi tvrdý rezný materiál, ktorého tvrdosť prekonáva už len diamant. Má vysokú tvrdosť aj pri vysokých teplotách, veľkú odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu a pri obrábaní má vždy dobrú chemickú stabilitu. KNB je relatívne krehký, húževnatejší a tvrdší ako keramika, ale nemá tak dobrú tepelnú a chemickú odolnosť. Aj napriek jeho vysokej cene sa používa pri sústružení kalených súčiastok. Oceľové výkovky, kalená oceľ a liatina, povrchovo kalené obrobky, spekané materiály na báze kobaltu a železa a tiež žiaruvzdorné zliatiny patria do oblasti obrábania nástrojmi z KNB. KNB by mal byť používaný pri obrábaní materiálov s tvrdosťou nad 48 HRC.



Obr. 2.18 Vzhľad a tvar vymeniteľných rezných platničiek vyrobených z KNB

Platničkami z KNB je možné dosiahnuť vysokú kvalitu obrobeného povrchu, čo umožňuje používať sústruženie ako dokončovaciu operáciu brúsením. Zložky reznej sily pri obrábaní nástrojmi z KNB sú relatívne vysoké, čiastočne z dôvodu použitia negatívnej geometrie reznej platničky ako aj čiastočne vzhľadom na vysokú tvrdosť obrábaných materiálov. Preto je hlavným predpokladom použitia nástrojov z KNB vysoká stabilita a výkon stroja. Vymeniteľné rezné platničky z KNB sú vhodné pre obrábanie kalených ocelí tam, kde sú predpísané úzke tolerancie rozmerov. Drsnosť obrobeného povrchu sa pohybuje okolo $Ra = 0,3 \mu m$ a tolerancie rozmeru sú $\pm 0,01 mm$. Okrem toho môžu nástroje z KNB dosiahnuť vo väčšine prípadov podstatne vyššie trvanlivosti ako spekané karbidy alebo keramika. Pri správnom použití zostáva obrobená súčiastka relatívne studená, pretože teplo je pohlcované predovšetkým trieskou. Aby sa zabránilo tepelným šokom a tým vzniku trhlín v nástroji, malo by sa obrábanie vykonávať bez aplikácie reznej kvapaliny.

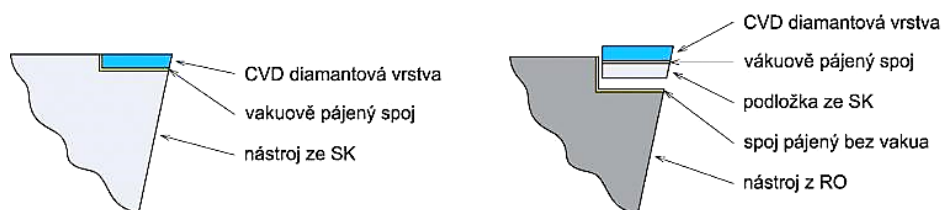
2.6 Diamant

Prírodný diamant je stále menej používaný a vo väčšine priemyselných aplikácií ho nahradil diamant syntetický.

Diamant je najtvrdší materiál vôbec. Najčastejšie sa používa na výrobu brúsnych kotúčov a lapovacích pást, pre obrábanie spekaných karbidov, pre honovanie, orovnávanie

brúsnych kotúčov, a pod. Pre rezné nástroje s definovanou geometriou rezného klina sa používajú polykryštalické materiály. Rezné platničky v podstate predstavujú malé rezné hrany z diamantu pevne uchytené v spekanom karbide, čo im zaručuje pevnosť a odolnosť proti tepelným a rázovým šokom. Pri ich výrobe sa používa technológia vysokých tlakov a teplôt. Pre delenie polotovarov STM sa používajú laserové deliace zariadenia.

Náročnú technológiu vysokotlakej syntézy, zvládlo vo svete pomerne málo výrobcov. Ide o premenu čistého uhlíka – grafitu do inej modifikácie.



Obr. 1.19 Rezné platničky z diamantovou vrstvou



Obr. 2.19 Vzhľad a tvar vymeniteľných rezných platničiek vyrobených z PKD

Trvanlivosť je mnohonásobne vyššia (až 100x) ako pri spekaných karbidoch. Obmedzenie pri použití zdanlivo dokonalého rezného materiálu možno zhrnúť do týchto bodov:

- teploty v oblasti rezania nesmú prekročiť 600 °C,
- pre svoju afinitu nie je diamant použiteľný k obrábaniu železných materiálov,
- diamant nie je vhodný pre obrábanie húževnatých materiálov s vysokou pevnosťou.

Cez obmedzenú možnosť použitia je diamant možné správne použiť pri obrábaní abrazívnych neželezných a nekovových materiálov v tých prípadoch, kde sa pri obrobkoch vyžaduje presnosť rozmeru a vysoká akosť obrobeného povrchu. Preferovanými oblasťami použitia v súčasnej dobe sú sústruženie a frézovanie abrazívnych zliatin hliníka a kremíka, zvlášť ak ide o dosiahnutie vysokej akosti obrobeného povrchu a presnosti rozmerov. Ostré rezné hrany a pozitívny uhol rezného klinu tu majú dôležitú úlohu. Diamant sa rovnako používa pre obrábanie iných abrazívnych nekovových materiálov ako sú napr. kompozitné materiály, umelé živice, plasty, uhlík, spekaný karbid, predlisovaná keramika a predlisovaný

spekaný karbid, ale tiež pre obrábanie kovov ako sú meď, klzné ložiskové materiály, bronz, mosadz, zliatiny magnézia, zliatiny zinku, titánu a olova. S ohľadom na vysokú krehkosť vyžaduje diamant pri používaní stabilné podmienky, tuhé nástroje a stroje s vysokými reznými rýchlosťami. Medzi typické operácie patrí obrábanie načisto a jemné obrábanie na čisto pri sústružení a vŕtaní. Pri čelnom frézovaní možno použiť vymeniteľné rezné platničky z diamantu rovnakým spôsobom, ako bežné alebo špeciálne platničky pre jemné obrábanie. Dôležité sú malé posuvy a malé rezné rýchlosti. Najnovším vývojom je povlakovanie spekaných karbidov diamantovým povlakom.

Polykryštalické materiály pre sústružnícke nože nie sú vhodné pri sústružení ocele a zliatin železa, kobaltu, titanu a ďalších pre ich nízku tepelnú odolnosť (700 – 800 °C). Navyše SD je charakteristický afinitou k niektorým kovom, najmä k železu.

KAPITOLA 2 - LITERATURA

- [1] AUCOTE, J. - FOSTER, S.R.: Performance of sialon cutting tools when machining nickel-base aerospace alloys. *Mater. Sci. Tech.* 2 (2) July 1986, p. 700-708.
- [2] CZÁN, A. – NESLUŠAN, M.: *Trieskové obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov*. Žilinská univerzita v Žiline, 2005, s. 156, ISBN 80-969395-2-1
- [3] CZÁN, A.; PILC, J.; ĎURECH, L.: *Zvyšovanie produktivity rezných nástrojov*, *Strojárstvo* 1/2005, ISSN 1335-2938, str. 32-33 *aplikáciou progresívnych*
- [4] EZUGWU, E.O. – WANG, Z.M.: *Performance of PVD and CVD coated tools when machining nickel-based Inconel 718 alloy*, in: N. Narutaki, et al. (Eds.), *Progress of Cutting and Grinding*, vol.III, 1996, p. 102-10
- [5] LETKO, I. – MEŠKO, J. – PILC, J. – STANČEKOVÁ, D.: *Priemyselné technológie II*. Žilina: ZUSI, 2002, s. 327, ISBN 80-968605-3-4
- [6] SKOČOVSKÝ, P.: *Nove konštrukčne materialy*, IPV koncern ZVL Žilina, 1988.
- [7] TAKATSU, S. – SHIMODA, H. – OTANI, K.: *Effects of CBN content on the cutting performance of polycrystalline CBN tools*. *Int. J. Retract. Hard Metals* 2 (4) 1983, p. 175-178.
- [8] TUROŠÁKOVÁ, E. - CZÁN, A.: Einfluß der Bearbeitungstechnologie auf den Bestand der Bearbeitungsfläche nach dem Frasen der Titanlegierung VT9, *Transcom* 2001, Žilina, str. 283-287.
- [9] TUROŠÁKOVÁ, E. – CZÁN, A.: *Identifikácia nových rezných materialov pri frezovaní niklovej zliatiny*, *Obrobené povrchy*, Trenčín 2000, str. 154-160.
- [10] VASILKO, K.: *Obrábanie titanu a jeho zliatin*, účelová publikácia VŠDS Žilina, 1982.
- [11] VRBA, V. - ČEP, R. Zvyšování přesnosti výroby použitím výkonných řezných nástrojů. In *International Congress Of Precision Machining 2001*, 5.–7. září 2001. Ústí nad Labem: UJEP Ústí nad Labem, 2001, s. 244–250. ISBN 80–7044–358–8

3. ZÁKLADNÍ OTÁZKY NC TECHNIKY V PODMÍNKÁCH STROJÍRENSKÉ VÝROBY

Počítačem řízené obráběcí stroje se snaží v současné době zavádět a doplňovat do výrobního procesu stále větší počet nejenom velkých a malých firem, ale i osob samostatně výdělečně činných. Nutnost tohoto kroku lze jednoduše vysvětlit konkurenčním prostředím. Produktivita, efektivnost, přesnost a rychlost výroby jsou rozhodující existenční faktory firmy.

Rozvoj systémů počítačové podpory výrobního procesu má několik mezníků, ve kterých proběhl zásadní zvrat v technické i organizační koncepci výroby:

- 1952 - aplikace numericky řízených strojů,
- 1960 - řízení pomocí číslicového počítače,
- 1970 - vznik koncepce CNC a DNC strojů,
- 1980 - první realizace pružných výrobních buněk, uplatnění skupinové technologie, aplikace pružných výrobních systémů,
- 1990 - integrované CAD/CAM systémy, systémy pro plánování a řízení výrobního procesu, plné uplatnění filozofie CIM.

3.1 Počátky nasazování numericky řízených obráběcích strojů

První NC stroje byly vyvinuty na počátku 50. let v USA. V r.1961 firma Boeing zavedla do výroby první číslicově řízený stroj (NC). NC stroj byl tedy řízen „číslly“ (numericky, číslicově). Řízení stroje (dráha nástroje) se tedy nemuselo provádět manuálním ovládáním, nebo pomocí šablon, křivkových kotoučů a nebo kontaktních kolíků. Všechny potřebné informace byly do řídicího systému stroje zadávány ve formě čísel a písmen.



NC (Numerical Control) = číslicově řízený

První způsoby zadávání programu do stroje se uskutečňovaly pomocí děrných štítků a pásek. Občas se v útrobách řídicí jednotky stroje ukrývala feritová paměť. Dříve než se obráběla další součást, musela být děrná páska ve snímači buď převinuta zpět, nebo u nekonečné děrné pásky nastavena na počátek programu. Jestliže byla nutná změna programu, musela se u NC strojů vyděrovat nová děrná páska. Toto se provádělo na externím programovacím pracovišti. Důvodem nepoužívání disket a nebo harddisků byla jejich špatná spolehlivost ve výrobním prostředí. Prašné prostředí (mastný kovový prach), silná střídavá elektromagnetická pole, znečištěné ruce obsluhy vkládající disketu do mechaniky, vibrace stroje jsou omezujícími podmínkami využívání těchto medií. Program na děrné pásce se stočil do ruličky, opatřil etiketou a uložil do prosklené skříňky sloužící jako

archiv. Dnes jsou stroje stále více závislé na podnikové počítačové síti. Data se fyzicky vyskytují odděleně od stroje.

3.2 Počátky nasazování počítačem číslicově řízených obráběcích strojů

Na počátku 70. let byly jako další vývojový stupeň NC strojů vyvinuty CNC stroje. Zavedení počítačem řízených obráběcích strojů (CNC) do výroby znamenalo zvýšení jejich flexibility a zkrácení doby využití na seřízení stroje. Přínosem takového stroje je minimální zmetkovitost při podstatně vyšší produktivitě práce. Hlavní uplatnění takovýchto strojů nalezneme v malosériové až kusové výrobě. Ve velkosériové a hromadné výrobě se z ekonomických důvodů stále ještě používají (a ještě pravděpodobně budou používat) vačkové automaty. Například při výrobě šroubů.



CNC (Computerized Numerical Control) = počítačem číslicově řízený

CNC je zkratka výrazu Computerized Numerical Control (číslíkové řízení počítačem). Řídicí systémy těchto strojů jsou na rozdíl od NC strojů vybaveny volně programovatelným mikropočítačem, který provádí se zadanými daty výpočty a řídí stroj. Vlastnosti počítačového řídicího systému jsou dány programem, kterým se řídí činnost mikropočítače v jednotlivých režimech – tedy softwarově. Obrábění na CNC stroji tak není jiným výrobním postupem, nýbrž pouze jiným druhem programového řízení, které je realizováno souhrou mikropočítače a provozního softwaru (řízení = hardware + software).

3.3 Současnost - výroba podporovaná počítačem

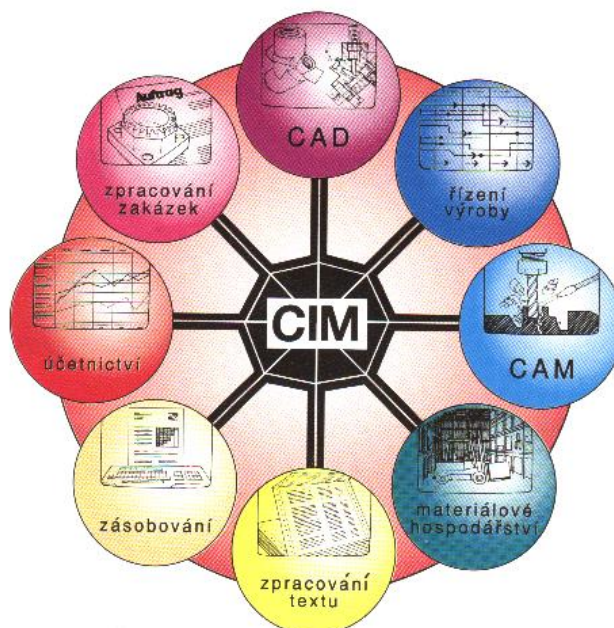
Zmiňovaný neustálý tlak konkurence na začátku kapitoly nutí konstruktéry a technology pracovat na nových řešeních a potýkat se s novými problémy. Zkrácení výrobních časů, zlepšení kvality, rychlá změna výrobního programu a jiné nutné změny, to jsou jen některé aspekty, které se musí řešit. Východiskem pro řešení složitých situací, které se velmi často v praxi objevují, je použití integrované výroby počítačem (CIM) a řízení životního cyklu výrobku (PLM).



CIM (Computer Integrated Manufacturing) = výroba integrovaná počítačem.

CIM systém zahrnuje řízení celého výrobního podniku. Využívá ve všech fázích výroby počítačovou podporu. Jeho funkcí je zastřešit všechny moduly CAD, CAM, CAE a další a koordinovat tok informací od myšlenky po vlastní realizaci. Jedná se o nasazení

informační technologie do všech činností výrobní a inženýrské praxe, od návrhu a tvorby výrobku, až po jeho expedici.



Obr. 3.1 Schéma výroby integrované počítačem - systému CIM



CAD (Computer Aided Design) = počítačem podporovaný návrh.

CAD systém je tedy zkratka pro konstrukční návrh součástí, kdy celá geometrie je interaktivním způsobem modelována a zobrazována ve skutečné reálné počítačové podobě. Je to tedy souhrn prostředků pro vytváření geometrických útvarů. Informace reprezentující geometrický útvar jsou uloženy v aplikačně sestavené databázi, která je základem pro další kroky v komplexním inženýrském řešení problému návrhu nového dílu.

Počítačová podpora návrhu a tvorby konstrukční dokumentace je interaktivní způsob geometrického modelování tvaru a rozměru navrhovaného produktu v uživatelsky přehledném prostředí. Geometrické modelování vyjadřuje počítačově matematický popis objektu, který se v prostředí CAD zhotovuje v rovině 2D způsobem modelování, jehož charakteristickým rysem je tvořící postupný profil modelu. Nebo se v prostředí CAD zhotovuje modelováním ve 3D prostoru, při kterém má objekt identický tvar se zadáním. Výsledkem této práce jsou tedy modely, plochy, profily, výkresy, sestavy. Většinou se již konstruuje v 3D objemovém nebo plošném modelu. Začínají se prosazovat i tzv. hybridní koncepty, které při návrhu součástí umožňují použít současně plošné i objemové modelování, popř. propojení parametrických modelů s neparаметrickými i z jiných CAD

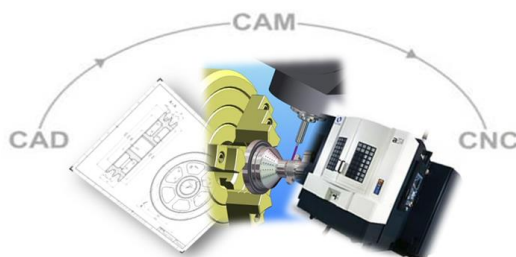
systémů. Pro přenos dat se používají nejen standardizované formáty IGES, DXF, VDA, STEP, SET, ale i přímá rozhraní k jiným systémům (např. SolidWorks, Creo, CATIA, a další).

Zjednodušeně lze říci, že CAD data tvoří důležitý faktor při integraci CAD systému s jinými CA systémy a aplikacemi pro jejich další využití např. import modelu do prostředí CAM.



CAM (Computer Aided Manufacturing) = počítačem podporovaná výroba.

CAM označuje systém, který připravuje data a programy pro řízení numericky řízených strojů a počítačem číslicově řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Tento systém využívá geometrické a další informace (např. technologické) vytvořené ve fázi návrhu v systému CAD. CAM systém představuje v užším pojetí automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni a zahrnuje i automatický sběr dat o skutečném stavu výrobního procesu, numericky řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a automatické sklady [9].



Obr. 3.2 Schéma – propojení systémů



CAE (Computer Aided Engineering) = počítačem podporované inženýrství.

CAE systém se zabývá analýzou geometrických dat získaných v CAD návrhu. Umožňuje simulovat a studovat navržený objekt v extrémních pracovních podmínkách, pro které je tvořen. Následné chyby, které ovlivňují jeho funkci lze okamžitě eliminovat. Součásti lze zkoumat ve statickém, nebo dynamickém stavu, tedy s ověřením jeho funkčnosti, kinematiky, dynamiky, přestupů tepla, proudění apod.. K tomu je využíváno různých matematických metod např. metoda konečných prvků, metoda geometrických prvků (elementů), apod.



PLM (Product Lifecycle Management) = řízení životního cyklu výrobku.

Product lifecycle management je proces řízení kompletního životního cyklu výrobku od jeho vzniku (konceptu) přes návrh konstrukci, výrobu, servis až po jeho vyřazení. PLM zahrnuje lidské zdroje, data, procesy a obchodní systémy a poskytuje páteřní informaci o výrobku pro firemní společnosti a jejich podniky. Je základním prvkem efektivní tvorby a používání globální inovační sítě.

Nové technologie nasazované v oblasti obrábění (např. suché obrábění, HSC obrábění, tvrdé obrábění) popř. uplatnění nových pracovních cyklů u řezných nástrojů, si vyžaduje nasazení počítačem řízené číslicové stroje (NC) do výroby. Uplatnění těchto strojů je jak v sériové (s možností doplnění manipulátorem obrobků a napojení na DNC síť), tak i v kusové výrobě, kde se především počítá s jejich pružností [8].

Nasazení počítačem řízených obráběcích strojů samo o sobě nestačí. Důležitá je kvalifikovaná obsluha stroje a osoba technologa programátora, který je schopen připravit kvalitní programy. Rychlost a kvalita zaškolení zmiňovaných pracovníků závisí také na zvoleném CAD/CAM systému. Ten by měl být uživatelsky nenáročný, přehledný, snadno ovladatelný a intuitivní. Všeobecně se vývojoví pracovníci programující moduly CAM systémů se snaží zjednodušit a ulehčit práci programátorů CNC strojů vytvářením softwarů s uživatelsky jednoduchou a intuitivní obsluhou. Některé CAM systémy nabízí při práci volbu role uživatele: začátečník, pokročilý, atd. Rovněž může pomoci pro snadnou a rychlou výuku průvodce obráběním.

Aplikace CAD/CAM systému umožňuje systémový přístup konstruování při vývoji výrobků, kdy tvorba výrobku je komplexní proces konstruování, testování, korigování chyb, modifikování výroby.

V rámci všeobecných trendů v počítačově podporované výrobě (CIM) vyvstává úloha použít data o obrobku vytvořené v CAD systému i na automatické měření obrobků na souřadnicových měřicích strojích.

4. VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ A ZÁKONITOSTÍ PŘI NC PROGRAMOVÁNÍ

Technologie obrábění při zpracování NC programu se v principu neliší od konvenční technologie. Při zpracování NC technologie se vychází z obecných principů - postupnou volbou technologických operací (hrubovacích, dokončovacích) nebo úkonů v logickém sledu, se realizuje požadovaný technologický výsledek. Obrábění na NC/CNC strojích, na rozdíl od konvenčního obrábění, je zpravidla řešeno detailněji. Při zpracování NC technologie se musí respektovat jednotlivé strategie obrábění a dráhy nástroje a způsoby obrábění (jako je např. frézování sousledné, nesousledné a kombinované) a dynamické nebo jiné charakteristiky NC/CNC stroje. Pro dosažení požadované přesnosti obrábění se musí respektovat řezné podmínky, geometrické parametry nástroje a další. Technolog - programátor NC/CNC strojů proto musí k problému zpracování technologie přistupovat mnohem komplexněji.

4.1 NC program

NC Program je uspořádaný rozpis jednotlivých geometrických, technologických a případně pomocných informací v takové formě a posloupnosti, jak je vyžaduje software NC/CNC stroje. Program je zapsán pomocí jednotlivých bloků (vět) a je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti. Stručně lze říci, že NC program je soubor číselných informací odděleně popisujících činnost stroje.

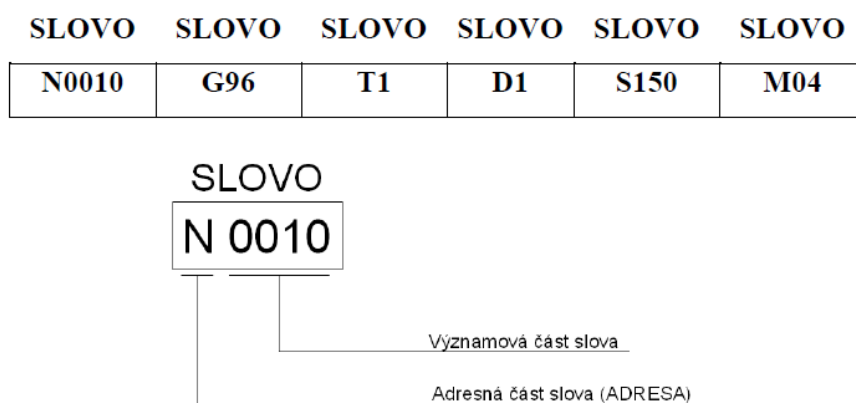
Program se skládá z bloků (vět), zapsaných v jednom řádku. Každý blok obsahuje:

- geometrické informace – výsledkem jsou pohyby ve směru jednotlivých os. Popisují dráhy nástroje (přímka, kruhový oblouk), které jsou dány rozměry a tvarem obráběné součásti a způsob pohybu nástroje (pracovní posuv, rychloposuv). V programu se dráhy nástroje uvádí v osách X, Z u soustruhů a X, Y, Z u frézek, případně i v dalších osách. To záleží na kinematice a konstrukci obráběcího stroje. Geometrické funkce se zapisují pomocí G funkcí, které stanovuje norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů.
- technologické informace – stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek, (velikost posuvu, otáčky vřetena nebo řezná rychlost, axiální hloubka řezu, radiální hloubka řezu, atd.)
- pomocné informace - informace pro stroj pro určité pomocné funkce jako např. zapnutí (vypnutí) čerpadla chladicí kapaliny, směr otáček vřetene atd.

Každý blok (věta) se skládá ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz a je složeno z adresy a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována. Číselný kód určuje

konkrétní hodnotu. Slovo může být:

- rozměrové – má významovou část tvořenou fyzikální veličinou a představuje např. polohu v příslušné ose, velikost otáček vřetena, velikost posuvu, atd.
- bezrozměrové – podle významu se rozlišují na přípravné funkce, sdělují jakým způsobem bude prováděn pohyb, a na pomocné funkce, které vyvolávají u určité činnosti stroje např. spuštění otáček.



Obr. 4.1 Popis bloku a jednoho slova v bloku programu

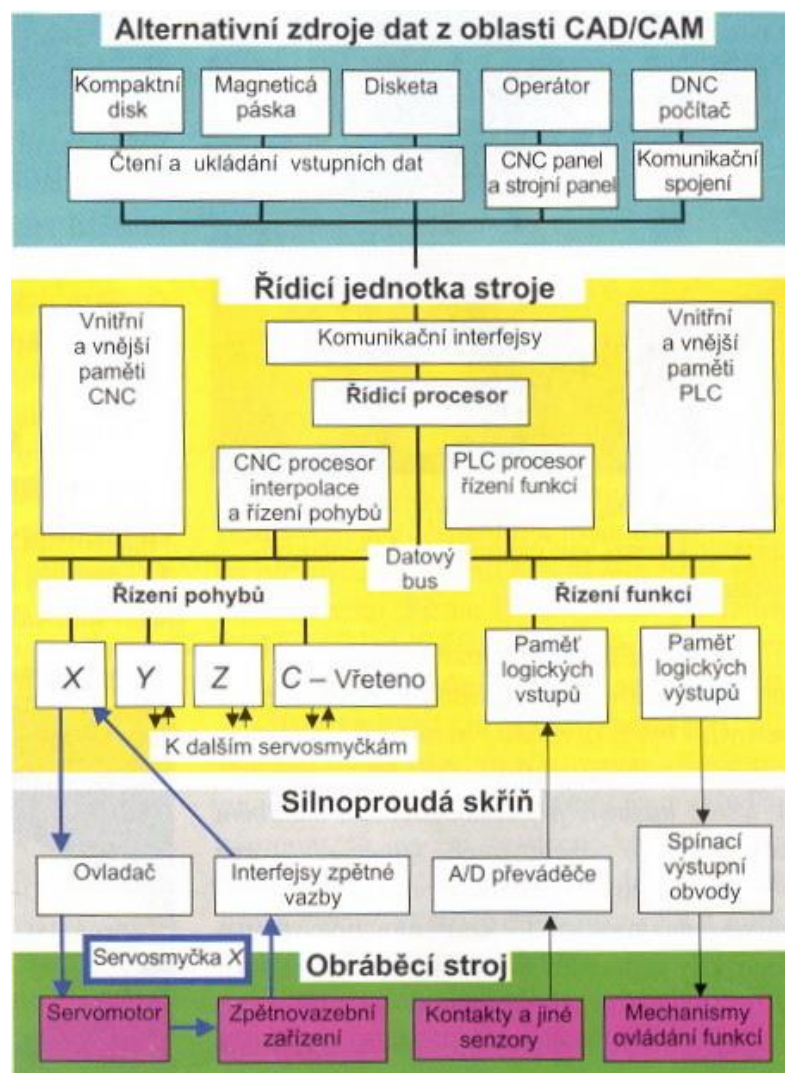
Vytvořený, nebo vygenerovaný NC program (z CAM systému – blíže v následující kapitole) se odešle na příslušný obráběcí stroj. Přenos na obráběcí stroj může být uskutečněn například:

- pomocí sítí,
- bezdrátovým přenosem,
- fyzickým přenosem dat pomocí CD, flash disků apod.

NC program se v řídicím systému stroje ještě znovu simuluje a tzv. odlazuje. Operátor upne do příslušných nástrojových pozic nástroje, provede seřízení těchto nástrojů a do tabulky korekcí zadá příslušné nástrojové korekce, připraví, upne a vyrovná polotovar. Nastaví nulový bod obrobku. To byl stručně nastíněn postup, po němž může být obroben první kus.

4.2 Řídicí systém obráběcího stroje

Číslicový řídicí systém obráběcího stroje je systém, který ovládá a řídí jednotlivé pohyby, prvky a funkce obráběcího stroje. Sleduje podmínky řezného procesu a realizuje relativní pohyb řezného nástroje vzhledem k obrobku.



Obr. 4.2 Blokové schéma počítačem řízeného obráběcího stroje [13]

Dnes se u obráběcích strojů používají téměř všude řídicí systémy se souvislým řízením. Trendem v tomto oboru jsou: obrábění ve více osách, použití univerzálních strojů (obráběcích center), stále dokonalejší interpolace, větší nároky na přesnost, rychlost a kvalitu výroby. Zohledňuje se také mnoho dalších technických, ekonomických, bezpečnostních a ekologických požadavků.

V dnešní době je na trhu velký počet výrobců řídicích systémů, mezi které patří Siemens, Fanuc, Heidenhain, Haas, Fagor, Mazak, Okuma a Fidia a další. Jako největší světoví výrobci řídicích systémů pro obráběcí stroje jsou však považováni tito tři: Siemens, Fanuc a Heidenhain. Tito výrobci mají velice významný podíl na trhu, že se zde prakticky nedá mluvit o žádné další velké konkurenci.

4.3 Způsoby programování číslicově řízených obráběcích strojů

Vytvoření programů pro řízení NC/CNC obráběcího stroje je možné následujícími způsoby - literatura a praxe uvádí několik možných rozdělení:

- Online – programování přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP – Shop Floor Programing).
- Offline – tvorba NC programu mimo řídící systém:
 - o ručně (psaní pomocí ISO/DIN kódu),
 - o pomocí CAM systému.

Další možné rozdělení:

- ruční programování,
- automatizované.

Další možné rozdělení:

- přímé psaní NC kódu (DIN/ISO),
- použitím geometrických programovacích jazyků,
- použitím CAM systému,
- použitím CAD/CAM systému.

4.3.1 Ruční programování NC/CNC obráběcího stroje v DIN/ISO kódu

Tento způsob má využití především při kusové a malosériové výrobě a v opravárenských provozech, kde stroj není tolik vytížen a programování je možné přímo u stroje. Dále pak tam, kde výkresy nejsou dodávány ve formě CAD dat. Je určeno pro jednodušší a tvarově nenáročné součásti. Tímto způsobem se programují pouze jednodušší součásti s jednoduchou geometrií, jednoduchými plochami rovinnými, válcovými, kuželovými a kulovými ve 2D a 2.5D. Hlavní nevýhodou je velká časová náročnost programování.



Obr. 4.3 Programovací okno WinNC EMCotronic TM02

4.3.2 Programování v interaktivním prostředí u ovládacího pultu na ploše obrazovky obráběcího stroje

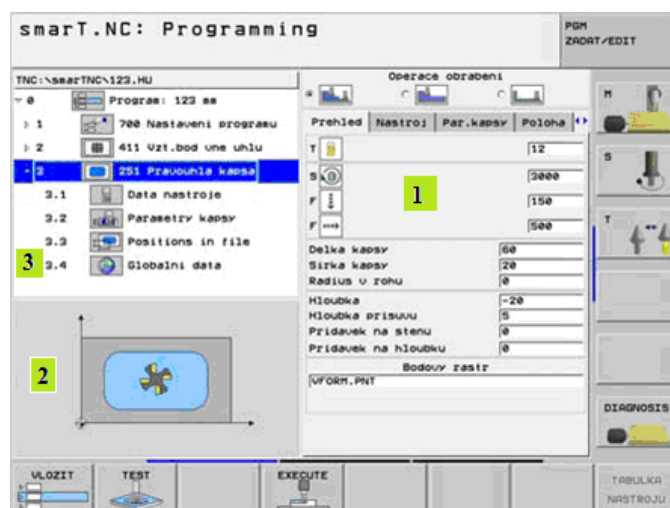
Jedná se pokročilejší a jednodušší způsob programování než v ISO kódu. Za pomoci interaktivního rozhraní mezi operátorem a řídicím systémem stroje dochází k psaní programu, kde není potřebná znalost G a M kódu. Všechny informace potřebné pro kompletní programovací blok si řídicí systém vyžádá v dialogu. K popisnému dialogu také patří možnost volného programování kontur. Velmi výhodně se využívá, pokud obrobek není okótován v souladu s ISO. Díky tomu se jednoduše zadají z klávesnice potřebná data. Není zde třeba nic přepočítávat nebo vypočítávat. Při tom mohou být jednotlivé prvky kontury neurčité, dokud není určena celková kontura sama o sobě.

Toto velice jednoduché programování na základě tvorby tzv. výrobního postupu, kde se vyplňují geometrické a technologické parametry jednotlivých tvarových elementů (např. vybrání, drážka apod.).

Představitelem tohoto způsobu programování je např. produkt řídicího systému Sinumerik 840D „ShopMill“ a „ShopTurn“ od společnosti Siemens, který komunikuje s obsluhou přes technologicky orientované prostředí a symboly. Mimo jiné nabízí všechny možnosti obrábění i s měřícími cykly.

Programování v řídicím systému Heidenhain nabízí např. možnost programování v *dialogu Klartext*. Pro tento způsob psaní programu není potřebná znalost G kódu. Namísto toho se k programování používají speciální softklávesy. Všechny informace potřebné pro kompletní programovací blok si iTNC 530 vyžádá v dialogu. K popisnému dialogu také patří možnost volného programování kontur. Velmi výhodně se využívá pokud obrobek není okótován v souladu s ISO normou. Pomocí programování kontur lze jednoduše z klávesnice zadat údaje. Není třeba údaje přepočítávat nebo vypočítávat. Při tom mohou být jednotlivé prvky kontury neurčité, dokud není určena celková kontura sama o sobě. Vedou-li data k několika matematickým řešením, jsou nabídnuta programovací grafikou systému.

Další možností programování v řídicím systému Heidenhain je v *Smart.NC*. V tomto prostředí není nutné znát speciální programovací jazyk, ani G-funkce. Řídicí systém operátora provede snadno srozumitelnými otázkami a pokyny. Informace v otevřeném textu, dialogy, kroky programů nebo softtlačítek. Pro definování jednoho operačního úseku je zapotřebí vyplnit několik formulářů a podformulářů, u kterých je k dispozici grafická podpora, viz. následující obrázek.



Obr. 4.4 Programovací okno SmarT.NC [11]

Řídicí systém Fanuc nabízí pro dílenské programování „Manual Guide i“. Tento produkt řídicího systému Fanuc představuje řízení s použitím cyklů se zjednodušeným operátorským rozhraním, určeným k programování cyklů. K dispozici jsou nejrůznější funkce, které usnadňují komunikaci [10].

Výhodou dílenského způsobu programování je editace sestavených NC programů, v tomto případě výrobních postupů, které jsou srozumitelné a přehledné i pro obsluhu, jež editované programy nesestavovala. Při sestavování výrobního postupu nemusí obsluha dokonale znát jednotlivé funkce ISO kódu, což patří mezi další velkou výhodu sestavování výrobního postupu u ovládacího pultu na ploše obrazovky.



Poznámka

Vyspělé řídicí systémy umožňují ruční programování na stroji, kde souběžně na tomto stroji probíhá obrábění.

Další používaná zkratka pro dílensky orientované programování je WOP.

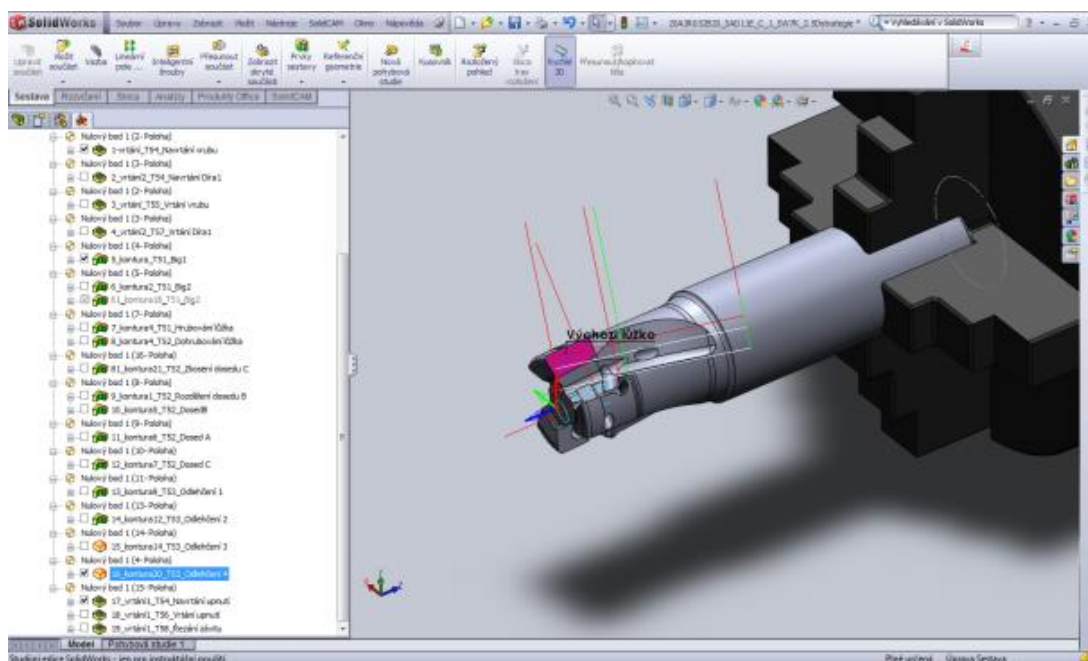


WOP (Werkstattorientierte Programmierung) = dílensky orientované programování.

Toto programování je vhodné zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Vychází z myšlenky vytvářet NC programy v místech největšího výrobního “know-how”.

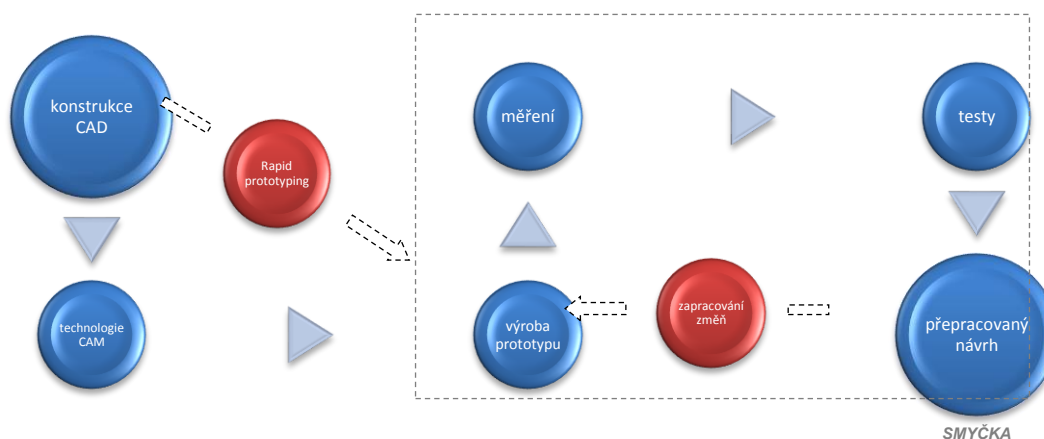
4.3.3 Programování s využitím CAD/CAM systémů

Použití je tam, kde je součást složitá a nelze programovat ručně, je zdlouhavé nebo součást je ve více kusech. Použití automatického programování může záviset na ekonomických, technických, ale i personalistických možnostech firmy a na jejich strategických plánech do budoucna.



Obr. 4.5 Programování v CAM systému SolidCAM

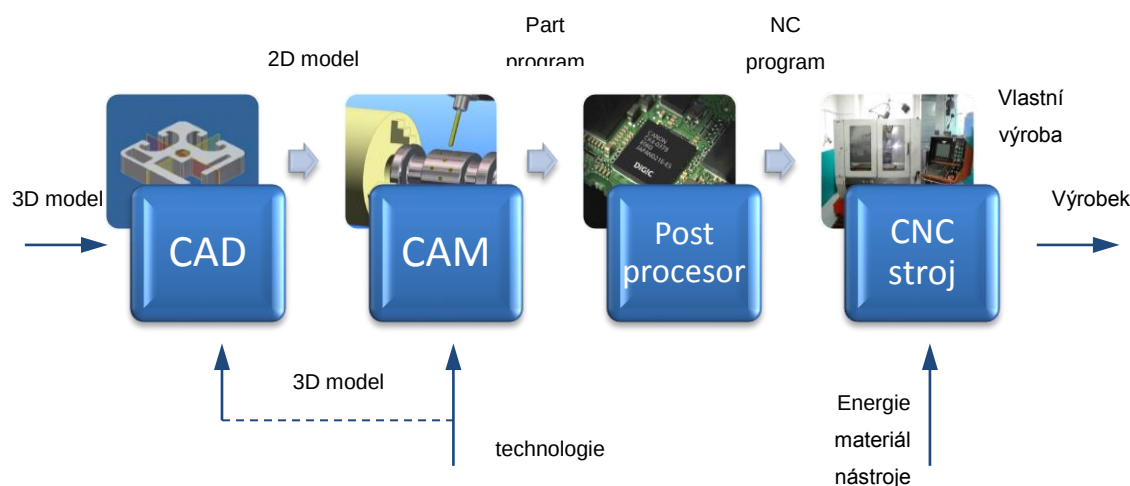
Proces vývoje výrobku při použití CAD/CAM systémů zjednodušeně a názorně vyobrazuje následující obrázek. Smyčka začíná „výrobou prototypu“ až k „přepřacovanému návrhu“ probíhá, dokud není výrobek v pořádku.



Obr. 4.6 Proces vývoje výrobku při použití CAD/CAM systému

Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění, např. 5osé frézování, 3osé frézování, soustružení, soustružení s poháněnými nástroji, vrtání, elektroerosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd.. Po simulovaném prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součástí je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC a CNC strojů.

Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech, lze chápat jako souhrn činností probíhajících na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku, od počáteční fáze návrhu, až po konečnou fázi výroby, jejíž výsledkem je konkrétní výrobek. Sled těchto činností je schematicky znázorněn na dalším obrázku.



Obr. 4.7 Hierarchie výroby součástí pomocí CAD/CAM systémů

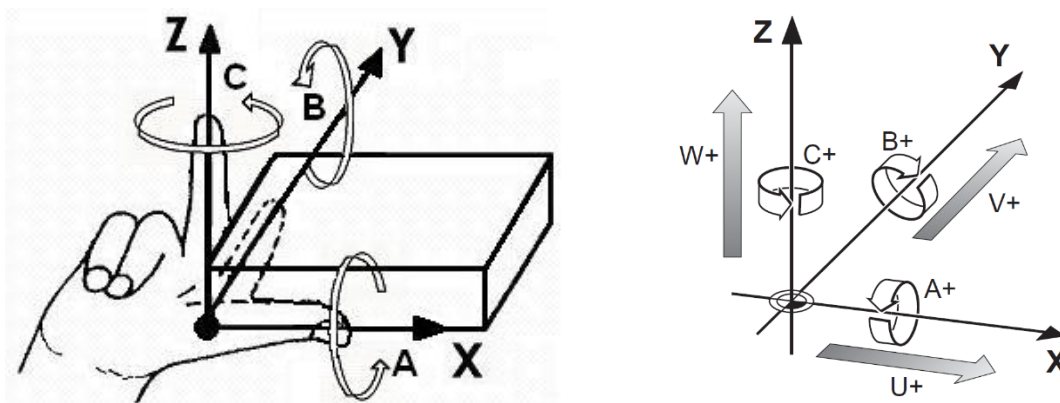
Rychle se rozvíjející oblastí CAM systémů je programování výrobních robotů. Jedná se nejen o obráběcí roboty, ale také především o roboty zajišťující transport zpracovávaného materiálu mezi jednotlivými výrobními operacemi, způsob uchopení na výrobních strojích, sestavování vyráběné součásti z jejich jednotlivých částí, přesun do a z meziskladu apod..

Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je nejen v oblasti výroby forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástek, ale také v běžné strojírenské výrobě, v různých odvětvích strojírenského průmyslu.

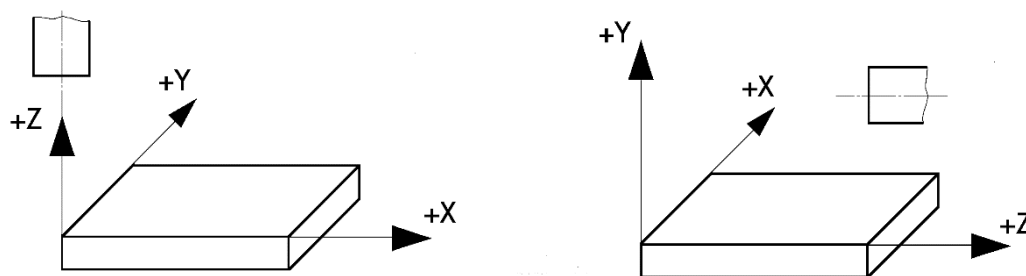
Výrobci CAD/CAM softwarů se také zaměřují a specializují na další oblasti strojírenské výroby, např. na obrábění elektrod, obrábění v oblasti uměleckého řemesla a tvorby reliéfů, softwary pro řemeslníky pracující se dřevem, rytce, výrobce nábytku, zakázkovou výrobu, výrobce prstenů a šperků a dalších. Zástupcem umělecké specializace je např. MasterCAM Art.

4.4 Souřadnicové systémy NC/CNC strojů

Popis os a pohybů obráběcích strojů určuje norma ČSN ISO 841 (ON 20 0604). Vychází z pravotočivého pravoúhlého souřadného systému a pravidla pravé ruky, (konečky prstů ukazují kladný smysl os).



Obr. 4.8 Orientace a smysle otáčení os obráběcích strojů



Obr. 4.9 Orientace souřadného systému u svislé a vodorovné frézky

Značení os obráběcích strojů.

- X, Y a Z hlavní osy pravoúhlého souřadného systému.
- U, V a W přídatné osy, jsou rovnoběžné s hlavními osami.
- A, B a C rotační osy

3osé obráběcí stroje mají tři hlavní osy X, Y a Z. 5osé stroje mají další dvě rotační osy. Ve většině případů se tyto osy točí kolem hlavních os. Pojmenování těchto os se může lišit u jednotlivých výrobců. Nejčastější pojmenování ukazuje následující obrázek.



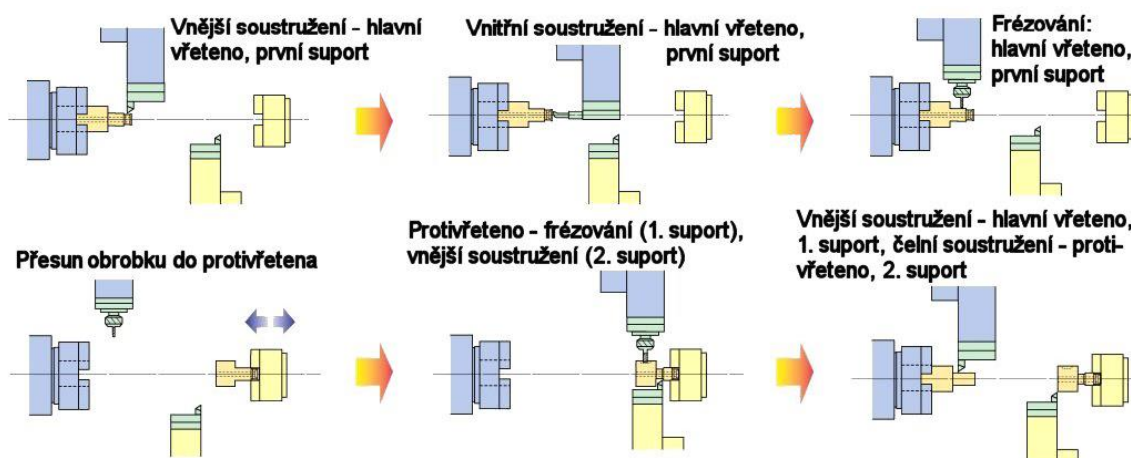
Obr. 4.10 Orientace souřadného systému u 3osého a 5osého stroje

4.5 Kinematika soustružnických center

Rozdělení kinematiky soustružení lze následujícím způsobem:

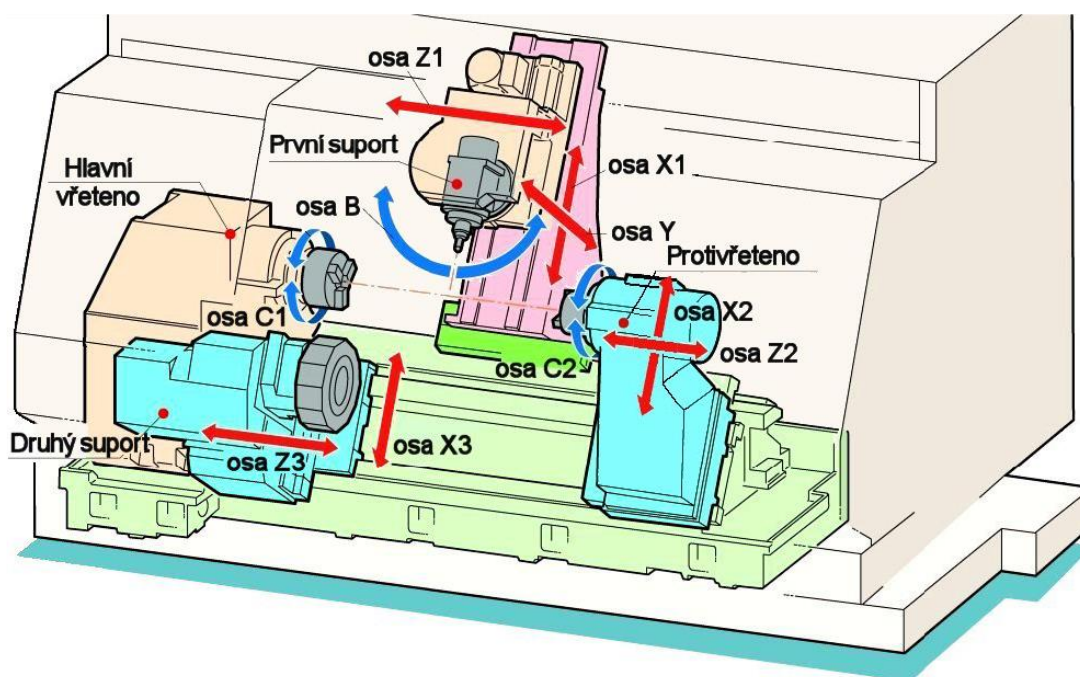
- 2osé soustružení,
- 4osé soustružení - soustružení s druhou, popřípadě s i třetí nástrojovou hlavou
- soustružení s poháněnými nástroji (s C, Y a B osou),
- soustružení s využitím vedlejšího vřetene (popřípadě dalších vřeten).

Příklad pracovního cyklu soustružnického CNC obráběcího centra je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 4.11 Příklad pracovního cyklu soustružnického obráběcího centra [22]

Následující obrázek ukazuje příklad kinematiky soustružnického centra.



Obr. 4.12 Kinematika soustružnického centra [22]

Na předcházejícím je hlavní obrobkový vřeteník, který je obvykle pevný a pro obrábění nerotačních a nesouosých rotačních ploch, vybaven kontinuálním řízením úhlové polohy obrobku v ose C1. Druhý nástrojový suport, jehož revolverová hlava nese pevné i rotující nástroje, může být pevně připojen k hlavnímu vřeteníku nebo může být řízen v osách X3 a Z3. Vřeteník druhého vřetena (protivřetena) je řízen v osách X2, Z2 a C2. Na jeho tělese je možné umístit pevné nástroje, které mohou spolupracovat s prvním nástrojovým suportem při obrábění obrobků rotujících v hlavním vřetenu. Mezi těmito pevnými nástroji může být i hrot koníkové opěrky delšího obrobku v hlavním vřetenu při jeho obrábění z prvního nástrojového suportu. Obrobek v protivřetenu může být obráběn i pevnými nebo rotujícími nástroji z prvního suportu, což umožňuje i využití osy Y pro obrábění z druhé strany.

4.5.1 2osé soustružení

Při 2-osé soustružení jsou používány soustruhy s řízením ve dvou osách (většinou zx) s jednou nástrojovou hlavou.

4.5.2 4osé soustružení

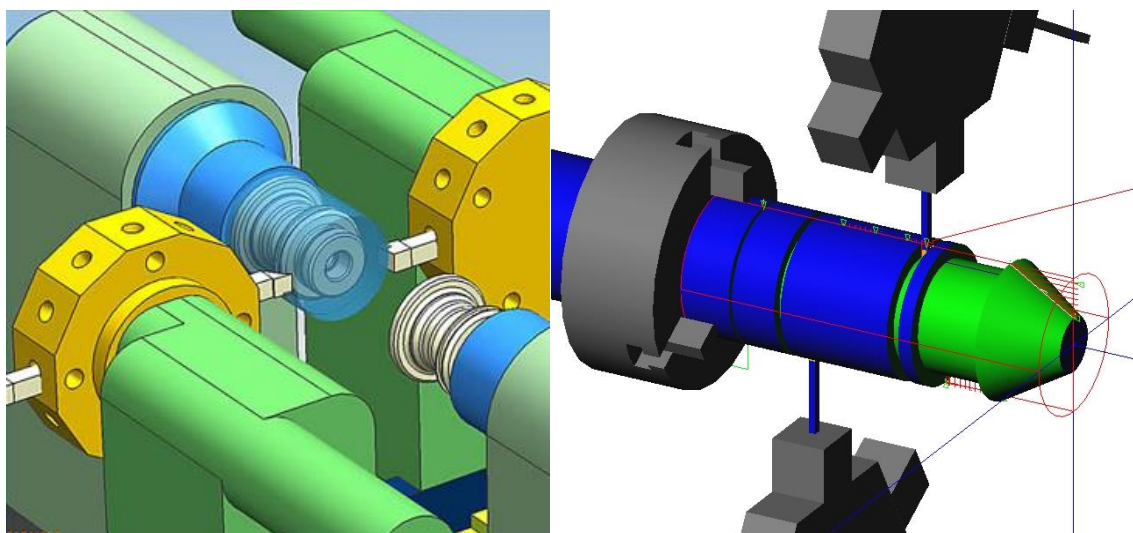
4osé soustružení umožňuje používat současně více než jednu nástrojovou hlavu při soustružení. To znamená, že při použití 4osých obráběcích cyklů mohou nezávisle obrábět dva nástroje současně.

Pro programování CNC strojů se dvěmi nástrojovými hlavami se využívá synchronizačních nástrojů. Souměrné a zrcadlené obráběcí cykly používané k odebrání materiálu využívají možností soustruhů se dvěmi nástrojovými hlavami. Kontrola a synchronizace pro obě nástrojové hlavy musí zaručovat maximální efektivitu výroby. Samostatný seznam instrukcí pro každou nástrojovou hlavu poskytuje snadnou editaci synchronizačních bodů a obráběcích instrukcí. Většinou jsou 4 – osé soustružnické cykly synchronizovány automaticky, ale při obrábění každé nástrojové hlavy nezávisle, je nutné použít příkazy pro synchronizaci hlav.

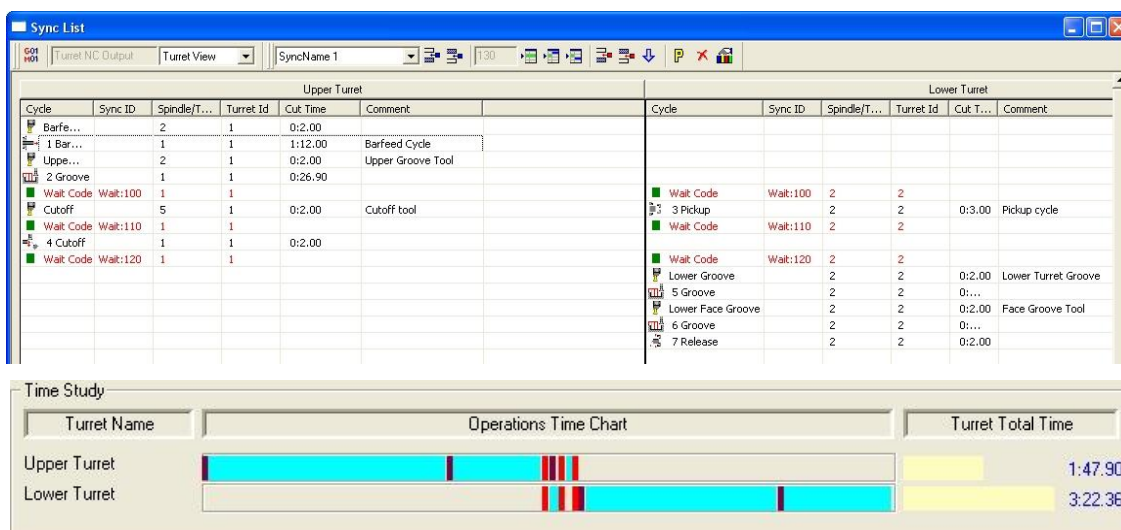


Poznámka

Jsou vyvinuty obráběcí soustružnická centra, kde je možné obrábět i s více než dvěma nástroji najednou.



Obr. 4.13 Simulace obrábění se dvěma nástrojovými hlavami



Obr. 4.14 Synchronizace času obrábění dvěma nástrojovými hlavami (CAM systém Esprit)



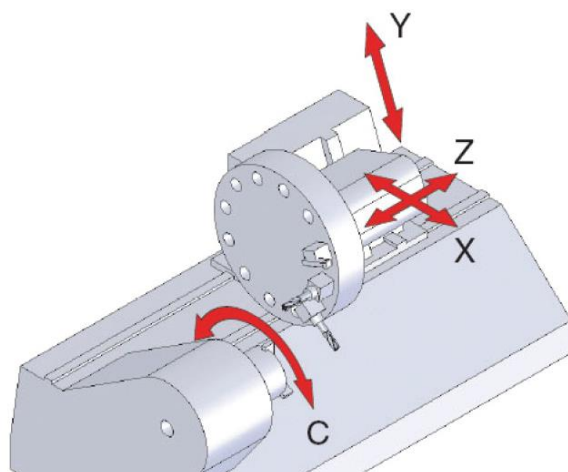
Poznámka

Jednovřetenová obráběcí centra lze popsat jako obráběcí stroje, které provádí různé druhy technologických operací, pracují v automatizovaném cyklu, jsou vybaveny automatickou výměnou nástrojů a obrobků, mohou pracovat v bezobslužném provozu a mají možnost víceosého obrábění.

4.5.3 Soustružení s poháněnými nástroji

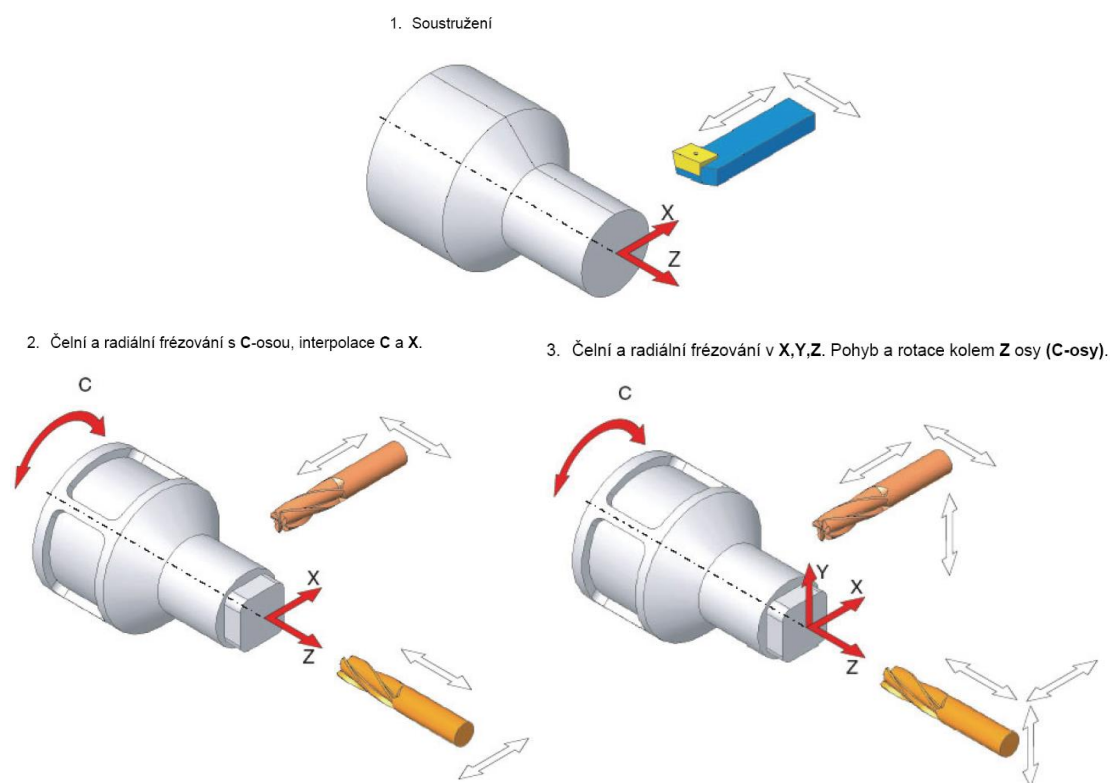
Na soustružnických obráběcích centrech lze využít poháněné nástroje. Tzn. nástroj (vrtací, frézovací) se otáčí – je poháněn v nástrojové hlavě. Nabízené obráběcí cykly mohou být např. frézování navinuté kontury, frézování navinuté kapsy, nebo nabídky vrtání a

frézování na čele součásti.



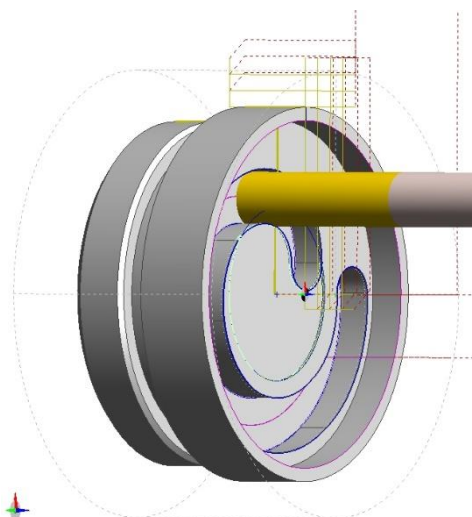
Obr. 4.15 Kinematika 4osého soustružnického obráběcího centra s vodorovnou osou (typ XYZC) [20]

Tento typ stroje umožňuje provádět kromě běžného soustružení také čelní a radiální frézování s C-osou a čelní a radiální frézování v X,Y, Z a pohybem a rotaci kolem Z osy (C-osy), viz. následující obrázek.



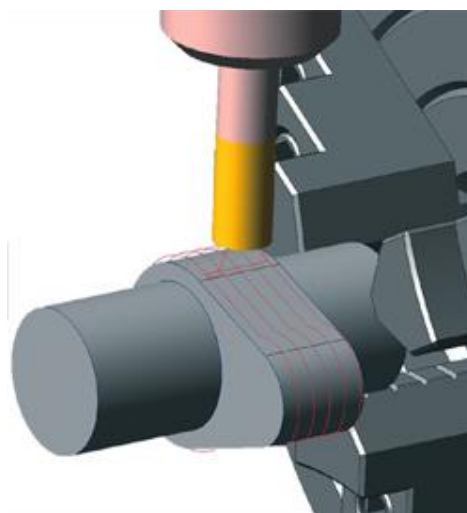
Obr. 4.16 Obrábění na 4osém soustružnickém obráběcím centru (typ XYZC) [20]

Soustružení s poháněnými nástroji lze dělit na axiální a radiální obrábění. Axiální obrábění se používá pro obrábění tvarů na průměru (díry, drážky a různá vybrání), viz následující obr..



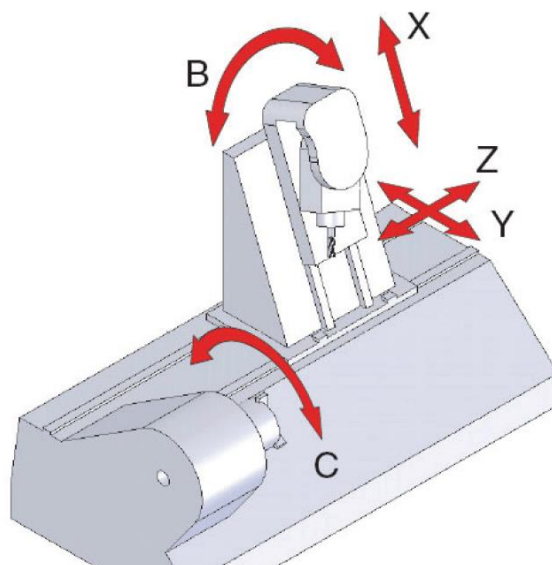
Obr. 4.17 Axiální obrábění - využití osy C a Y

Při radiálním obrábění směřuje osa nástroje vždy kolmo na osu rotace obrobku, viz následující obr..

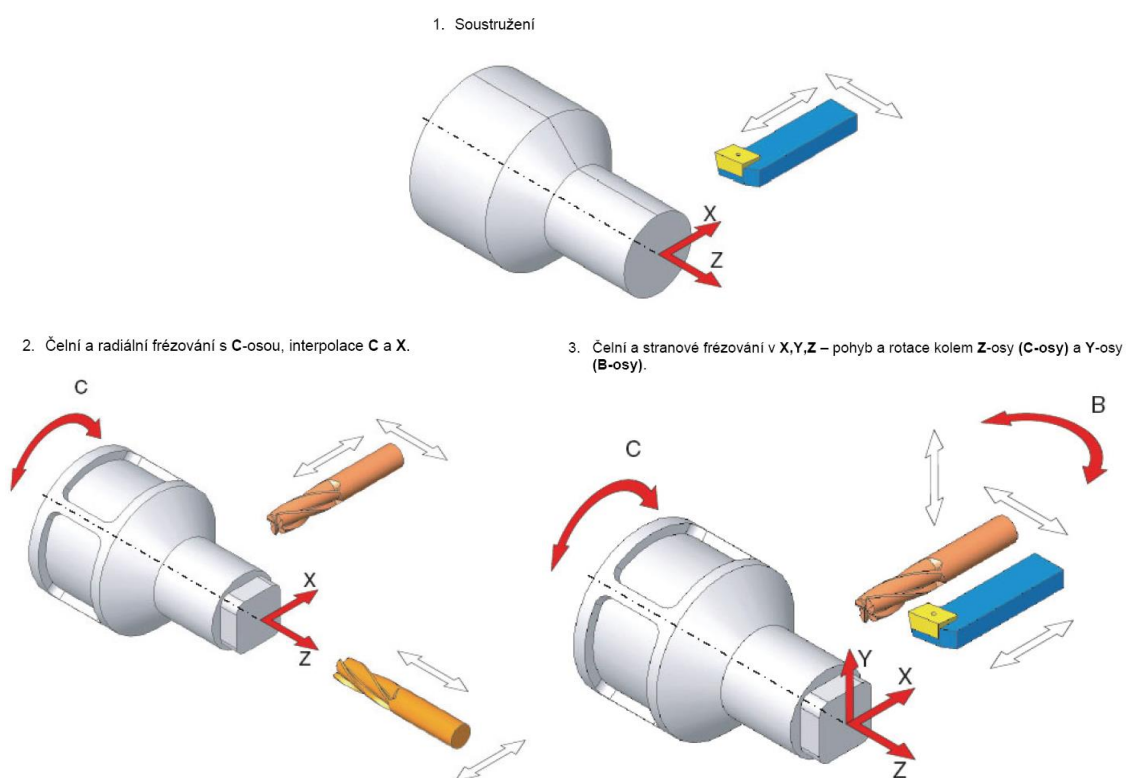


Obr. 4.18 Radiální obrábění - využití osy C a Y

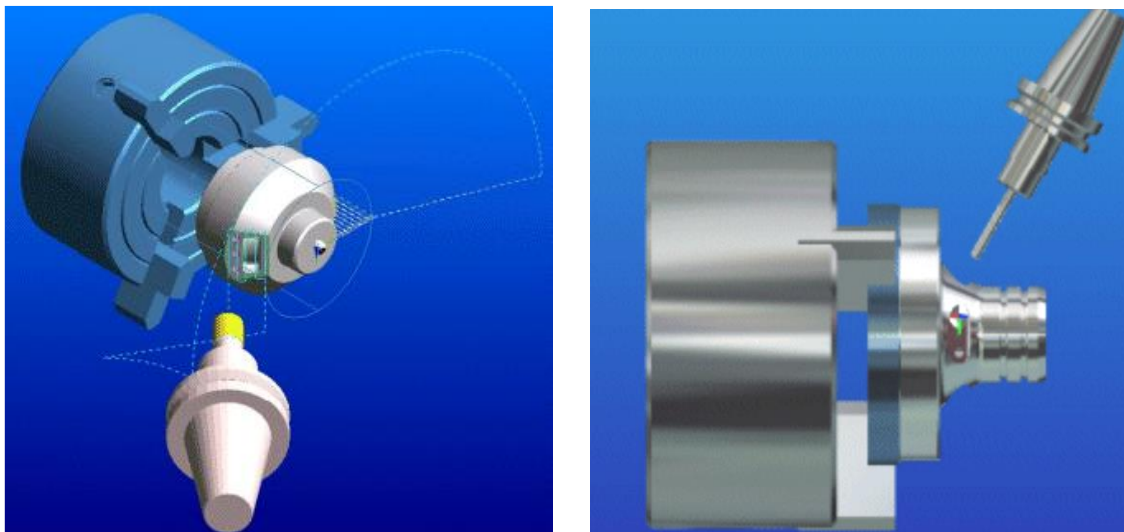
Soustružení s B-osou dovoluje natočit hlavu s nástrojem šikmo a provádět frézování s poháněným nástrojem v rovinném režimu při zastaveném otáčení vřetena soustruhu. V rotačním režimu kombinuje pohyby natáčení vřetena (kolem Z osy) a pohyb v X, Y, Z a rotací kolem Y osy – tedy využití osy B, viz následující obrázek.



Obr. 4.19 Kinematika 5osého soustružnického obráběcího centra s vodorovnou osou (typ XYZCB) [20]



Obr. 4.20 Možnosti obrábění na 5osém soustružnicko-frézovacím centru (typ XYZCB) [20]



Obr. 4.21 Soustružení s využitím osy B

4.5.4 Soustružení s využitím druhého vřetená - protivřetená

Moderní soustružnická centra vybavená druhým vřetenem (protivřetenem) dovolují obrábět dílce z přední i zadní strany dílce. To lze automatickým předáním dílce z hlavního do vedlejšího (druhého) vřetená. Obrobek lze v průběhu obrábění natáčet a obrábět z dalších stran. Jestliže je soustružnické centrum navíc vybaveno dvěma nástrojovými hlavami, lze obrábět současně na obou vřetenech.



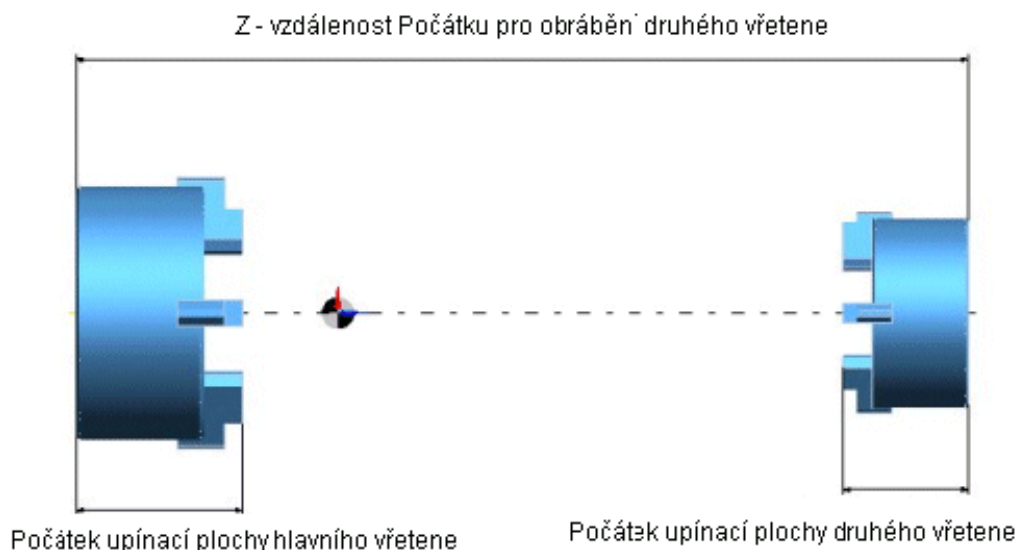
Nutno zapamatovat

Pro druhé vřetená se v praxi často používá pojem „protivřetená“.

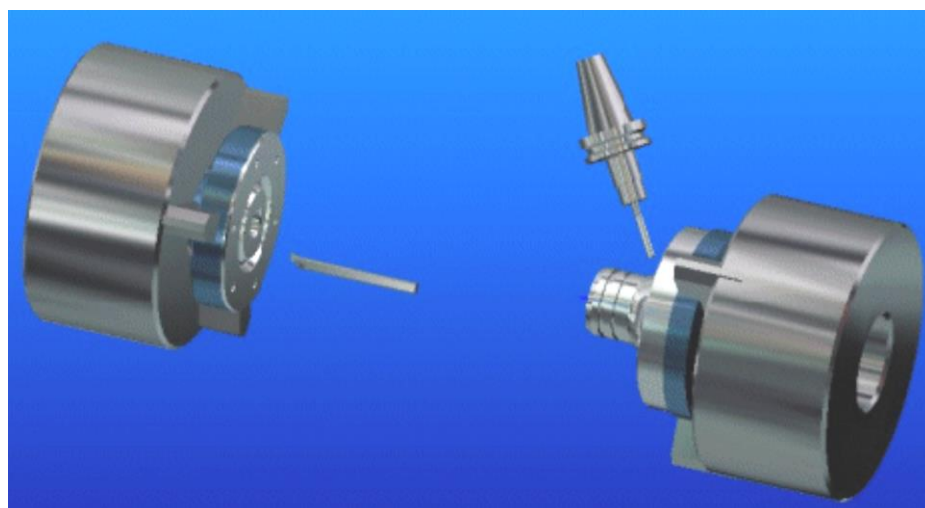


Výhody

Výhodou těchto obráběcích strojů (programované většinou pomocí CAM systémů) je schopnost kompletně v jedné operaci obrobit celou součást, tedy obrobit součást „najednou“.



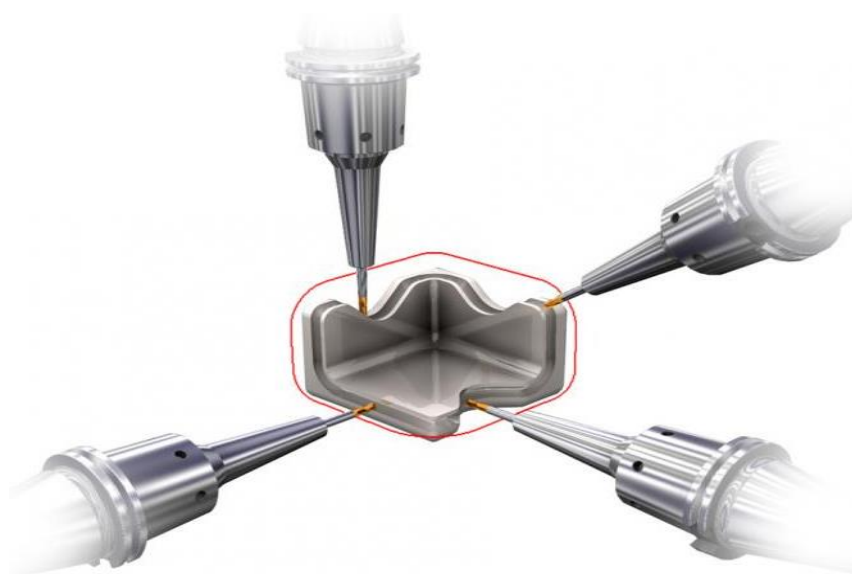
Obr. 4.22 Nastavení parametrů pro soustružení s využitím druhého vřetena



Obr. 4.23 Soustružení s využitím druhého vřetena [21]

4.6 Kinematika víceosých frézovacích center

Víceosé obrábění se nejčastěji spojuje s operací frézování. Frézování víceosé zahrnuje technologii frézování s použitím více jak tří os. V obecném podvědomí známé jako frézování ve více jak 3osách současně, avšak pro definici víceosého frézování současný pohyb ve zmiňovaných osách není podmínkou [16]. Nejběžněji označovanou technologií víceosého frézování je 5osé frézování, ale může být jím také frézování 4osé. Tuto lze provádět na tzv. víceosých CNC obráběcích strojích – víceosých frézovacích centrech. Existují také případy víceosého obrábění s použitím 9 os a byly dokonce postaveny obráběcí stroje s více jak 100 osami [16].



Obr. 4.24 Ukázka 5osé frézování [23]

5osé frézování je velice progresivní technologie CNC obrábění tvarových ploch. Při 5osém plynulém frézování se nástroj může pohybovat současně v pěti osách. Je možné obrábět plochu s jakoukoli orientací. To lze realizovat plynulým natáčením vřeteníku, natáčením obrobku, nebo rozdělením natáčení mezi vřeteník a obrobek. Obrábění pomocí souvislých (plynulých nebo také kontinuálních) 5 os umožňuje současný pohyb lineárních i rotačních os obráběcího stroje.

Kinematikou víceosých strojů se rozumí definice pohybu jednotlivých částí obráběcího stroje. Lineární pohyby se realizují podle os X, Y, Z. U víceosého frézování se k těmto osám přidávají pohyby rotačních os A, B, C. Podle kinematiky stroje získáváme v NC programu kromě lineárních os X, Y, Z ještě rotační osy A, B, C. Zápis 5osé dráhy do NC programu vypadá následovně, např jeden blok NC programu [18]:

55 L X-17.838 Y-3.196 Z-2.810 B-15.098 C-58.923.

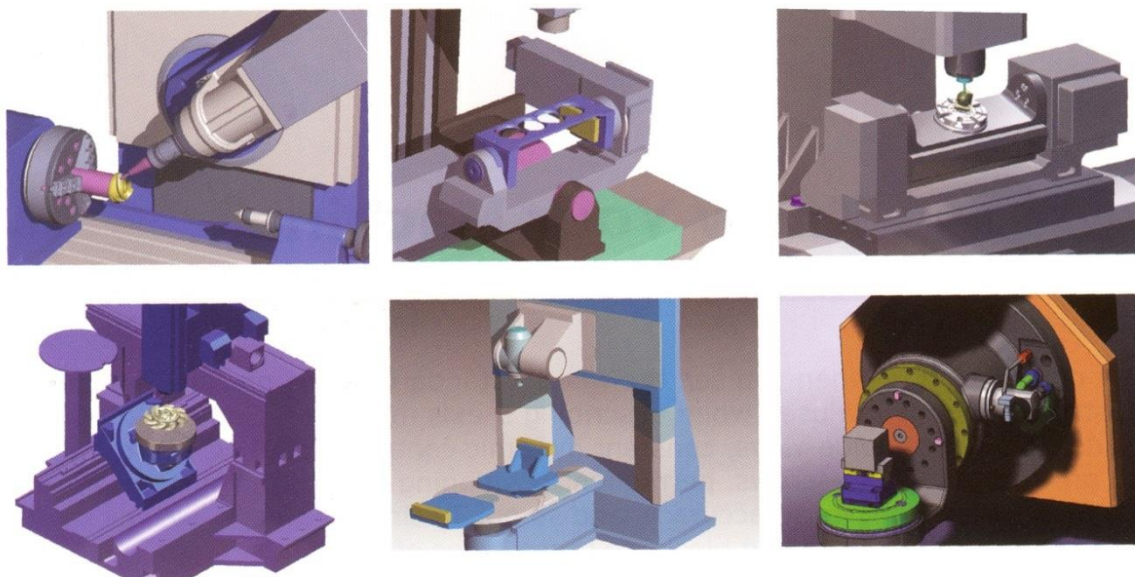
Kde ve významové části slova (za x, y, z) jsou zapsány souřadnice bodu pohybu nástroje a za B a C jsou úhly natočení rotačních os.

V praxi se lze setkat s celou řadou kinematických konfigurací uspořádání lineárních a rotačních os na stroji, viz následující obrázek.

Základní rozdělení konstrukce víceosých obráběcích strojů z hlediska rozdělení pohybu mezi obrobkem-stolem a vřetenem-nástrojem, je v praxi označována:

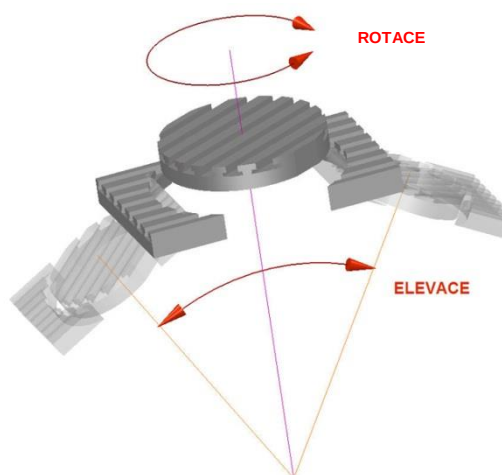
- Stůl-stůl; Víceosé stroje vyvozují rotační pohyby dvojitém otočným stolem. Primární otočný stůl nese sekundární.
- Hlava-stůl; Víceosé stroje vyvozují rotační pohyby stolem, který nese obrobek, a vřeteníkem s naklápějícím nástrojem.
- Hlava-hlava; Dochází k pohybu obráběcí hlavy stroje (vřeteníku) -

v orientovaném úhlu a elevaci. Obrobek je stacionární.



Obr. 4.25 Příklady typického uspořádání víceosých obráběcích strojů

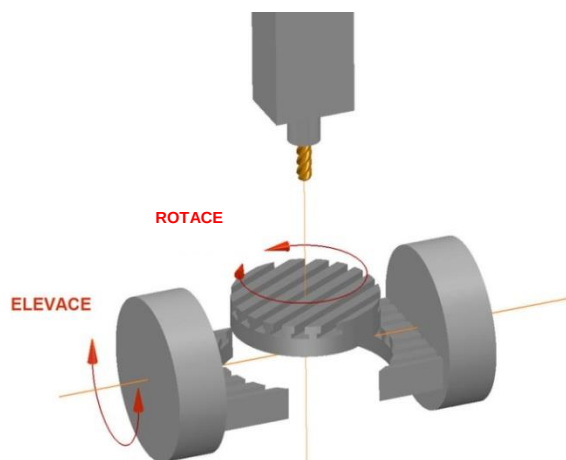
U koncepce strojů **stůl-stůl** jsou rotační pohyby v orientovaném úhlu i elevace zajištěny rotačně sklopným stolem obráběcího stroje, viz následující obrázek. Osa elevace může být umístěna buď vertikálně, anebo i pod úhlem. Zpravidla to bývá úhel 45°. Výhodou koncepce stůl-stůl je kromě tuhosti také snadný odjezd od obrobku v jakékoliv fázi obrábění, jelikož pohyb v ose Z je realizován vřetenem, které má vždy pouze vertikální směr. Víceosé obráběcí stroje stůl-stůl mohou být vertikální nebo horizontální. Mezi typické představitele této koncepce patří např. DMG, Huron [18].



Obr. 4.26 Kinematika víceosých obráběcích strojů stůl- stůl [18]

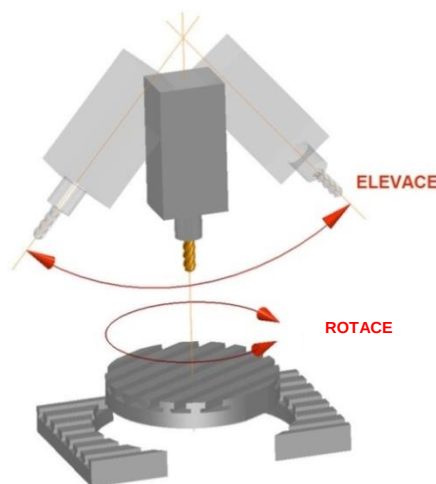
Je možné se také setkat s konfigurací velmi podobnou ke konfiguraci stůl-stůl, tím je stůl-stůl-kolébka, viz následující obrázek. Rozdíl je pouze v uchycení stolu obráběcího stroje, které je realizováno na obou koncích stolu, většinou orientovaného podle osy X. Tento tzv.

kolébkový stůl je se dvěma rotačními osami integrovanými do konstrukce spodního lože stroje a s lineárními osami nejčastěji v konfiguraci horního gantry. Mezi typické představitele této koncepce patří např. Kovosvit MAS, Hermle, Mazak, Quasar [18].

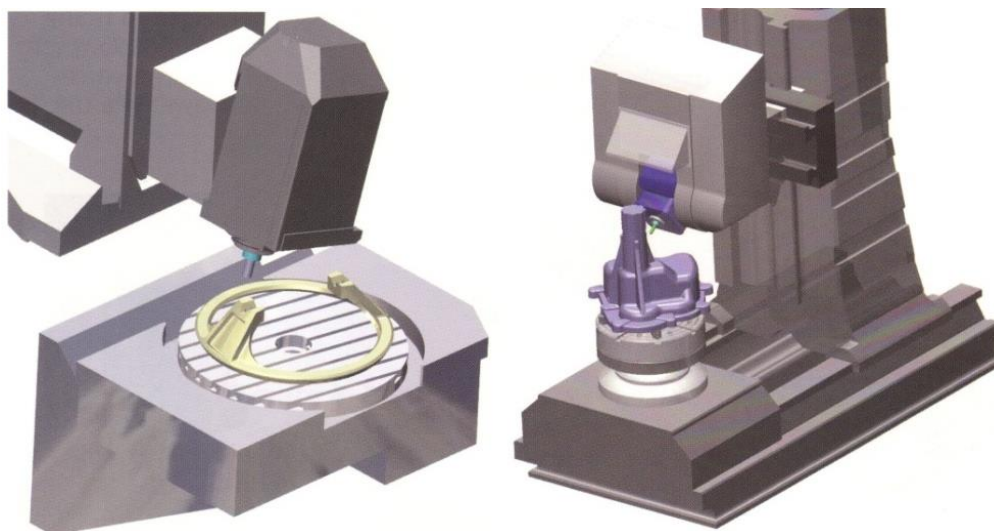


Obr. 4.27 Kinematika víceosých obráběcích strojů stůl- stůl- kolébka [18]

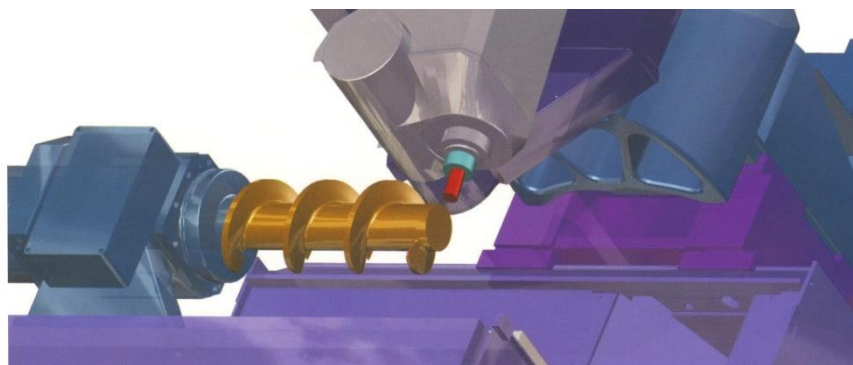
Koncepce strojů **hlava-stůl** rozděluje rotační pohyby mezi vřeteník a stůl obráběcího stroje, viz následující obrázek. Hlava vykonává rotaci podle úhlu elevace. Druhou rotaci zajišťuje rotační stůl. Tato koncepce je tužší než konfigurace hlava-hlava. Kromě větší tuhosti je také možné využít neomezených limitů úhlu elevace rotačního stolu. Tato konfigurace je vhodná jak pro různé případy obrábění součástí pro letecký a automobilový průmysl, které nejsou dlouhé. Při upnutí do sklíčidla s podporou koníku je tato konfigurace vhodná také pro obrábění velmi dlouhých rotačních částí, např. obrábění šneku pro vstřikovací lisy. Mezi typické představitele této koncepce patří DMG, Roeders [18].



Obr. 4.28 Kinematika víceosých obráběcích strojů hlava-stůl [18]

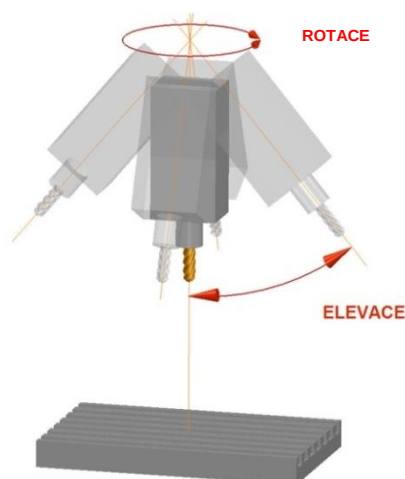


Obr. 4.29 Příklad obrábění součástí pro letecký a automobilový průmysl s konfigurací hlava- stůl [16]



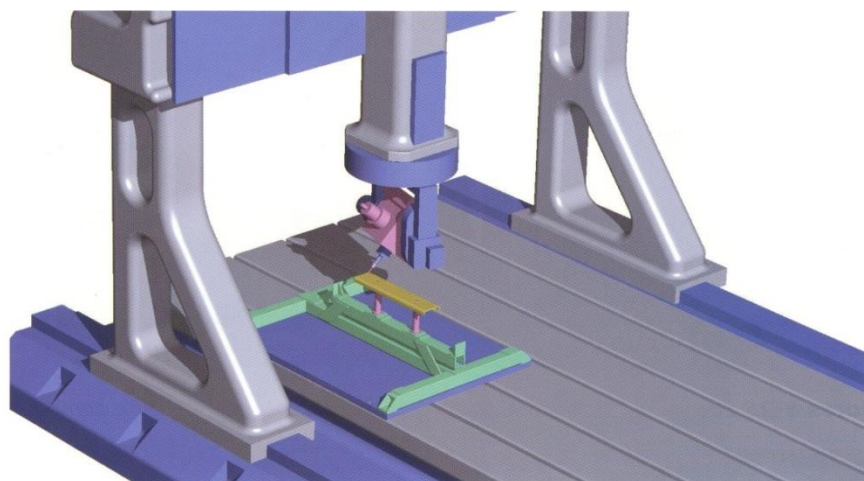
Obr. 4.30 Příklad obrábění dlouhých součástí (šnek pro vstřikovací lisy) s konfigurací hlava- stůl [16]

Realizace dvouosého natáčení vřeteníku (konfigurace **hlava-hlava**) je účelná hlavně u strojů s velmi rozměrnými, nebo protáhlými obrobky, jejichž umístění na otočném a sklopném stole není reálné. Tato koncepce se často používá u portálových obráběcích strojů s velkými pojezdy. Nevýhodou bývá menší tuhost vřeteníku a také omezení úhlu, kdy u některých strojů není možné obrábění po spirále, díky omezení úhlu pouze na hodnoty kolem 360°, viz obr.12. Mezi typické představitele této koncepce patří např. TOS Kuřim, Rambaudi, Fidia, CMS [18].



Obr. 4.31 Kinematika víceosých obráběcích strojů hlava- hlava [18]

Velmi rozšířená je tato koncepce hlava-hlava také u portálových víceosých obráběcích strojů. Tyto stroje jsou vhodné pro obrábění dlouhých součástí (v leteckém, ropném a dřevařském průmyslu). Záměnou frézovacího nástroje za řeznou hlavici laseru, plazmy, nebo hlavici pro řezání vodním paprskem, vznikne širší záběr těchto obráběcích strojů. Ukázka této koncepce je na následujícím obrázku.



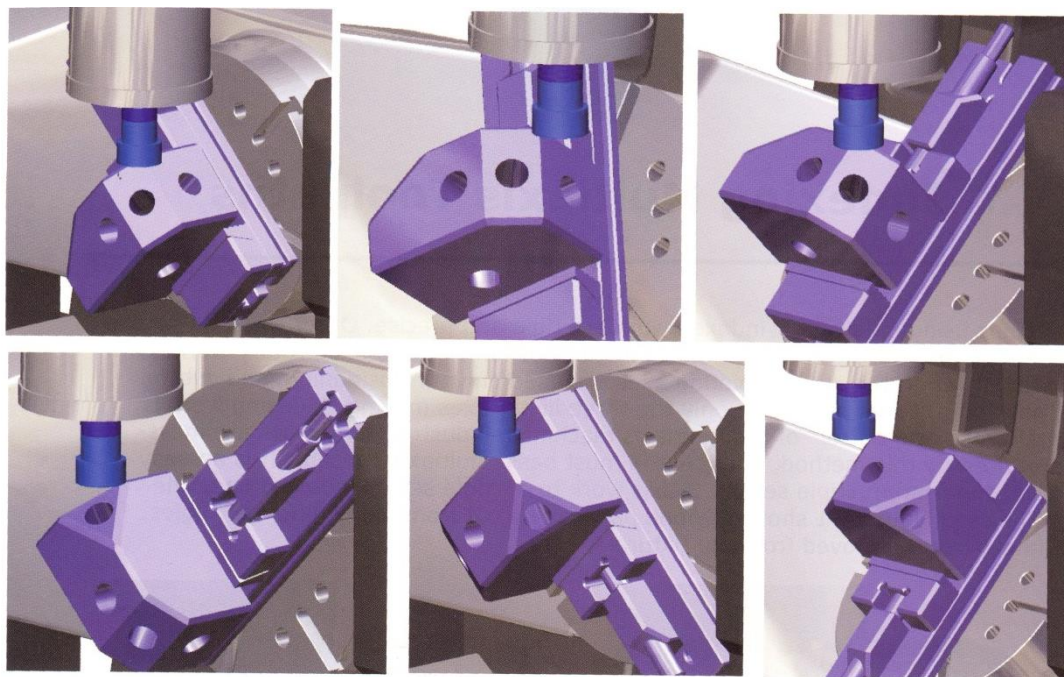
Obr. 4.32 Obrábění součástí na portálovém hlava-hlava obráběcím stroji, kombinace abrazivní vodní paprsek/frézování [16]

Pro HSC aplikace je třeba naklápět integrované vřeteno jako celek, nikoli přivádět pohyb k vřetenu přes naklápěcí kuželové převody. Gyroskopické efekty HSC vřeten a požadavky rychlého odstraňování třísek se spíše příklání pro dvouosé natáčení obrobku upnutého na otočném stole. Velmi se rozšiřuje koncepce otočného stolu uloženého ve sklopné „kolébce“, která je využitelná v kombinaci s vertikálním i horizontálním vřetenem [13].

Je důležité se zmínit o tzv. indexování. Je mnoho různých typů obráběcích center, které mohou současně obrábět např. ve třech osách a v dalších dvou osách dochází jen k polohování součásti mimo samotný řez. Při 3osém frézování používá obráběcí stroj tři

lineární osy. Při 5osém polohovém frézování jsou přidány další dvě rotační osy. To je často označováno jako 3+2 obrábění. Obrábění 3+2 odkazuje na tři lineární osy, které jsou ovládány současně a dvě osy rotační, pomocí kterých lze vřeteník přesunout na novou pozici a pak teprve obrábět. Poté, co je vřeteník v nové pozici, provádí se klasické 3osé frézování. Tento typ obrábění může pohybovat pouze lineární osou nebo osou rotační (nelze tedy provádět oba pohyby zároveň).

Mnoho součástí je vyráběno touto metodou, tzv. indexování, avšak pro typ výroby forem a zápuštěk není indexace efektivní. Tato metoda je výhodná pro hrubovací fáze výrobního postupu. Pro dosažení větší tuhosti je doporučováno při hrubování zablokovat rotační osy. Dvě rotační osy jsou nejprve nastaveny do požadovaných poloh a následně zablokovány, pak tedy dochází ke klasickému 3osému frézování. Zablockováním rotačních os lze dosáhnout vyšší tuhosti než při 5osém simultánním frézování. Proto metoda indexování při hrubování je považována za přesnější, než simultánní frézování ve více osách.



Obr. 4.33 Příklad obrábění dílu s různých úhlů bez nutnosti přepínání při tzv. indexování [16]

4.7 Vztažné body CNC obráběcích strojů

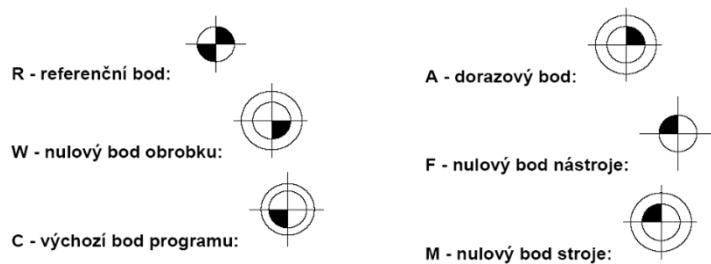
V pracovním prostoru CNC stroje jsou definovány tzv. vztažné body, které umožňují určit vzájemnou polohu obrobku a nástroje vzhledem k pracovnímu prostoru stroje. Vztažné body CNC obráběcího stroje jsou:

- **W - nulový bod obrobku**, Je bod, ve kterém je umístěn počátek souřadného systému ze kterého se vychází při programování. Lze ho libovolně měnit. Je

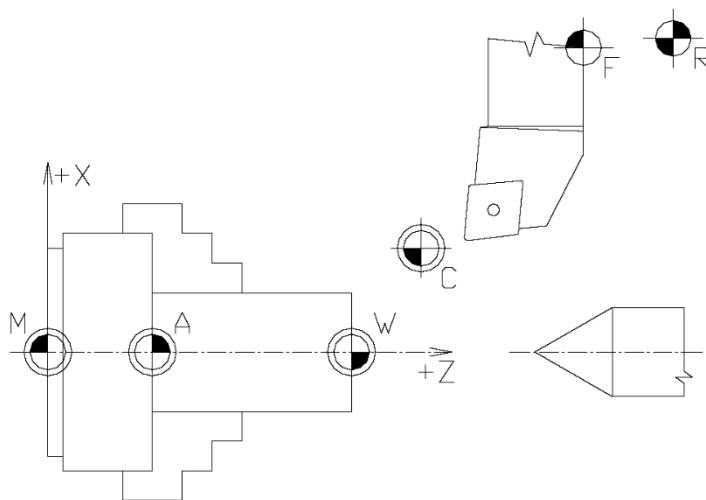
nutné zajistit vhodnou polohu pro soustružení a to umístěním součásti tak, aby nulový bod obrobku byl umístěn dle jistých zákonitostí a zažitých konvencí. Umístění nulového bodu určuje programátor způsobem, který je závislý na použitém řídicím systému stroje a kinematiky stroje, způsobu programování, zažitých konvencí. Nejčastější umístění nulového bodu obrobku při frézování je na nejvyšším místě (popř. v rohu, v ose nálitku apod.) obráběné součásti, nebo na polotovaru.

- **M - nulový bod stroje**, je pevně dané výrobcem obráběcího stroje. Nelze ho tedy měnit. Je nastaven v postprocesoru. Referenční bod stroje se nastavuje vzhledem k absolutní nule stroje (nulový bod stroje). Do referenčního bodu najíždí nástroj při zadání funkce vjezd do reference, což je nutné při tzv. ztrátě souřadného systému. K tomu může dojít při havarijním zastavení stroje, nebo např. při výpadku elektrického proudu. Vzdálenost mezi nulovým bodem stroje a referenčním bodem určuje pracovní prostor stroje. Reference se tedy nachází v maximálním rozměru pracovní části stroje.
- **F - nulový bod nástroje** (nulový bod nosiče nástroje), je bod na upínací (dosedací) ploše nosiče nástroje (například konec vřetena v ose vřetena). V nulovém bodě nástroje F má nástroj nulové rozměry, proto je nutné skutečnou dráhu nástroje korigovat. K tomuto bodu se vztahují korekce nástroje.
- **R - referenční bod**, je dán výrobcem stroje. Je umístěn v pracovním prostoru stroje. Určuje maximální možnou vzdálenost od nulového bodu stroje a je dan koncovými spínači v jednotlivých osách. Po najetí do referenčního bodu obráběcí stroj rozpozná svou polohu - „rozpozná, kde je“. Vzdálenost referenčního bodu od nulového bodu stroje je uložena v tabulce strojních konstant. Bez najetí referenčního bodu nemůže stroj v režimu absolutního zadání souřadnic pracovat.
- **A - dorazový bod**, je bod, na který dosedá součást v upínací (např. v tříčelistovém sklíčidle)
- **C - výchozí bod programu**, je počátečním bodem programu (výchozí pozice nástroje). Lze ho libovolně s ohledem na pracovní prostor stroje určit. Stanovuje se tak, aby mohla být prováděna bez omezení výměna součásti nebo nástroje, případně mohla být provedena kontrola součástí.

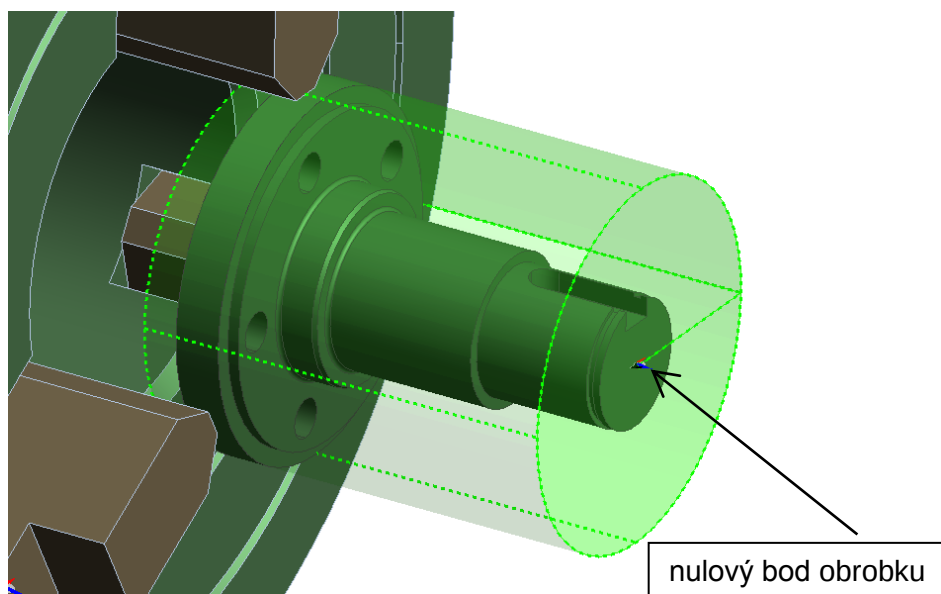
Následující obrázek ukazuje smluvené značení vztažných bodů NC/CNC obráběcího stroje.



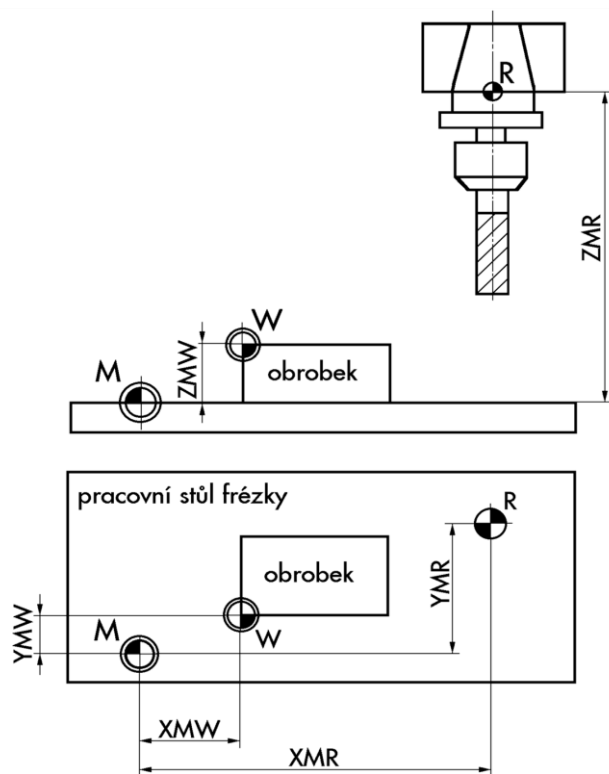
Obr. 4.34 Symboly a značení vztažných bodů NC/ CNC obráběcího stroje



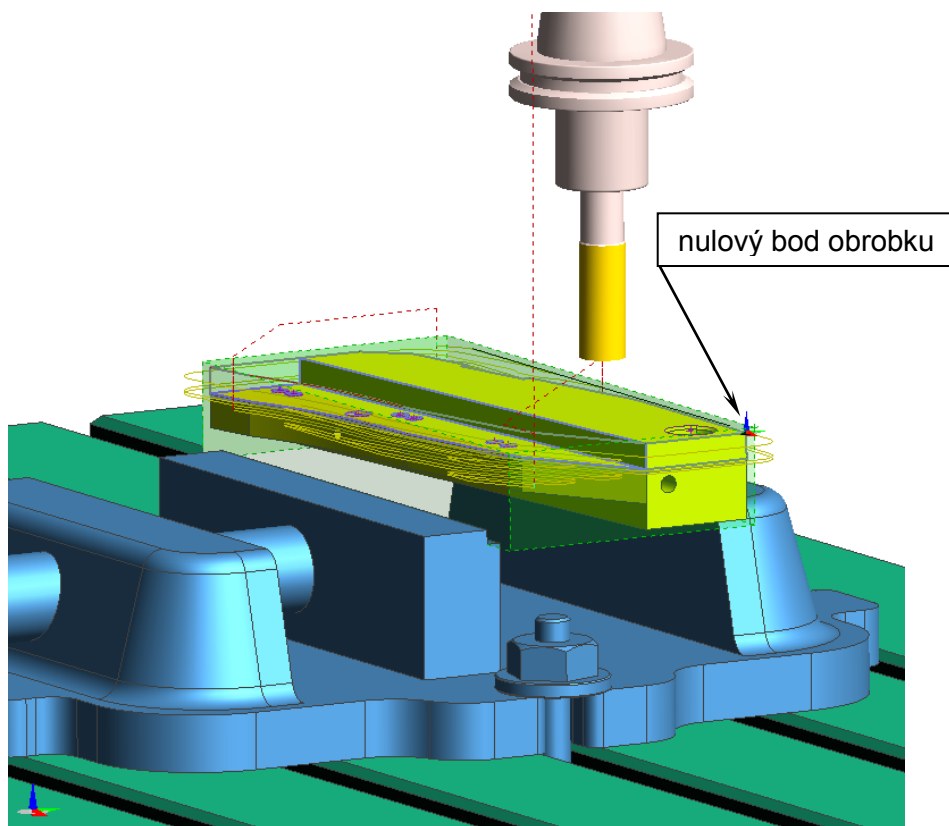
Obr. 4.35 Vztažné body CNC stroje při soustružení



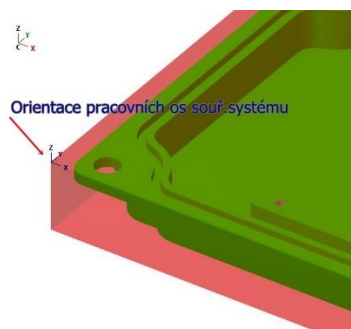
Obr. 4.36 Příklad umístění nulového bodu obrobku u soustružení



Obr. 4.37 Vztažné body a orientace os při frézování s okótovanými vzdálenosti mezi body



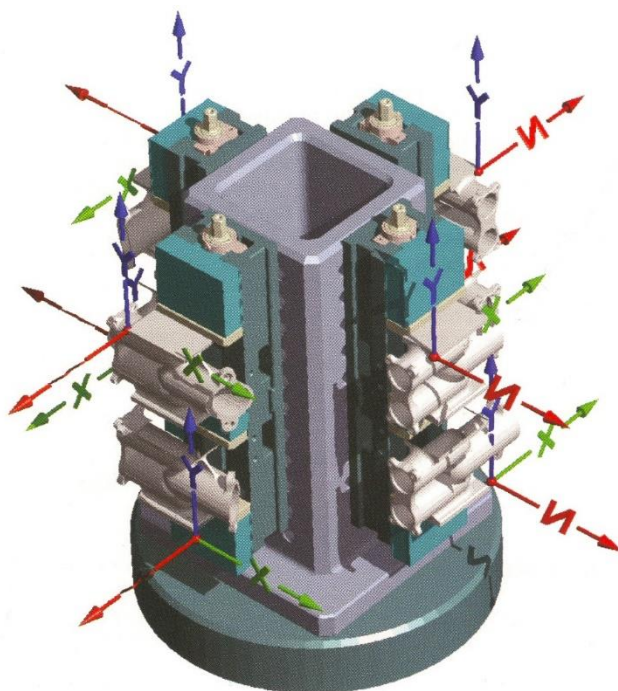
Obr. 4.38 Příklad umístění nulového bodu obrobku u frézování



Obr. 4.39 Příklad umístění nulového bodu obrobku u frézování

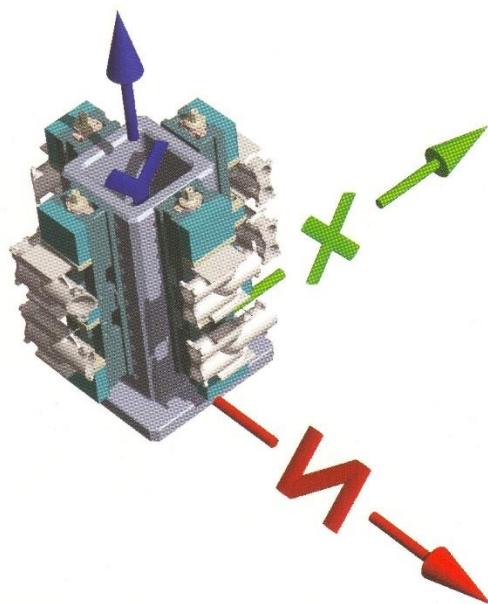
Je důležité upozornit, že při obrábění dílce, nebo více dílců najednou, může být využito více nulových bodů, v závislosti na složitosti dílce a způsobu obrábění. Například pro indexované frézování se používá několik nulových bodů pro jednotlivé dílce, nebo jejich různé strany (plochy).

Následující obrázek ukazuje sloupový upínací přípravek (věž) s jednotlivými obráběnými díly a jejich nulovými body. Každý díl na přípravku má svůj vlastní nulový bod obrobku. Řada programátorů preferuje tento způsob zadání nulových bodů obrobků.

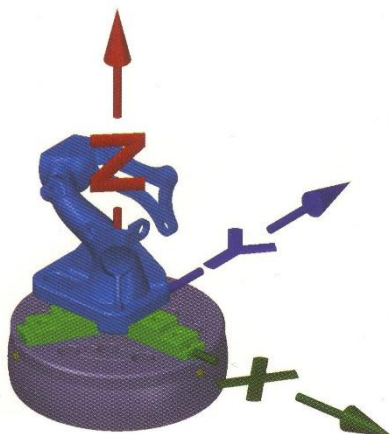


Obr. 4.40 Zobrazení více nulových bodů při indexovaném obrábění více dílů najednou [16]

Druhou možností je využití jednoho (centrálního) souřadného systému pro celé obrábění, viz následující obrázek. Použitelnost obou způsobů závisí na osobní preferenci operátora / programátora.



Obr. 4.41 Zobrazení jednoho (centrálního) nulového bodu při indexovaném obrábění více dílů najednou [16]



Obr. 4.42 Zobrazení jednoho (centrálního) nulového bodu při obrábění jednoho dílu [16]

5. ASPEKTY PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Důležitým faktorem z hlediska efektivnosti obrábění je použití moderních obráběcích strojů. Metody a systémy adaptivního řízení, aktivní kontroly, diagnostiky a jejich nasazení na obráběcích strojích spolu s CAD/CAM systémy jsou předpokladem jak pro bezobslužný provoz vysoce automatizovaných strojů, tak pro zajištění požadované přesnosti a spolehlivosti výroby a zvýšení ekonomických efektů.

Následně jsou uvedeny některé nadstandardní úkony a vylepšení, které lze na moderních obráběcích strojích vykonávat:

- adaptivní řízení,
- aktivní kontrola,
- diagnostika,
- kompenzace deformace nástroje,
- aktivní kontrola rozměrů obrobku,
- identifikace stavu řezných nástrojů v průběhu řezného procesu,
- identifikace stavu a seřízení nástrojů mimo řezný proces,
- minimalizace teplotních deformací rámu strojů, aj..

Úkony, jako je možnost efektivně ovlivnit najetí a vyjetí bříty ze záběru, korekce správného odvodu třísek a zabraňování jejich hromadění, umožnění sklonu vřetene frézky z důvodu zabránění tzv. dořezávání frézy, by měli patřit mezi běžné úkony při obrábění.

Řídicí systém je nedílnou součástí CNC stroje. Nově vyvinuté softwary umožňují řídit až 40 os, z toho 24 současně. Nově vyvinutý vysokorychlostní řídicí systém AI Nano CNC s vestavěnou sekvenční řídicí jednotkou PMC (Programmable Machine Control) dokáže vykonat jeden krok programu logického řízení za 25 ns a při tom lze vykonávat tři programy současně. Díky tomuto výkonu a funkčnosti je tedy ideální pro nejnovější špičkové stroje, které vyžadují komplexní funkce pro práci s více osami a více kanály při vysoké rychlosti pohybů.

Požadavky kladené na CNC řídicí systémy jsou:

- rychlost a přesnost,
- funkce ovládání,
- komunikace s okolím,
- diagnostika.

5.1 Výhody využití pokročilých řídicích systémů

Pokročilé řídicí systémy s propracovaným dílenským programováním obsahují v současnosti celou řadu funkcí pro efektivní obrábění. Zmiňované funkce zlepšují nejen přesnost a rychlost obrábění, ale také přesnost (eliminace chyb) a rychlost programování.

Mezi výhody použití pokročilých řídicích systémů a výhody dílenského programování v těchto řídicích systémů patří např.:

- 1) Jednoduchost programování – jsou uživatelsky intuitivní. Tím skrčuje čas potřebný pro zhotovení NC programu daného dílce.
- 2) Použitelnost pro programování jednoduchých ale i složitých tvarů.
- 3) Programovat lze přímo na stroji, nebo na programovacím pracovišti, odkud se následně program nahraje do stroje.
- 4) Pro jednoduché úseky (např. frézování rovinných ploch) není nutné vytvářet NC program, ŘS umožňuje obrábění i v ručním režimu pomocí ručního kolečka.
- 5) Programovat lze přímo na stroji, nebo na programovacím pracovišti, odkud se následně program nahraje do stroje.

Výhodou je programování pomocí stanice, kde je možnost programovat stejně jako na obráběcím stroji. Pracuje se s obvyklým TNC ovládacím panelem, stejným jako je na stroji.

Tyto programovací pracoviště plně nahrazují dílenské programování na obráběcích centrech. Nejedná se tedy o pouhou simulaci vytváření NC programu mimo obráběcí stroj, tak jak se tomu často děje s využíváním PC s nainstalovaným řídicím systémem. Dílenské programování na programovací stanicích se simulací a testováním programu probíhá stejně jako na reálném stroji. Tento způsob plně nahrazuje programování na obráběcím stroji. Konfigurace programovacích pracovišť je s naprostou stejnou originální klávesnicí a designem obráběcího stroje.

Tyto programovací stanice se s výhodou využívají při výuce programování. Většinou jsou umístěné v přímé linii se stroji a dávají studentům reálný pocit programování jako u obráběcího stroje.

6) Možnost korekce nástroje:

- možnost délkové korekce nástroje,
- možnost průměrové/poloprůměrové korekce nástroje,
- kontrola zalomení nástrojů,
- kontrola jednotlivých břitů a tvaru břitů,
- možnost zjištění opotřebení nástroje.

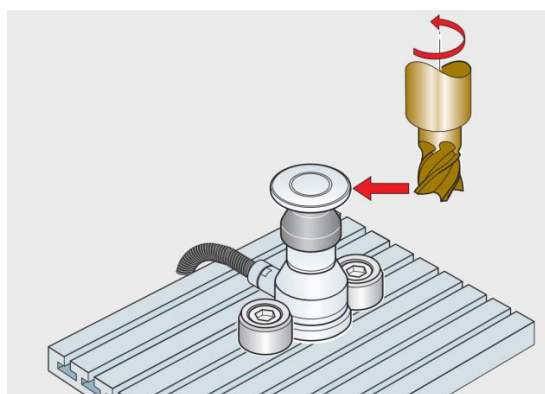
Řídicí systémy umožňují korekci dráhy nástroje o korekční hodnotu pro délku nástroje v ose nástroje a pro rádius nástroje v rovině obrábění. Lze využít délkovou a průměrovou/rádiusovou korekci, kterou lze zjistit pomocí nástrojové sondy.



Obr. 5.1 Měření délky, poloměru a opotřebení nástroje pomocí nástrojové sondy [15]

Změření nástroje a automatická oprava korekcí nástroje probíhá pomocí nástrojové dotykové sondy, která je připevněna na pracovním stole frézky a během obrábění je možnost zjištění a uložení hodnot délky a poloměru nástroje do centrální paměti nástrojů.

Vytvrzený dotykový terčik nástrojové sondy umožňuje kontaktní snímání rotujícího nástroje po hřbetu (proti směru břitů).

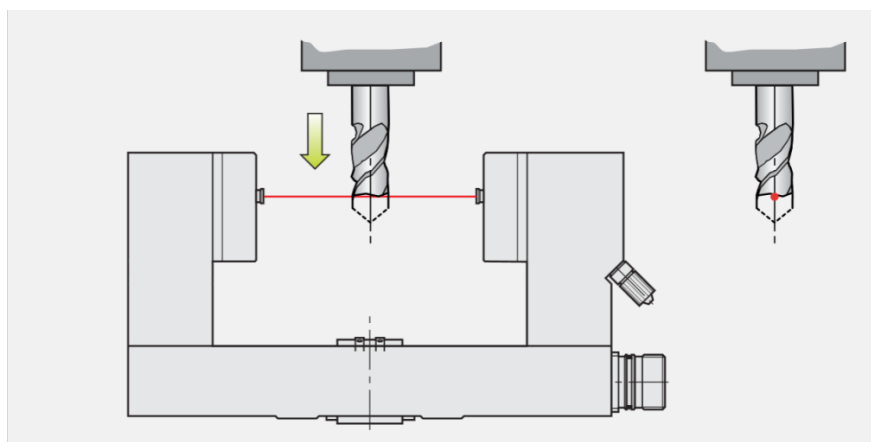


Obr. 5.2 Kontaktní snímání rotujícího nástroje [15]

Kontrolou nástroje během obrábění lze zjistit také opotřebení nebo zlomení nástroje. Jsou-li zjištěné odchylky větší než zadaná tolerance, nebo když nástroj překročil svoji životnost, řídicí systém nástroj zablokuje a vymění ho automaticky za stejný, nebo obdobný nástroj, pokud je tedy dostupný.



Obr. 5.3 Kontrola jednotlivých břitů a tvaru břitů laserovou sondou [15]

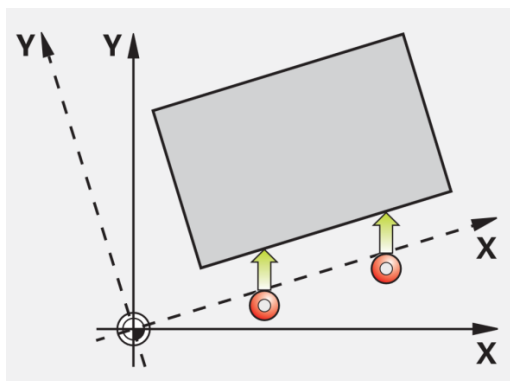


Obr. 5.4 Kontrola zalomení nástrojů metodou laserovou sondou [15]

- 7) Využití podprogramů.
- 8) Vyrovnávání obrobků pomocí obrobkové sondy.

Při samotné výrobě operátor nastavuje obrobek na stůl stroje. Může k tomu využít různých přípravků, měřidel (mechanických, optických) apod. Pro ustavení obrobku na obráběcím stroji lze využít také různých typů sond. Sonda identifikuje polohu a natočení obrobku vzhledem k souřadnému systému stroje. Na základě zjištěných údajů může řídicí systém automaticky posunout počátek souřadného systému do nalezeného bodu a natočit jej podle aktuální polohy obrobku.

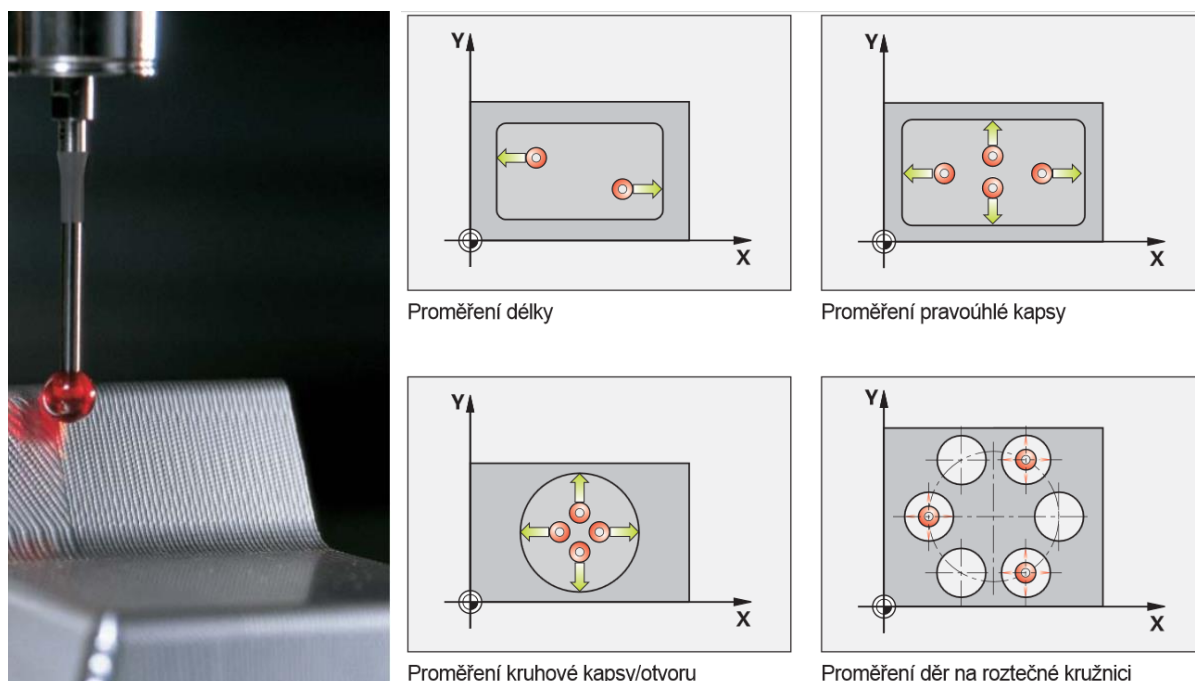
Využitím sond se eliminují chyby operátora stroje, snižuje se zmetkovitost výroby a zvyšuje se přesnost a produktivita obrábění.



Obr. 5.5 Kompenzace šikmého ustavení obrobku pomocí základního natočení souřadného systému [15]

9) Měření rozměru součásti přímo na obráběcím stroji pomocí sond.

Rozměrová kontrola opracování a také kontrola komplexního opracování je řešena pomocí měřících cyklů. Ty umožňují zkontrolovat geometrii dílce 3D dotykovou sondou, která se upne do vřetene stroje místo řezného nástroje. Po vyvolání příslušného měřícího cyklu (programu) se zkontroluje zda bylo obrobení provedeno rozměrově správně a případně zjistí korekce na doobrobení dílce načisto. Řídící systém tedy vyhodnotí rozměrové odchylky vzhledem k modelu součásti a operátor obráběcího stroje odsouhlasí provedení korekci, které zajistí následné přesné obrobení rozměrů dílce. Je zde i možnost vyhotovení měřících protokolů.



Obr. 5.6 Programové řízené měření obrobků mezi dvěma úseky obrábění, příklady měření [15]

- 10) Použití v dílenských provozech, ale také v automatizované výrobě, např. u výrobních center se zásobníky nástrojů a výměníků palet.
- 11) Dynamická kontrola kolizí.
- 12) Minimální čas zpracování NC bloku.
- 13) Rychlé opracování s předem zadanou přesností (zadání přípustné odchylky od ideální kontury)
- 14) Použití nanointerpolace – počítá žádanou hodnotu polohy v digitálním servosystému v nanometrech, i když je 1 μm nastaven jako přírůstek CNC.
- 15) Nezávislé ovládání os – umožňuje zadávat různé hodnoty maximální rychlosti a zrychlení jednotlivým osám. V minulosti nejpomalejší osa určovala a ovládala vyladění pro celý stroj.
- 16) Použití interpolace spline.
- 17) Kompresor programů – funkce, pomocí něhož lze programy vytvořené z lineárních bloků konvertovat přímo v systému do bloků spline.
- 18) Omezení zrychlení – funkce zajišťující omezení zrychlení. Je užitečná hlavně při obrábění oblouků s menším poloměrem. Velké oblouky dokáže stroj vyrobit rychle a přesně, zatím co u malých, z důvodu velkého zrychlení, existuje riziko odchýlení se od požadované kontury.
- 19) Automatická detekce rohů - při požadavku vysoké přesnosti, nástroj odpovídajícím způsobem zpomalí v oblasti rohů. Pokud přesnost nehraje významnou roli, může nástroj obrábět v této oblasti s větší rychlostí. Tato funkce umožňuje uživateli přizpůsobit práci stroje požadované přesnosti.
- 20) Funkce APC (Advanced Positron Control) – pomocí této funkce lze významnou měrou potlačit rezonanční frekvenci. Každý stroj má několik vlastních rezonančních frekvencí, které vznikají uvnitř stroje v různých místech. Tyto rezonance omezují maximální rychlost stroje a zhoršují kvalitu obráběného povrchu.
- 21) Ovlivnění zrychlení – pomocí zadaných příkazů lze ovlivňovat profil zrychlení. Např. povel Soft v řídicím systému Sinumerik 840D změní skokové zrychlení na lineární charakteristiku, čímž se prodlouží životnost stroje a zvýší se kvalita výrobku z důvodů potlačení rezonance stroje.
- 22) Funkce look-ahead - načítání bloků dopředu. Mezi různými typy řídicích jednotek posunu je rozdíl především v předem načítaných blocích. Čím složitější je jednotka, tím více bloků načítá dopředu. Např. u AICC, HPCC a Nano HPCC je počet načítaných bloků 40, 180 až 60 [19]. To je obzvláště důležité u vysokorychlostního obrábění, kde se zpracovávají velice malé bloky. Pokud se malé bloky zpracovávají rychle, velký počet načítaných bloků dopředu (look-ahead) zaručí, že v řídicí jednotce

bude dostatek dat. Nedostatek dat má za následek trhavý pohyb a tím i negativní vliv na výsledek obrábění. Nejnovější technologie umožnily dosáhnout rychlejších interpolačních cyklů, načítání až 1000 bloků dopředu pro přesnější řízení obrysu a dobu zpracování bloku 0,4 ms. Díky tomu, lze dosahovat vysoce kvalitního povrchu složitých forem s minimální nutností leštění po obrábění. V dnešní době jsou vyvíjeny speciální funkce CNC, které ovládají rychlost a posun, výrazně přispívají k dosažení vysoké kvality povrchu a k odstranění nutných dalších operací.

KAPITOLA 3,4,5 - LITERATURA

- [1] AMS-Metal Handbook-Machining, Vol. 16, ASM International, March, 1997, 9.ed.
- [2] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha, 1989. L13-B2-IV-41/22881.
- [3] CZÁN, A.; PILC, J.; ĎURECH, L.: *Zvyšovanie produktivity aplikáciou progresívnych rezných nástrojov*, Strojárstvo 1/2005, ISSN 1335-2938, str. 32-33
- [4] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu. (01 4450). Praha: Český normalizační institut Praha. 1999.
- [5] EL-HOFY, H. *Advanced Machining Processes – Nontraditional and Hybrid Machining Processes*. The McGraw-Hill Companies, 2005, ISBN 0-07-145334-2.
- [6] SADÍLEK, M. Vyspělé strategie ve 3D frézování, *MM Průmyslové spektrum*, 2004, č.12, s. 46,47. ISSN 1212-2572.
- [7] JANDEČKA, K. ; ČESÁNEK, J. ; KOŽMÍN, P.: Programování NC strojů. Plzeň, ZČU 2000.
- [8] KOŽMÍN, P. *Kdy nasadit NC technologie a CAM řešení*. Příspěvek na semináři pořádaný na KTO s firmou Expert&Partner. Plzeň, ZČU únor 2001.
- [9] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. VŠB – TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-5.
- [10] Řídicí systémy CNC-Dílenská výroba, [cit.2014-05-24]. Dostupné na: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/broker?uMen=2175d87f-13cb-701d-35a3-11c948b7234f>.
- [11] HEIDENHAIN: *Průvodce smarT.NC iTNC 530*. Německo: Traunreut, 11/2004, 121 s.
- [12] JANDEČKA, K. a kol. *Programování NC strojů*. Plzeň : ZČU Plzeň, 2000. 159s.ISBN 80-7082-692-4.
- [13] ZELENÝ, J. *Vliv HSC technologií na stavbu obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum, 2000, č.6, s. 24-27. ISBN 80-85986-19-1.
- [14] HEIDENHAIN: *Příručka uživatele - Popisný dialog Heidenhain iTNC 530*. Německo: Traunreut, 9/2005. 691 s.
- [15] HEIDENHAIN: *Dotykové sondy pro obráběcí stroje*. 2011, 72 s.
- [16] APRO, K. *Secrets of 5-Axis Machining*, Industrial Press, Inc. 989 Avenue of the Americas, New York, NY 10018, First Printing, August, 2008, pp. 172. ISBN 978-0-8311-3375-7.

- [17] ZELENÝ, Jr. *Vliv HSC technologií na stavbu obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum, 2000, č.6, s. 24-27. ISBN 80-85986-19-1.
- [18] <http://www.frezovani-5os.cz> – webové stránky o víceosém obrábění, [cit. 2010-7-10].
- [19] HILDER, T. *CNC-mozek stroje*. MM Průmyslové spektrum, 2003, č.5, s. 38-39. ISSN 1212-2572.
- [20] SOLIDCAM. *Zaškolovací kurz k modulu Frézování – Soustružení*, SolidCAM + SolidWorks, 2007, s 232.
- [21] SONETECH s.r.o. *Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje - EdgeCAM - Soustružení – EdgeCAM intelligent manufacturing*. Uživatelská příručka, 80 stran, pdf dokument, 2005.
- [22] HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno 2003, VUT Brno. 138 s.
- [23] DELCAM BRNO, s.r.o. 5-osé frézování. Delcam. [Online] 2010. [Citace: 26. 3 2011.] <http://www.delcam.cz/produkty/powermill/5-ose-frezovani/>.

6. PROGRAMOVÁNÍ NC STROJŮ



Odkaz na kapitolu

Způsoby programování CNC/NC obráběcích strojů popisuje kapitola 4.3
Způsoby programování číslicově řízených obráběcích strojů.

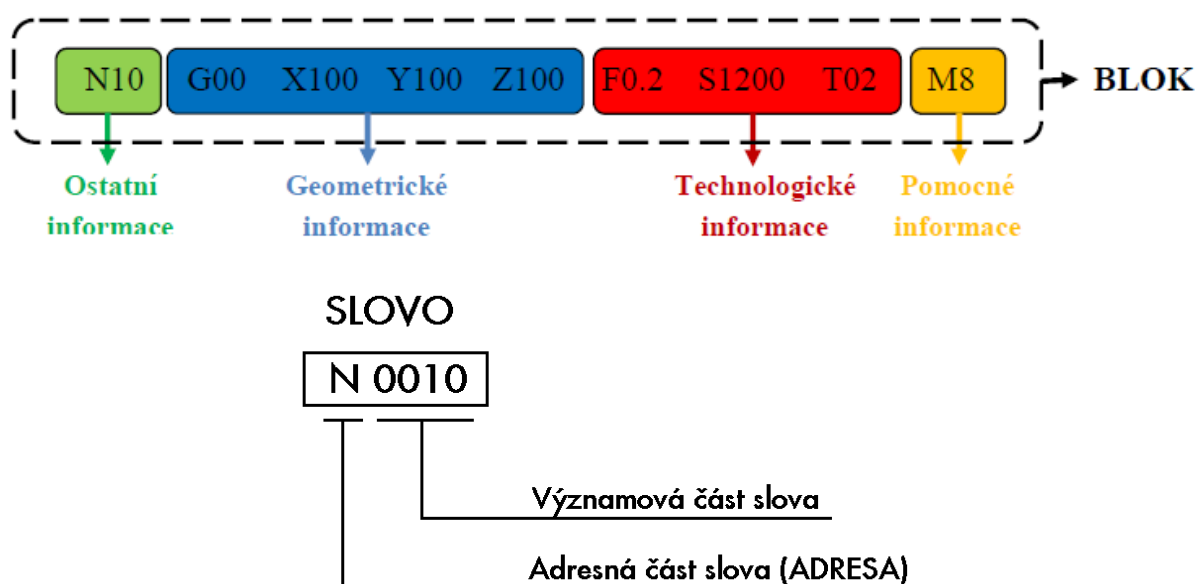
6.1 Struktura NC programu

Program se skládá z bloků (vět) viz níže. Tyto bloky obsahují takzvané „slova“ oddělené mezerou. Způsob řazení slov ve větě (bloku) udává formát bloku.



Odkaz na kapitolu

Tato kapitola rozšiřuje kapitolu 4.1 NC program.



Obr. 6.1 Rozbor věty a slova

Formát bloku :

Maximální velikost bloku udává formát bloku, který lze dělit podle délky na:

- Formát s konstantní (pevnou) délkou bloku.
- Formát s proměnnou délkou bloku – tabelovaný, adresný.

U formátu s konstantní (pevnou) délkou bloku má každé slovo přesně stanovenou polohu a to i v případě, že se funkce nevyskytuje nebo se opakuje v předchozím bloku, viz. obrázek. V případě formátu s proměnnou délkou bloku je možno vynechat slova, která se v bloku nevyskytují nebo se opakují v předchozím bloku.

N10 G00 X40 Y100 Z2 F50	N10 G00 X40 Y100 Z2 F50	N10 G00 X40 Y100 Z2 F50
N20 G00 X45 Y100 Z2 F150	N20 X45 F150	N20 X45 F150
Formát bloku s pevnou délkou	Formát bloku - tabelovaný	Formát bloku - adresný

Obr. 6.2 Příklad formátu bloku

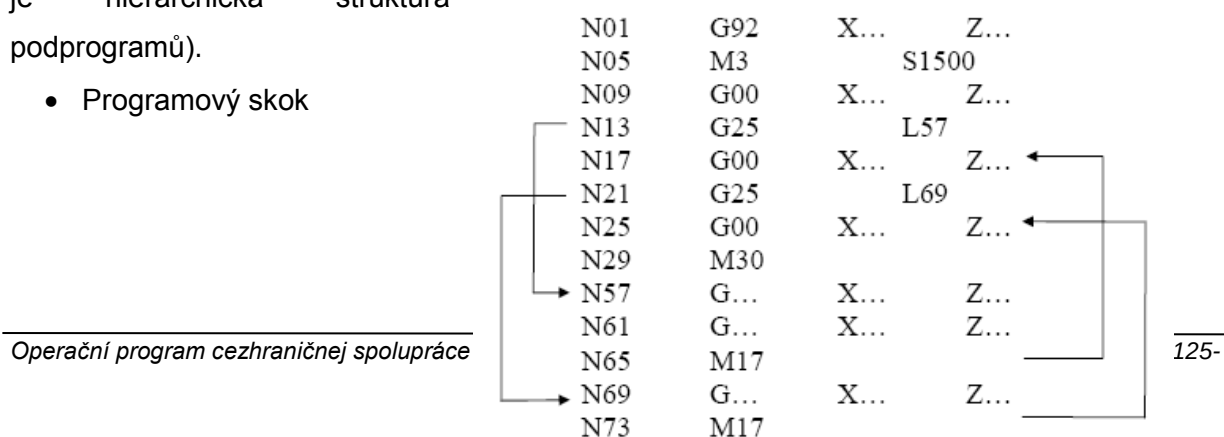
6.2 Členění programu :

- Začátek programu.
- Standardní věty pro daný řídicí systém a obráběcí stroj, jako je posouvání souřadného systému, definování neobrobeného polotovaru pro grafiku, atd.
- Věty pro opracování dané součásti:
 - technologické věty - naprogramování nástrojů, otáček, posuvů,
 - geometrické věty - souřadnice popisující dráhu nástroje v jednotlivých řízených osách,
 - smíšené věty,
 - cykly - hrubovací, závitovací, pro vrtání hlubokých otvorů, pro frézování kapes různých tvarů, apod. Tyto cykly usnadňují programování a zkracují NC programy.
- Podprogramy. Mají stejnou strukturu jako program hlavní. Mohou být vyvolány příslušnou adresou, hlavním programem nebo jiným podprogramem. Využívají se např. pro opakované technologické rutiny.
- Konec programu.

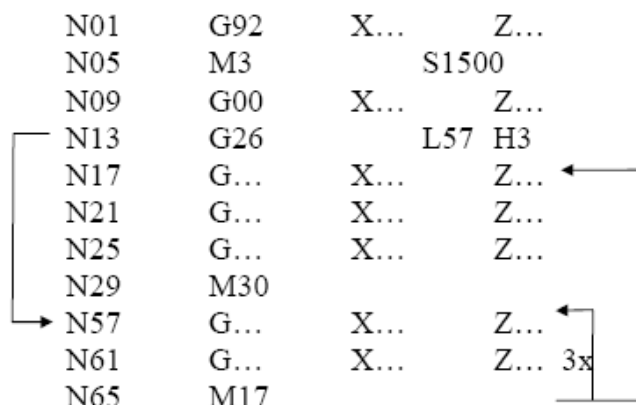
6.3 Podprogram

Relativně samostatný sled potřebného počtu bloků. Má stejnou strukturu jako program hlavní. Konec podprogramu je funkce M17. Podprogramy máme knihovní a uživatelské. Mohou být vyvolány hlavním programem nebo jiným podprogramem (výsledkem je hierarchická struktura podprogramů).

- Programový skok



- **Programový cyklus**



6.4 Postup tvorby programu

- Prostudování technického výkresu a volba technologie obrábění.
- Volba polotovaru a upnutí součásti před programováním.
- Zvolit nástroj a vyplnit seřizovací list pro nástroje pokud ještě nejsou zavedeny
- Založení programu pod určitým jménem (nejlépe dle výkresové dokumentace).
- Zadání rozměrů polotovaru, nulového bodu součásti a způsobu programování.
- Volba nástroje s příslušnými řeznými podmínkami.
- Předchozím třem bodům se říká tzv. HLAVIČKA PROGRAMU, ve které jsou zadány základní informace o obráběné součásti.
- Za hlavičkou následuje tzv. TĚLO PROGRAMU, ve kterém jsou zadávány informace o pohybu nástroje dle konkrétního výkresu. Tělo programu lze rozčlenit na technologickou programovou část která říká JAK, ČÍM, za jakých podmínek a geometrickou část popisující KDE.
- Po napsání těla programu následuje blok ukončující celý program tzv. KONEC PROGRAMU. Nejčastěji funkcí **M30**.
- Při vytvoření programu následuje fáze tzv. SIMULACE, ve které je možno odhalit hrubé chyby a tím předejít možným komplikacím při uvedení programu do výroby na CNC stroji.

- Vyzkoušený program lze poté přenést na CNC stroj, na kterém se provede ODLADĚNÍ programu, na kterém se ověřuje vhodnost použitých nástrojů, řezné podmínky, způsob a tuhost upnutí apod.
- Konečným bodem je samotná výroba součásti

6.5 ISO PROGRAMOVÁNÍ

Na katedře je několik obráběcích strojů s různými řídicími systémy proto v následujících kapitolách budou popsány jejich funkce samostatně.

6.5.1 Význam nejpoužívanějších adres

Adresy jsou označovány velkými písmeny abecedy. Jejich význam je popsán v níže uvedené tabulce. Význam adres je podle normy což je předpis doporučující, proto firmy vyvíjející řídicí systémy CNC strojů řídí, ale jen do určité míry, proto je pro ruční programování vždy nutné prostudovat si manuál řídicího systému a zvláště formát bloku G a M – funkcí.

Tab. 14 Význam adres

Písmeno	Význam
N	Číslo bloku
X, Y, Z	Základní osy souřadného systému (souřadnice v osách X, Y, Z)
A, B, C	Rotace kolem základních os
U, V, W	Paralelní pohyb se základními osami
G	Přípravné funkce - geometrické
M	Pomocné funkce (přípravné), spouští činnost strojních mechanismů (zapnutí a vypnutí otáček, řezné kapaliny)
F	Rychlost posuvu (udává se v mm/ot nebo v mm/min nebo v mm/zub)
S	Otáčky vřetene nebo hodnota konstantní řezné rychlosti (záleží na systému)
T	Volba nástroje
R	Hodnota rádiusu nebo polární souřadnice

7. SOUSTRUH – ŘÍDÍCÍ SYSTÉM MIKROPROG S

7.1 Pravidla pro zápis NC programu

Pravidlo [1]:

1. Programové příkazy se zapisují v požadovaném pořadí tak, že každý nový příkaz musí být na novém řádku. Na začátku řádku se většinou zapisuje adresa N a číslo řádku. Čísla řádků musí tvořit vzestupnou řadu. Zápis adresy N a čísla řádku není povinný, ale nečíslované programy neumožňují programové skoky a snižuje se orientace v programu.

2. Každý řádek programu obsahuje zpravidla adresu přípravné funkce G nebo adresu pomocné funkce M a dále všechny adresy potřebné pro danou funkci (podle seznamu funkcí). Zapsaná hodnota musí odpovídat přípustnému rozsahu. Pro usnadnění práce je možno použít zkrácenou formu zápisu programu, při které není nutno zapisovat adresy, které se proti předcházejícímu zápisu nemění. Například při zápisu několika lineárních interpolací za sebou stačí do řádku psát pouze adresu osy, která se bude pohybovat. Adresu druhé osy, posuv, ani adresu G1 v tomto případě není nutno zapisovat.

Příklady zápisů:

N10	G1	X20	Y10	Z5	F200	(nejběžnější způsob zápisu)
N15	G0	X10	Y0	Z16		

G1	X20	Y10	Z5	F200	(zápis bez číslování řádků)
G0	X10	Y0	Z16		

G1	X50			F100	(zápis bez opakování funkce G1)
			Z10		
	X-3.4				
		Y2.8	Z12		

3. Kumulace více příkazu do jednoho řádku je možná, pokud má takový zápis smysl. Pořadí zapsaných funkcí je tomto případě důležité a musí odpovídat čtení zleva doprava. Např. G40 G1 X65.7 Z4 znamená zrušení korekce (G40) a potom lineární interpolace (G1). Zápis G91 G0 Z50 znamená že systém nejdříve přejde do přírůstkového programování (G91) a potom vykoná rychloposuvem (G0) v ose Z dráhu 50 mm.

4. Na konec řádku nebo na samostatný řádek je možno vložit textové poznámky pro snazší orientaci v programu. Poznámky musí začínat oddělovacím znakem. Standardně je používán znak ; (středník), ale je možno oddělovací znak změnit v Nastavení editoru. Poznámky nemají na běh programu žádný vliv.

Příklad:

; Program na součást č.v. 10.567
N56 M3 S1000 ; spuštění vřetene

5. Adresy je možno psát malým i velkým písmem. Velikost mezer mezi adresami (tabelace) není předepsána. Pořadí adres v řádku není podstatné.

6. Nastavení otáček funkcí M3 nebo M4 s příslušnou adresou S lze zapsat do libovolného řádku spolu některou jinou funkcí. Pokud již funkce M3 nebo M4 byla zapsána dříve, stačí zapsat pouze nové otáčky adresou S.

Příklad:

N3 G1 X30 Y10 Z15 M4 S2000. Při běhu programu se nejdříve akceptuje změna otáček, potom se provede pohybová funkce.

7. Do libovolného řádku je možno zapsat do libovolné posice adresu T, tedy změnu nástroje. Příklad: N23 G1 X23 Z87 T2 Při běhu programu se nejdříve akceptuje výměna nástroje jako v samostatně zapsané funkci M6 včetně korekce na délku nástroje a teprve potom se vykoná pohybová funkce.

8. Možnosti zápisu výše uvedené lze různě kombinovat.

Příklad: N67 G91 G1 X50 T3 S2400.

9. V programu lze užít tzv. parametrický zápis, při kterém se adresám nepřisazuje konkrétní číselná hodnota ale parametr Pxx. V rozsahu P1 až P90.

Příklad:

N10 G1 XP1 Y45 ZP36.

Hodnota parametru musí být zadána v programu před jeho prvním použitím zápisem ve tvaru Pxx =... např. P1=6.3 P36 = 5.7. Přípustný je rovněž zápis využívající matematické

operace s parametry např. $P13 = P1 + P4$ nebo $P6=3 \cdot P8$ nebo $P10 = P10 + 1$, nebo zápis parametru s opačným znaménkem např. N20 G1 X-P1 Y45 Z-P36. Parametr P90 má specifický význam, protože jeho hodnotu je možno při běhu programu vypisovat na monitoru. V následujících tabulkách jsou seznamy funkcí dle manuálu řídicího systému. Některé funkce k konstrukčního hlediska nejsou na stroji k dispozici.

7.2 G funkce [1]

Tab. 15 Seznam G funkcí

SEZNAM G- FUNKCÍ		
	Název	Možné adresy
G0	Rychlé polohování	X Z B
G1	Lineární interpolace	X Z B F
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček	X Z R I K F
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček	X Z R I K F
G4	Prodleva	E
G23	Podmíněný skok	L O
G24	Programování poloměrů	
G26	Skok do podprogramu	L H
G27	Programový skok	L
G28	Skok do jiného programu	L @
G31	Najetí na sondu	X Z
G33	Řezání závitu	X Z K
G40	Zrušení korekce	
G41	Korekce zprava	
G42	Korekce zleva	
G50	Zrušení lokálního souřadného systému systému	
G51	Nastavení lokálního souřadného systému	X Z
G61	Hrubování kuželové plochy	X Z U F
G62	Hrubování rádiusu vydutého	X Z U F
G63	Hrubování rádiusu vypuklého	X Z U F
G64	Podélný hrubovací cyklus	X Z U F
G66	Zapichovací cyklus	X Z W F
G68	Čelní hrubovací cyklus	X Z W F
G78	Závitovací cyklus	X Z U K

G79	Závitovací cyklus šikmým přísuvem	X Z U K
G81	Vrtací cyklus	Z F
G83	Vrtací cyklus s výplachem	Z W F
G85	Vystružovací cyklus	Z F
G90	Absolutní rozměry	
G91	Rozměry v přírůstcích	
G92	Stanovení polohy	X Z
G94	Posuv za minutu	
G95	Posuv na otáčku	
G96	Konstantní řezná rychlost	A
G98	Najetí do reference	H

G0 RYCHLÉ POLOHOVÁNÍ

Adresy: X Z B



Praktické použití

N24 G0 X51 Z48.275

N50 G0 X20 B30

Funkce **G0** se používá pro rychlé přestavení nástroje mimo záběr. Funkce **G0** vykonává pohyb po přímce maximální rychlostí stroje. Pohyb může být v jedné ose nebo současně ve dvou osách.

Způsob zápisu závisí na použitém způsobu zadávání dat: při **absolutním** zadávání (které je prioritní) se zapisují souřadnice koncového bodu pohybu. Zadáváme tedy bod, do kterého má nástroj dojet. Do adresy **X** se z praktických důvodů zapisuje hodnota průměru v daném koncovém bodu, tedy dvojnásobek vzdálenosti bodu od osy rotace.

Při **přírůstkovém** zadávání se zapisuje vzdálenost, o kterou má nástroj v každé ose popojet. (Oba způsoby zadávání dat je možné použít u všech pohybových funkcí.) Pro přechod mezi oběma systémy zadávání slouží funkce **G90 a G91**.

Místo jedné z adres **X** a **Z** je možné v zápise použít adresu **B**, do které se zapisuje úhel směru pohybu měřený od kladného směru osy **Z**. Kladná hodnota **B** je proti směru hodinových ručiček. (Tato orientace platí pro horní suport viz vysvětlení u funkce G2.) Zápis všech tří možných adres (**X,Z,B**) v jednom řádku není možný, zápis by byl přeuročený).

Adresu, jejíž hodnota se oproti poslednímu zápisu v některém předešlém řádku nemění, není nutno vypisovat, tzv. zkrácený zápis.

G1 LINEÁRNÍ INTERPOLACE

Adresy: X Z B F



Praktické použití

N65 G1 X8.56 Z-76.50 F200

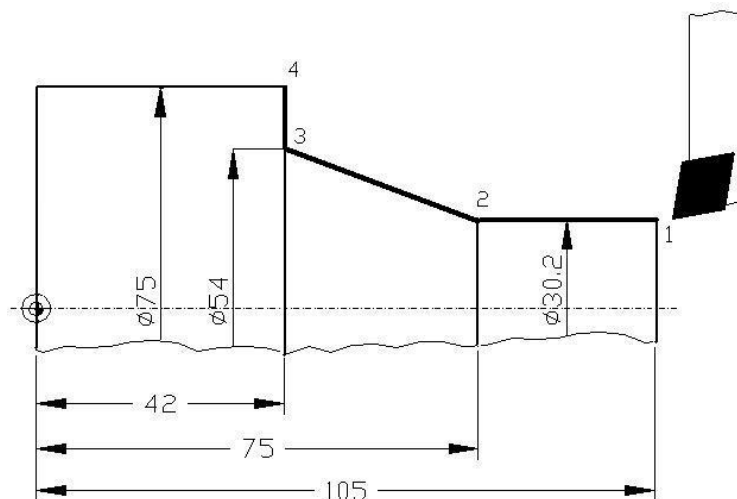
Funkce **G1** je základní pohybová funkce určená pro obrábění. Pohyb nástroje se vykonává po přímce jako u funkce **G0**, ale rychlost pohybu je volitelná a zadává se adresou **F** - posuv. Pohyb se opět může uskutečnit současně v obou osách.

Místo jedné z adres **X** a **Z** je možné v zápise použít adresu **B**, do které se zapisuje úhel směru pohybu měřený od kladného směru osy **Z**. Kladná hodnota **B** je proti směru hodinových ručiček. Zápis všech tří možných adres (**X,Z,B**) v jednom řádku není možný, zápis by byl přeuročeny).

Volba velikosti posuvu je záležitost technologa a záleží především na obráběném materiálu a použitém nástroji, a na požadované drsnosti obrobeného povrchu. Standardně se zadává velikost posuvu v milimetrech za minutu; je možné si funkcí **G95** přepnout na zadávání v milimetrech na otáčku. Opět platí, že adresy, ve kterých nedochází ke změně, není nutno vypisovat.

Příklad:

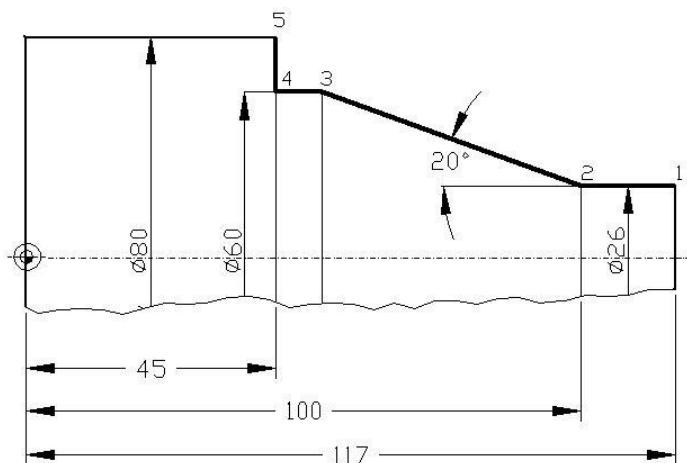
Program pro dokončovací obrábění předhrubované součásti.



N50	M4		S1000	; start otáček
N100	G0	X30.2 Z110		; rychlé najetí před materiál
N110	G1	Z75 F100		; soustružení válcové plochy
N130	G1	X54 Z42		; soustružení kuželové plochy
N140	G1	X77		; soustružení čelní plochy s přesahem

Příklad:

Kuželová plocha je zadána úhlem.



.....

N100	G1	X26	Z100	F100	; soustružení válcové plochy do bodu 2
N120	G1	X60	B160		; soustružení kuželové plochy do bodu 3
N130	G1		Z45		; soustružení válcové plochy do bodu 4



Poznámka

Místo B160 je možno programovat B-20, výsledek bude stejný.

G2 KRUHOVÁ INTERPOLACE VE SMĚRU HODINOVÝCH RUČÍČEK

G3 KRUHOVÁ INTERPOLACE PROTI SMĚRU HODINOVÝCH RUČÍČEK

Adresy: X Z R I K F



Praktické použití

N10 G3 X46.7 Z25.89 R31.5 F300

N50 G2 X15.7 Z56.9 I13.7 K2.6 F140

Funkce **G2** a **G3** vykonávají současný pohyb v obou souřadných osách tak, že výsledná dráha pohybu leží na kružnici. Obdobně jako u předchozích funkcí je možno programovat buď absolutně (v adresách **X** a **Z** se zapisují souřadnice koncového bodu kruhového oblouku), nebo přírůstkově (zapisuje se délka dráhy v jednotlivých osách).

K úplnému popisu kruhové dráhy je možno použít dvou způsobů, které se střídavě používají u řídicích systémů: programovat ještě adresu **R** (poloměr kruhového oblouku), nebo adresy interpolačních parametrů **I** a **K**, které udávají polohu středu kruhového oblouku. Při absolutním programování jsou adresy **I** a **K** souřadnice středu vzhledem k počátku

souřadnic, při přírůstkovém programování jsou vztaženy k počátečnímu bodu kruhového oblouku.

Řídicí systém MIKROPROG S umožňuje oba způsoby zápisu, není však možná jejich kombinace. Pokud je tedy v bloku zapsána adresa **R**, je zápis adres **I** nebo **K** považován za syntaktickou chybu, obráceně např. po zapsání **I** je možno zapsat pouze adresu **K**.

Zápis pomocí interpolačních parametrů je velmi náročný na přesnost určení správné velikosti adres, protože se jedná o geometricky přeuročené zadání. Maximální přípustná hodnota chyby je 0.005 mm.

Maximální středový úhel kruhového oblouku programovaného v jednom bloku pomocí poloměru **R** je 180° , při programování pomocí **I** a **K** lze zapsat celý kruh. Rychlost posuvu zadaná adresou **F** odpovídá rychlosti měřené tečně ke kruhovému oblouku.

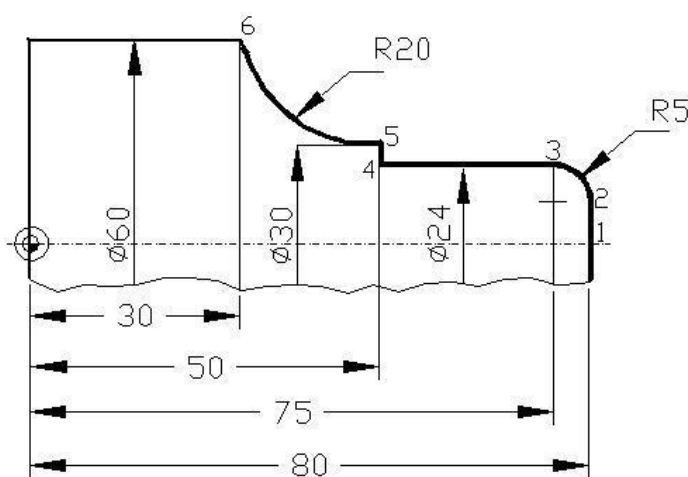


Pozor na odlišnost

Uvedený směr pohybu (např. G2 – ve směru hodinových ručiček) platí pro při pozorování ve směru proti kladné ose Y. Tato podmínka je splněna u soustruhů s horním suportem pro pozorovatele, který stojí na obvyklém místě před strojem. U soustruhů se spodním suportem je souřadný systém otočený tak, že pozorovatel ze stejného místa vidí směry kruhové interpolace opačně.

Příklad:

Soustružení na čisto součásti s rádiusy.



N100	G1	X0	Z80	F100	; najetí do osy na čelo součásti – bod 1
N120	G1	X14			; soustružení do bodu 2
N130	G3	X24	Z75	R5	; soustružení zaoblení do bodu 3
N140	G1		Z50		; do bodu 4

N150 G1 X30 ; do bodu 5
N160 G2 X60 Z30 R20 ; soustružení zaoblení do bodu 6

G4 ČASOVÁ PRODLEVA

Adresy: E



Praktické použití

N40 G4 E2

Funkce **G4** vyvolá časovou prodlevu v běhu programu v délce **E** sekund. Během prodlevy se otáčení vřetena nezastavuje. Funkce se používá například pro ustálení otáček po spuštění vřetene, nepostačuje-li prodleva řazená automaticky, nebo tehdy, je-li to z technologického hlediska vhodné, např. při vystružování z důvodu vyhlazení povrchu.

G23 PODMÍNĚNÝ SKOK

Adresy: L O



Praktické použití

N167 G23 L200 O2

Funkce **G23** má stejný význam jako funkce **G27** s tím, že ke skoku v programu dojde pouze tehdy, je-li splněna zadaná podmínka **O**.

Pomocí funkce **G23** lze tedy přizpůsobit chování řídicího systému podle informace, jejíž hodnota není předem známa [1].

Užití podmíněného skoku může být velmi různorodé. Na uživatelské vstupy **O1** až **O4** mohou být připojeny např. snímače provozních stavů stroje a jejich sepnutí změni další průběh programu, podobný zásah je možno provést ručně pomocí vstupů **O5** a **O6** stisknutím příslušných tlačítek. Vyhodnocení signálu dotykové sondy umožňuje vhodně modifikovat skenovací programy. Podmínka **O10** umožňuje vytvořit počítadlo proběhlých cyklů, podmínky **O11** až **O18** umožňují změnit průběh programu po dosažení požadovaného rozměru v některé ose.

Jako další podmínky mohou být užity i další digitální vstupy programovatelného automatu řídicího systému. Ty jsou přístupné v adresách O101 až O408. Jejich popis je k dispozici v elektrodokumentaci konkrétního stroje.

Užití funkce podmíněného skoku vyžaduje velmi dobré znalosti chování řídicího systému a nelze ho doporučit začátečníkům.

G24 PROGRAMOVÁNÍ POLOMĚŘŮ

Adresy: bez adres



Praktické použití

N6 G24

Standardně se při absolutním programování zadává v ose **X** průměr, tedy dvojnásobek vzdálenosti od osy, funkce **G24** mění tento způsob na zadávání poloměrů. Funkce **G24** má trvalou platnost do ukončení programu nebo do použití funkce **G90**.

G26 SKOK DO PODPROGRAMU

Adresy: L H



Praktické použití

N60 G26 L200 H3

Podprogramy se nejčastěji používají pro urychlení zápisu programu, ve kterém se některé tvarové prvky vícekrát opakují. Část programu pro obrobení těchto opakujících se prvků se zapíše pouze jednou jako tzv. podprogram a na vhodném místě se funkce **G26** vyvolá.

Podprogramy se zapisují za hlavní program, který musí být ukončen funkcí **M30**. Každý podprogram opět musí být ukončen funkcí **M17**.

Funkce **G26** zapsaná v hlavním programu vyvolá skok v běhu programu na adresu **L** podprogramu. Po ukončení podprogramu funkcí **M17** se řídicí systém vrátí do hlavního programu na blok, který následuje za blokem, ze kterého byl skok proveden. Adresa **H** umožňuje několikanásobné opakování podprogramu. Pokud adresa **H** není zapsána, systém provede podprogram pouze jednou.

Podprogram určený k obrobení několika tvarově shodných prvků rozmístěných po obrobku musí být vždy zapsán v přírůstkových souřadnicích. Pokud je hlavní program zapsán absolutně, je třeba vždy na začátku podprogramu funkcí **G91** přejít do přírůstkových souřadnic, a na konci podprogramu funkcí **G90** se vrátit do souřadnic absolutních. Jinou možností je použít pro podprogram lokální souřadný systém funkcí **G51**.

Adresa **L** ve funkci **G26** nemusí nutně být shodná se začátkem podprogramu. To umožňuje podprogram využít pouze částečně. Např. je možné mít složitější "universální" podprogram, který se v některých případech využije pouze částečně.

V každém hlavním programu může být využito několik podprogramů, které hlavní program pouze vhodně skládá a rozmisťuje. Uvnitř každého podprogramu může být opět

použito funkce **G26**. Jedná se o tzv. vnořený podprogram. Struktura programu s vnořenými podprogramy je složitá a její užití u soustruhu je výjimečnou záležitostí.

G27 PROGRAMOVÝ SKOK

Adresy: L



Praktické použití

N70 G27 L180

Funkce **F27** vyvolá skok programu na blok označený adresou **L**. Nejčastěji se funkce **G27** používá k přeskočení - vynechání nepotřebných částí programu.

Ve funkci **G27** je možno zadat i skok na některý předcházející blok a vytvořit tak nekonečnou uzavřenou smyčku. Ve smyčce se bude program trvale opakovat až do přerušení.

G28 SKOK DO JINÉHO PROGRAMU

Adresy: L @



Praktické použití

N256 G28 @POKUS.SUF

Funkce **G28** vyvolá skok ze spuštěného programu na jiný program, jehož název je ve funkci **G28** zadán. Tento nový program musí být zapsán ve stejném adresáři. Pokud je zadána současně i adresa **L**, začne se nový program zpracovávat od zadaného řádku. Po skončení volaného programu se řídicí systém automaticky vrátí do programu původního.

Pomocí funkce **G28** je možno velmi snadno spojovat různé programy v jeden celek. To má význam například pro extrémně dlouhé programy, které nemohou být jako jeden celek uloženy v operační paměti systému, a dále, podobně jako funkce **G26**, k vyvolání jiného programu fungujícího jako podprogram.

G31 NAJETÍ NA SONDU

Tato funkce je u stroje EMCO umístěného na kat.346, VŠB-TU nepoužitelná.

Adresy: X Z L



Praktické použití

N50 G31 X5 Z0

Funkce **G31** vyvolá pohyb v stroje rychlostí, která umožňuje okamžité zastavení bez dobržďování. Pohyb trvá tak dlouho, dokud se dotyk sondy nedostane do kontaktu s překážkou. V okamžiku, kdy sonda vyšle signál o kontaktu, pohyb se okamžitě zastaví a vypíše se aktuální souřadnice. Program pokračuje na následujícím bloku.

Pokud ke kontaktu sondy nedojde během celé naprogramované dráhy, pohyb se rovněž zastaví a program pokračuje na řádku zadaném v adrese **L**. V případě, že adresa **L** není zapsána, vypíše se hlášení **Porucha sondy**.

Při spuštění funkce **G31** musí být sonda mimo dotyk. V opačném případě se pohyb nevykoná a vypíše se hlášení **Sonda v dotyku**. Nelze tedy programovat dvě funkce **G31** bezprostředně za sebou.

Dotykovou sondu lze na soustruhu užít k odměřování korekcí nástrojů, kontrole polotovaru nebo výrobku. Pomocí rozšiřujícího softwaru, který se dodává mimo rámec základního programového vybavení, lze řešit další úlohy např. kopírování obecného tvaru.

G33 ŘEZÁNÍ ZÁVITU

Adresy: X Z K



Praktické použití

N23 G33 X45 Z-65.5 K0.75

Funkce **G33** určená pro řezání závitu na válci a na kuželu je v podstatě shodná s lineární interpolací **G1**. Při závitování je však nutné dodržet velmi přesně kinematickou vazbu mezi otáčením obrobku a posuvem nástroje. Proto je u funkce **G33** v činnosti přesný snímač otáček vřetene, řídicí systém vyhodnocuje okamžité otáčky a přizpůsobuje neustále posuv tak, aby výsledné stoupání závitu odpovídalo programované hodnotě **K**. Vzhledem k velkému počtu snímání (2000 údajů za otáčku) je tak korigováno i případné kolísání úhlové rychlosti vřetene během jedné otáčky.

Snímání otáček a výpočet potřebných posuvů jsou pro řídicí systém časově náročné operace, a proto jsou při závitování maximální dovolené otáčky omezeny nastavením systému.

Vyříznutí závitu na jeden průchod nástroje je ve většině případů technologicky nevhodné nebo dokonce nemožné. Proto je běžnější pro výrobu závitů na válci použít závitovací cykly **G78** nebo **G79** a funkci **G33** užít pouze pro sestavení vlastních cyklů na výrobu závitů speciálních např. závitu na kuželu, na čelní ploše apod.

G40 ZRUŠENÍ KOREKCE

Adresy: bez adres



Praktické použití

N50 G40

Funkce G40 ruší korekce zapsané funkcemi G41 a G42. Pokud by v programu nebyla funkce G40 zapsána, zruší se korekce na konci programu automaticky.

G41 KOREKCE ZPRAVA

G41 KOREKCE ZLEVA

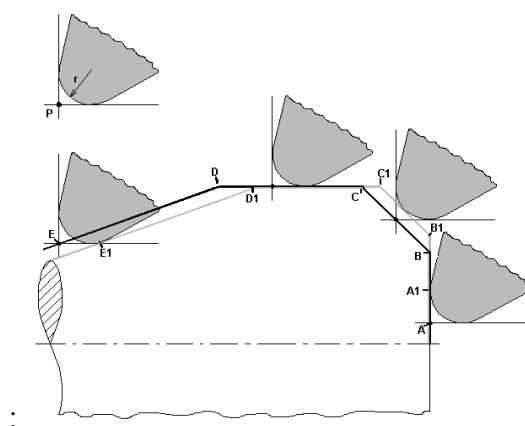
Adresy: bez adres



Praktické použití

N36 G41

Funkce **G41** a **G42** zajistí posunutí skutečné dráhy nástroje oproti dráze programované tak, aby se eliminoval vliv poloměru špičky nástroje na tvar obrobku. Velikost poloměru špičky každého nástroje je zapsána v tabulce **KOREKCE**. (Rovněž musí být správně zapsán typ nástroje, který rozhoduje o směru provedení korekcí.) Celá problematika je patrná z následujícího obrázku:



Obr. 7.1 Problematika korekce zaoblení špičky nástroje [1]

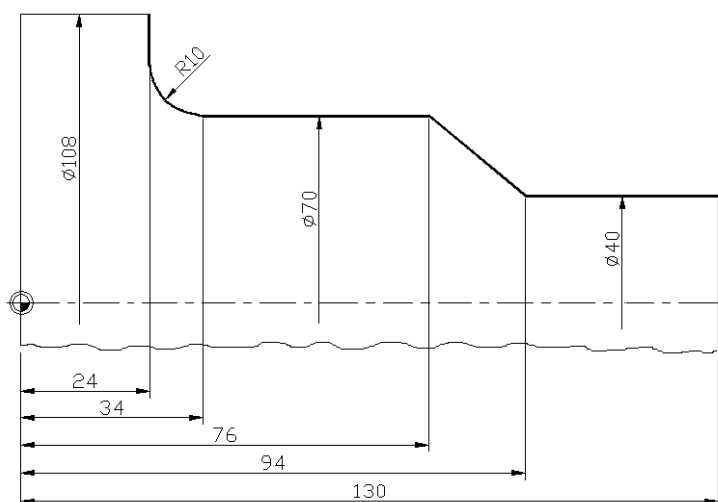
Poloha nástroje je dána polohou jeho teoretické špičky – bodem **P**. Protože ve většině případů je špička nástroje zaoblena poloměrem několika desetín milimetru, není skutečný tzv. utvářející bod ostří totožný s bodem **P**. Jeho poloha na špičce se mění podle směru pohybu nástroje.

Na obr. je součást zadaná polohou uzlových bodů A až E. Program pro výrobu součásti bude pomocí souřadnic těchto bodů zapsán. Pokud nebudou korekce použity bude bod **P** během obrábění zadanými body postupně procházet. Utváření konečného povrchu součásti bude ale prováděno tečnými body na špičce nástroje a tvar vyrobené součásti bude dán body A, B1, C1, D1, E1. Z obrázku je patrné že k odchylce skutečného tvaru od tvaru programovaného dochází na kuželových plochách, naopak plochy čelní a válcové jsou obrobena bez chyby. Velikost vzniklé chyby závisí na poloměru špičky a na sklonu obráběné plochy. Podobné problémy vznikají i při obrábění pomocí funkcí G2 a G3.

Z uvedeného je patrné že užití funkcí **G41** a **G42** má smysl pro dokončovací obrábění kuželových a rádiusových ploch.

Příklad:

Je třeba přesně obrobit konečný tvar součásti na obr.



.....
N100 G0 X40 Z140

N110 G42 ; zařazení korekce

N120 G0 Z133

N130 G1 Z94

N140 G1 X70 Z76

N150 G1 Z34

N160 G2 X90 Z24 R10

N170 G1 X112

N180 G40 ; zrušení korekce

N190 G0 X150 Z150 ; odjetí od kusu

Funkce **G41** se používá pokud má obráběná plocha ležet vpravo od dráhy nástroje, funkce **G42** pro plochu ležící vlevo od dráhy nástroje.

Obě funkce **G41** a **G42** korigují dráhu zapsanou funkcemi **G0**, **G1**, **G2**, **G3**, pro jiné funkce jejich použití nemá smysl a může způsobit chybu v polohování nástroje. Zápis každé korekční funkce má v programu trvalou platnost až do zrušení funkcí **G40** nebo do konce programu.

Při programování vnitřního tvaru musí být samozřejmě nejmenší poloměr programované dráhy větší nebo roven poloměru použitého nástroje. Pokud tato podmínka nebude splněna dojde k chybnému obrobení tvaru (vnitřní tvar bude podříznut). Pro bezchybnou činnost korekčních funkcí je třeba k obráběnému povrchu nástrojem přijet již se zařazenou korekcí z té strany obráběného obrysu, po kterém se má dále nástroj pohybovat (tzv. nabrání korekcí).

G 50 ZRUŠENÍ LOKÁLNÍHO SOUŘADNÉHO SYSTÉMU

Adresy: bez adres



Praktické použití

N 100 G50

Funkce **G50** zruší nastavení lokálního souřadného systému funkcí **G51** a provede návrat k původním souřadnicím stroje. Při spuštění programu je funkce **G50** vždy nastavena automaticky a je vypsána v oknu **Programované funkce**.

G 51 NASTAVENÍ LOKÁLNÍHO SOUŘADNÉHO SYSTÉMU

Adresy: X Z



Praktické použití

N15 G51 Z100

Funkce **G51** zavádí lokální souřadný systém, který může být pro uživatele výhodnější než systém základní s počátkem souřadnic na čele upínače. Nejčastěji se používá lokální souřadný systém s počátkem na čele polotovaru nebo na čele konečné součásti. Funkce **G51** přiřadí okamžité poloze osy hodnotu, ve funkci u příslušné adresy zapsanou. Běžné je zavádění lokálního souřadného systému u osy **Z**, u osy **X** nemá u soustruhu logický význam. Návrat do původního souřadného systému je možný funkcí **G 50** případně nastane automaticky po skončení programu.

7.2.1 Pevné cykly

Skupina funkcí **G64** až **G85** se souhrnně nazývá pevné cykly. Tyto funkce umožňují výrazně zkrátit délku programu, a tím pracnost programování často se opakujících tvarů. Každý pevný cyklus má určenou sekvenci pohybů, tzv. úseků, kterou by jinak bylo nutno programovat funkcemi **G0** a **G1**.

Společnou vlastností všech cyklů je návrat do výchozího bodu po ukončení cyklu. Všechny cykly je možno zadat jak v absolutních, tak přírůstkových souřadnicích.

G61 HRUBOVÁNÍ KUŽELOVÉ PLOCHY

Adresy: X Z U F



Praktické použití

N10 X50 Z-146 U2.5 F100

Funkce **G61** se používá k hrubování kuželové plochy po stupních rovnoběžných s osou rotace. Do adresy **X** se zapisuje konečný malý průměr kuželové plochy, velký průměr je dán polohou nástroje při spuštění cyklu. Adresa **Z** určuje délku kuželové plochy, tloušťka třísky je dána adresou **U**. Po ukončení hrubování nástroj začistí stupně při obrábění vzniklé a vrátí se do výchozí polohy.

Hrubovací cyklus je možno samozřejmě použít i pro vnitřní obrábění.

G62 HRUBOVÁNÍ RADIUSU VYDUTÉHO

Adresy: X Z U F



Praktické použití

N20 X27 Z15 U2 F150

Funkce **G62** se používá k hrubování vydutého (vnitřního) čtvrtkruhu. Pro neúplný čtvrtkruh nelze tuto funkci použít. Adresy **X** a **Z** musí být proto zadány tak, aby jimi byl definován čtvrtkruh s osou v místě výchozí polohy nástroje. V opačném případě řídicí systém vypíše chybové hlášení. Tloušťka třísky je dána adresou **U**. Po ukončení hrubování nástroj začistí kruhovou interpolací stupně při obrábění vzniklé a vrátí se do výchozí polohy.

G63 HRUBOVÁNÍ RADIUSU VYPUKLÉHO

Adresy: X Z U F



Praktické použití

N30 X40 Z-125.8 U1 F170

Funkce **G63** se používá k hrubování vypuklého (vnějšího) čtvrtkruhu. Pro neúplný čtvrtkruh nelze tuto funkci použít. Adresy **X** a **Z** musí být proto zadány tak, aby jimi byl definován čtvrtkruh s osou v místě výchozí polohy nástroje. V opačném případě řídicí systém vypíše chybové hlášení. Tloušťka třísky je dána adresou **U**. Po ukončení hrubování nástroj začistí kruhovou interpolací stupně při obrábění vzniklé a vrátí se do výchozí polohy.

G64 PODÉLNÝ HRUBOVACÍ CYKLUS

Adresy: X Z U F



Praktické použití

N56 X21 Z-35.6 U2 F150

Funkce **G64** se používá odebrání většího přídavku na válcové ploše postupně po jednotlivých třískách. Do adresy **X** se zapisuje konečný průměr, do adresy **Z** poloha čelní plochy, do adresy **U** tloušťka třísky při jednom průchodu a do adresy **F** posuv pracovních pohybů.

Sled pohybů začíná nabráním přídavku **U**, následuje soustružení válcové plochy v délce dané adresou **Z**, odlehčení od obrobené plochy a návrat. Tento sled se opakuje až do dosažení požadovaného průměru. Po obrobení poslední třísky nůž zarovná čelní plochu a vrátí se do výchozího bodu cyklu.

V případě, že odebíraný přídavek není celým násobkem programované tloušťky třísky, bude poslední odebíraná tříska tenčí, tak, aby výsledný průměr, který je prioritní byl dodržen.

Podélný hrubovací cyklus je možno samozřejmě použít i pro vnitřní obrábění.

G66 ZAPICHOVACÍ CYKLUS

Adresy: X Z W F



Praktické použití

N40 G66 X12 Z25 W3.5 F50

Příklad zápisu: N40 G66 X12 Z25 W3.5 F50

Funkce **G66** se používá k vytvoření drážky širší než je zapichovací nůž, postupným zapichováním. Adresami **X** a **Z** jsou dány konečné rozměry zápichu, do adresy **W** se zapisuje šířka zapichovacího nože.

Sled pohybů cyklu začíná z výchozího bodu zapíchnutím, mezi jednotlivými zápichy se nástroj přesune o hodnotu **W** - 0.5 mm, po posledním zápichu nástroj začistí dno drážky a vrátí se do výchozího bodu.

G68 ČELNÍ HRUBOVACÍ CYKLUS

Adresy: X Z W F



Praktické použití

N134 G68 X0 Z-2.5 W.7 F80

Funkce **G68** se používá k odebrání většího přídavku na čele součásti po jednotlivých třískách o tloušťce **W**. Směr pracovního pohybu je rovnoběžně s osou **X**. Po odebrání poslední třísky nástroj začistí válcový průměr zbylého čepu.

G78 ZÁVITOVACÍ CYKLUS

Adresy: X Z U K H



Praktické použití

N10 G78 Z10.8 U.1 K1.25

N56 G78 Z14 U.2 K2.5 H1

Funkce **G78** se používá k programování výroby závitů na válci v případě, že není možno závit vyříznout na jednu třísku funkcí **G33**, (tedy ve většině případů řezání závitů.)

Sled pohybů je obdobný jako u funkce **G64** (mimo zarovnání čela). Cyklus začíná nabráním přídavku (viz dále), následuje soustružení závitu se stoupáním **K** v délce dané adresou **Z**, odlehčení od obrobené plochy a návrat. Tento sled se opakuje až do dosažení požadovaného malého průměru závitu daného adresou **X**. Po obrobení poslední třísky se nástroj vrátí do výchozího bodu cyklu.

Velikost přídavku (hloubka třísky) je u závitovacích cyklů proměnná. Celková velikost přídavku odebíraného cyklem je rozdělena do tří pásem kde se postupně mění tloušťka třísky odebíraná při jednom průchodu. Nejdříve je použita tříska tloušťky zadané hodnoty **U**, potom její polovina a jedna čtvrtina. Na závěr jsou v cyklu zařazeny dva průchody bez

přidavku pro vyčištění závitu.

Stejně jako u funkce **G33** jsou při závitování přesně odměřovány skutečné otáčky vřetene a jím přizpůsobován okamžitý posuv. Navíc se zde využívá tzv. startovací puls, vysílaný otáčkovým snímačem jednou za otáčku, který umožní opakované navázání závitu při odřezávání další třísky. Maximální otáčky vřetene pro závitování jsou omezeny podle nastavení systému.

Adresa **H** slouží k zápisu výběhu závitu. Pokud je zapsána **H0** (nebo pokud adresa **H** není použita), nástroj vyjíždí ze záběru bez výběhu kolmo k povrchu a pokud není nástroj již mimo závit, dojde k poškození závitu. Výběh závitu začíná vždy 1.28 mm před programovaným koncem závitu. Výběh je uskutečněn lineární interpolací vždy na výchozí průměr závitu.

G79 ZÁVITOVACÍ CYKLUS SE ŠIKMÝM PŘÍSUVEM

Adresy: X Z U K



Praktické použití

N34 G79 X14.8 Z54 K2.5

Cyklus **G79** se od předcházejícího cyklu **G78** liší pouze přísuvem nástroje do řezu, který zde není kolmo k ose, ale rovnoběžně s bokem metrického závitu, tedy pod úhlem 60 stupňů k ose součásti. Šikmým přísuvem se dosáhne odřezávání třísky pouze na jednom boku závitu, a tím výrazného snížení řezné síly.

G81 VRTACÍ CYKLUS

Adresy: Z F



Praktické použití

N35 G81 Z-15 F70

Funkce **G81** se používá pro jednodušší zápis vrtací operace. Nástroj se pohybuje pracovním posuvem v ose Z do hloubky zadané adresou **Z**, a potom se okamžitě rychloposuvem vrací do výchozího bodu. Funkce **G81** nahrazuje tedy v programu dva bloky s funkcemi **G1** a **G0**.

G83 VRTACÍ CYKLUS S VÝPLACHEM

Adresy: Z W F



Praktické použití

N80 G83 Z-60 W7 F50

Při vrtání hlubokých otvorů je třeba opakovaně vrtání přerušit a nástroj vysunout pro odstranění třísek. Rychlé zapsání takového sledu pohybů umožňuje funkce **G83**. Celková hloubka otvoru se zadává v adrese **Z** (absolutně nebo přírůstkově), obdobně jako ve funkci **G81**, a dále v adrese **W** hloubka vrtaná najednou. Sled pohybů je následující: vrtání do hloubky **W**, vyjetí rychloposuvem, zasunutí nástroje rychloposuvem do vyvrtaného otvoru 0.5 mm nad dno, vrtání o další hloubku **W** až do vyvrtání celého otvoru. Potom se nástroj vrátí do výchozího bodu. V případě, že zadaná hloubka není celým násobkem **W**, řídicí systém hloubku rozdělí na úseky tak, aby nebyly větší než zadané **W**.

G85 VYSTRUŽOVACÍ CYKLUS

Adresy: Z F



Praktické použití

N154 G85 Z-15 F300

Vystružovací cyklus **G85** funguje obdobně jako cyklus vrtací **G81** s tím rozdílem, že zpětný pohyb nástroje se děje pracovním posuvem.

G90 ABSOLUTNÍ ROZMĚRY

Adresy: bez adres



Praktické použití

N15 G90

Funkce **G90** přepíná řídicí systém k absolutnímu zadávání souřadnic. Při programování v absolutních souřadnicích se zapisují koncové body dráhy pohybu, které jsou dané vzdáleností od zvoleného počátku souřadnic. U soustruhu je určitou zvláštností, že v ose **X** se zapisuje průměr, tedy dvojnásobek vzdálenosti od osy.

Při přírůstkovém programování se v pohybových funkcích zapisují délky dráhy pohybu v jednotlivých osách.

Oba způsoby zadávání je možno použít ve všech pohybových funkcích. Absolutní zadávání (též absolutní programování) je prioritní a je nastaveno automaticky vždy po

zapnutí řídicího systému. Proto není nutno funkci **G90** na začátku programu zapisovat a funkce **G90** je uvedena v oknu **Programované funkce**.

Při automatickém běhu jsou vždy vypsaný souřadnice absolutní, bez ohledu na to, zda program byl zapsán absolutně nebo přírůstkově. Změna zobrazených souřadnic je možná pouze vynulováním nebo předefinováním funkcí **G92**, případně pokud došlo ke ztrátě vazby motoru novým zreferováním souřadného systému funkcí **G98**.

Funkce **G90** má v programu logický význam pouze jako návrat k absolutnímu zadávání souřadnic, pokud v předchozí části programu byla použita funkce **G91**.

G91 ROZMĚR V PŘÍRŮSTCÍCH

Adresy: - bez adres



Praktické použití

N12 G91

Funkce **G91** přepíná řídicí systém k přírůstkovému zadávání pohybových funkcí. Funkce **G91** má trvalý význam do zpětného přechodu funkcí **G90** nebo ukončení programu.

G92 STANOVENÍ ABSOLUTNÍCH ÚDAJŮ POLOHY

Adresy: X Z



Praktické použití

N3 G92 X50 Z0

Funkce **G92** trvale přiřazuje okamžité poloze souřadných os **X**, **Z**, hodnoty, které jsou ve funkci zapsány. Funkce tedy mění dosavadní souřadný systém, návrat k původnímu souřadnému systému je komplikovaný, například najetím do referenčního bodu pomocí funkce **G98**.

Funkce **G92** se nejčastěji používá na začátku programu k definování výchozí polohy nástroje vůči zvolenému počátku souřadnic. Užití v programu může být nebezpečné, neboť změna souřadnic je trvalá.

Ve většině případů je vhodnější užití lokálního souřadného systému pomocí funkcí **G50** a **G51**.

G94 POSUV ZA MINUTU

Adresy: - bez adres



Praktické použití

Příklad zápisu: N5 G94

Funkce **G94** přepíná řídicí systém do zadávání rychlosti posuvů v milimetrech za minutu. Po zapnutí je tato funkce nastavena automaticky.

G95 POSUV NA OTÁČKU

Adresy: - bez adres



Praktické použití

N10 G95

Funkce **G95** přepíná řídicí systém do zadávání posuvů v milimetrech na otáčku. Minutový posuv potom řídicí systém vypočítává podle skutečných otáček vřetene.

G96 KONSTANTNÍ ŘEZNÁ RYCHLOST

Adresy: A



Praktické použití

N5 G96 A2500

Funkce **G96** přizpůsobuje otáčky vřetene velikosti právě obráběného průměru tak, aby řezná rychlost byla konstantní. Jako základ se pro výpočet berou skutečné právě nastavené otáčky a okamžitý obráběný průměr. Funkce **G96** má trvalou platnost do ukončení programu. Předčasně funkce ztrácí platnost nájezdem do reference funkcí **G98**, nebo zápisem nových otáček adresou **S**. Pokud je ve funkci **G96** zapsána i adresa **A**, udává maximální otáčky, které nebudou překročeny.

G98 NAJETÍ DO REFERENČNÍHO BODU

Adresy: H



Praktické použití

N1 G98

Funkce **G98** se používá k ztotožnění zobrazovaných souřadnic se skutečnou polohou

vůči souřadnému systému stroje. Toto ztotožnění je nutné provést, pokud dojde z jakéhokoliv důvodu ke ztrátě souřadnic. Ztráta souřadnic nastane výpadkem napájení, vypnutím stroje tlačítkem **Centrální stop** během pohybu, najetím na koncový spínač pohybů, ztrátou vazby krokového motoru přetížením. Pokud k žádné uvedené situaci nedojde, zachovává si řídicí systém správné souřadnice po celou dobu provozu i po vypnutí a opětovném zapnutí.

Přesné najetí na koncové spínače v referenčním bodě je možné pouze do určité rychlosti pohybu. Proto je nájezd do reference možný pouze v automatickém režimu funkcí **G98**. Tato funkce vyvolá sled pohybů podle sekvence zapsané v tabulce **Technologická data**. Nejběžnější je toto pořadí pohybů: Najetí rychloposuvem ve směru **X+**, návrat o několik milimetrů zpět, nové najetí malou rychlostí a návrat o jeden milimetr. Stejným způsobem potom na koncový spínač najede osa **Z+**.

Užitím adresy **H** je možné chování funkce **G98** modifikovat. Například pro zkrácení času může být někdy vhodné referovat pouze v ose **X**. Pro zásadnější změnu chování funkce **G98** je nutno změnit údaje v tabulce **Technologická data**. Například je možné k referenci použít i koncové spínače ve směru záporných os.

Po zastavení všech pohybů se zobrazené souřadnice polohy přepíše souřadnicemi, které náleží danému nástroji v referenčním bodu. Pokud pro zadaný nástroj jsou v **Tabulce nástrojů** zadány nulové korekce, vypíše se souřadnice polohy bodu **T** (nulového bodu upínače nástrojů). Tyto souřadnice má systém trvale uloženy v tabulce **Technologická data**. Pokud jsou pro nástroj zapsány určité korekce, budou samozřejmě akceptovány a vypíše se souřadnice o hodnotu korekcí posunuty.

Tabulka hodnot H	H1	reference pouze X+
	H2	X-
	H4	Z+
	H8	Z-

Tab. 16 Seznam pomocných funkcí

SEZNAM POMOCNÝCH FUNKCÍ		
	Název	Možné adresy
M0	Programový stop	
M1	Podmíněný stop	O
M3	Start vřetene doprava	S
M4	Start vřetene doleva	S
M5	Zastavení vřetene	
M6	Výměna nástroje	T
M8	Spuštění chlazení	
M9	Zastavení chlazení	
M17	Konec podprogramu nebo cyklu	
M20	Výstupní signál	Q
M21	Konec výstupního signálu	Q
M25	Výstup souřadnic polohy	@
M26	Výstup parametru P90	@
M29	Výstup textu	@
M30	Konec informace	@
M40	Zapnutí kontinuálního navazování bloků	
M41	Vypnutí kontinuálního navazování bloků	
M99	Konec informace a návrat	

M0 PROGRAMOVÝ STOP

Adresy: - bez adres



Praktické použití

N57 M00

Dalšího pokračování programu se dosáhne opětovným stisknutím tlačítka. Funkce **M0** se používá v těch případech, kdy má být proveden na stanoveném místě programu ruční zásah, např. vymetení třísek, kontrola, obrobku apod.

M1 PODMÍNĚNÝ STOP

Adresy: O



Praktické použití

N180 M1 O7

Funkce **M1** přeruší běh programu jako funkce **M0**, s tím rozdílem, že k přerušení dojde pouze je-li zároveň splněna programovaná podmínka **O**. Pomocí této funkce lze tedy přerušit běh programu na předem určeném místě na základě informace, jejíž hodnota není předem známa. Podmínky **O** byly popsány u funkce **G23**.

M3 START VŘETENA DOPRAVA

M4 START VŘETENA DOLEVA

Adresy: S



Praktické použití

N4 M03 S2750

Funkce **M3** (**M4**) spouští otáčení vřetena otáčkami zapsanými v adrese **S**. V případě, že se již vřeteno otáčí, nastavuje funkce otáčky nově zadané. Funkce má trvalou platnost buď do zastavení vřetena funkcemi **M0**, **M1**, **M5**, **M6**, nebo do ukončení programu.

Při použití zkráceného zápisu se funkce **M3** nebo **M4** zapíše pouze na začátku programu, aby byl určen smysl otáčení vřetene, a při změně otáček se do libovolného bloku zapíše pouze adresa **S** s novou hodnotou. Roztočení vřetene a ustálení na zadaných otáčkách trvá určitou dobu závislou na velikosti otáček a hmotnosti obrobku. Proto je před přechodem na další funkci automaticky zařazena krátká prodleva. V některých případech může být tato prodleva nedostatečná a je vhodné ji prodloužit funkcí **G4**.

M5 ZASTAVENÍ VŘETENE

Adresy: - bez adres



Praktické použití

N300 M05

Funkce **M5** zastaví otáčení vřetene. Běh programu pokračuje po dosažení nulových otáček. Funkce se používá pokud má být v části programu vřeteno v klidu (např. pro měření

sondou), nebo pokud je třeba provést reversaci otáček. Použití na konci programu je zbytečné, protože zastavení vřetene je zde automatické.

M6 VÝMĚNA NÁSTROJE

Adresy: T



Praktické použití

N7 M6 T5

N50 M6 T2.1

Funkce M6 se používá pro výměnu nástroje za další nástroj označený adresou T. Způsob označování nástrojů, měření a zápis jejich korekcí je podrobně popsán v kapitole

Chování funkce **M6** je rozdílné podle způsobu výměny nástroje. Výměna nástrojů může být buď ruční s použitím rychloupínací hlavy nebo automatická pomocí otočné revolverové hlavy.

Automatická výměna nástrojů.

Funkce **M6** vyvolá otočení revolverové nástrojové hlavy do polohy dané adresou T. Po zpevnění revolverové hlavy řídicí systém provede korekci polohy špičky nástroje, to znamená přepočte pro nový nástroj podle údajů o jeho korekcích uložené v **Tabulce nástrojů** aktuální souřadnice polohy špičky a zobrazí je na monitoru. Potom program pokračuje následujícím blokem.

Ruční výměna nástrojů.

Funkce **M6** zastaví běh programu, a zastaví otáčení vřetene. Na monitoru se vypíše hlášení **Výměna nástroje, nástroj T**. Potom řídicí systém očekává ruční výměnu nástroje. Po jejím dokončení se další běh programu spustí zeleným startovacím tlačítkem. Stejně jako při automatické výměně nástroje se vypíšou souřadnice polohy špičky nového nástroje, potom se roztočí vřeteno na původní otáčky a běh programu pokračuje následujícím blokem.

M8 SPUŠTĚNÍ CHLAZENÍ

M9 VYPNUTÍ CHLAZENÍ

Adresy: - bez adres



Praktické použití

N20 M8

Funkce **M8** spustí motor čerpadla chladicí kapaliny. Funkce má trvalou platnost do vypnutí funkcí **M9** nebo do konce programu. Při výměně nástroje se čerpadlo automaticky vypne.

M17 KONEC PODPROGRAMU

Adresy: bez adres



Praktické použití

N250 M17

Funkcí **M17** se povinně ukončuje každý podprogram. Funkce vrací řídicí systém zpět na blok následující za blokem, ze kterého byl skok do podprogramu proveden. Funkce má význam spolu s funkcemi **G23**, **G25**, **G29**.

Pokud je v programu nalezena funkce **M17** a přitom nebyl volán nový podprogram (např. pokud není ukončen hlavní program funkcí **M30** nebo byl spuštěn samostatný podprogram určený pro volání z jiného programu), bude vypsáno chybové hlášení **Chybný návrat z podprogramu** nebo **Hlavní program není ukončen funkcí M30**.

Pokud naopak není nalezena funkce **M17** po volání podprogramu, bude vypsána chybová hláška **Chybné volání podprogramu**.

M20 VÝSTUPNÍ SIGNÁL

M21 KONEC VÝSTUPNÍHO SIGNÁLU

Adresy: Q



Praktické použití

N73 M20 Q2 Q4

N80 M21 Q4

Funkce **M20** a **M21** jsou určeny pro ovládání programovatelných výstupů řídicího systému. Pomocí těchto výstupů je možno řídit činnost dodatečně připojených zařízení např. chlazení či odsávání, optické nebo akustické signalizace, automatického upínače obrobků. Funkce **M20** spíná elektrický signál na jeden nebo více programovaných výstupů. Signál trvá do ukončení funkcí **M21** nebo do ukončení programu. Způsob napojení na výstupní signály je uveden v elektrodokumentaci stroje. Max zatížitelnost jinak nevyužitých kontaktů 36 W, max. napětí 110 VAC viz podrobná dokumentace.

Tab. 17 Význam adres a jejich přípustný rozsah (základní nastavení)

Adresa	Význam	Rozsah
B	Úhel směru pohybu	± 3000
E	Čas	0 - 30
F	Rychlost posuvu	0.001 – 8000
G	Přípravná funkce	Viz tab.
H	Počet opakování	1 – 255 INT
I	Interpolační parametr v ose X	± 320
K	Interpolační parametr v ose Z	± 320
L	Adresa bloku podprogramu	0 – 9999 INT
M	Pomocná funkce	Viz tab.
N	Číslo bloku	0 – 9999 INT
O	Číslo podmínky - vstupní linky	1 – 408 INT
P	Číslo parametru	0 - 99 INT
Q	Číslo výstupní linky	1 – 108 INT
R	Poloměr kruhového oblouku	0.1 - 320
S	Otáčky vřetena	40 - 3000
T	Číslo nástroje	1 – 255
U	Pomocný rozměr ve směru X	0.1 - 160
W	Pomocný rozměr ve směru Z	0.1 - 320
X	Délka přestavení v ose X	0 – 160
Z	Délka přestavení v ose Z	0 – 320

Poznámky: - INT zadávaná hodnota musí být celé číslo

- Adresy I K R U W X Z je možno zadávat s krokem 0.001 mm

- Nastavení rozsahu adres lze změnit v systémovém souboru MEZE.DAT

8. FRÉZKA EMCO ŘÍDÍCÍ SYSTÉM SINNUMERIK 810D

Podrobněji zde budou rozebrány pouze G a M funkce, které se používají nejčastěji. Program pro složitější součásti raději vytváříme pomocí CAM systému.

Tab. 18 Tabulka příkazů [25]

Příkaz	VÝZNAM
G0	rychloposuv
G1	posuv
G2	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
CIP	kruhová interpolace přes mezibod
G4	prodleva
G9	přesné najetí - působí v jedné větě
G17	interpolační rovina XY
G18	interpolační rovina XZ
G19	interpolační rovina YZ
G25	ohraničení minimálního pracovního pole, ohraničení počtu otáček
G26	ohraničení maximálního pracovního pole, ohraničení počtu otáček
G33	závit s konstantním stoupáním
G331	vrtání závitu
G332	zpětný pohyb při vrtání závitu
G40	vypnout kompenzaci poloměru nástroje
G41	zapnout kompenzaci poloměru nástroje vlevo
G42	zapnout kompenzaci poloměru nástroje vpravo
G53	zrušení nastavitelného posunutí nulového bodu - působí v jedné větě
G54-G57	nastavitelné posunutí nulového bodu
G500	zrušení nastavitelného posunutí nulového bodu
G505-G599	nastavitelná posunutí nulového bodu
G60	zpomalení rychlosti, přesné najetí
G601	jemné přesné najetí
G602	hrubé přesné najetí
G603	znovu zapnout, je-li dosaženo požadované hodnoty
G63	řezání závitu bez synchronizace
G64	režim řízení dráhy

G641	režim řízení dráhy s programovaným přejezdem
G70	programování v palcích
G71	programování v mm
G90	absolutní programování
G91	přírůstkové programování
G94	posuv v mm/min nebo Inch/min
G95	posuv v mm/ot nebo Inch/ot
G96	konstantní řezná rychlost
G97	zrušení konstantní řezné rychlosti
G110	programování v polárních souřadnicích, vztažených k naposled najeté poloze
G111	programování v polárních souřadnicích, vztažených k aktuálnímu nulovému bodu souřadného systému
G112	programování v polárních souřadnicích, vztažených k poslednímu platnému pólu
G140	měkké najetí a odjetí
G141	najetí popř. odjetí zleva
G142	najetí popř. odjetí zprava
G94	posuv v mm/min nebo Inch/min
G95	posuv v mm/ot nebo Inch/ot
G143	směr najetí příp. odjetí v závislosti na relativní poloze od počátečního popř. koncového bodu ke směru tangenty
G147	najetí po přímce
G148	odjetí po přímce
G247	najetí po čtvrtkružnici
G248	odjetí po čtvrtkružnici
G340	prostorové odjetí a najetí (základní nastavení)
G341	najetí a odjetí v rovině
G347	najetí po půlkružnici
G348	odjetí po půlkružnici

Tab. 19 Tabulka funkcí M [25]

PŘÍKAZ	VÝZNAM
M0	programový stop
M1	volitelný stop
M2	konec programu
M3	start vřetena (ZAP) ve směru hod. ručiček
M4	start vřetena (ZAP) proti směru hod. ručiček
M5	stop vřetena (VYP)
M6	výměna nástroje (musí být v samostatné větě)
M8	start chlazení (ZAP)
M9	stop chlazení (VYP)
M10	dělicí přístroj - zapnout zpevnění (ZAP)
M11	dělicí přístroj - vypnutí zpevnění (VYP)
M17	konec podprogramu
M25	otevřít upínací zařízení/strojní svěrák
M26	zavřít upínací upínací zařízení/strojní svěrák
M27	pootočení dělicího přístroje
M30	konec hlavního programu
M70	polohování vřetena s řízenou polohou
M71	zapnout ofukování (ZAP)
M72	vypnout ofukování (VYP)

Tab. 20 Tabulka cyklů [25]

PŘÍKAZ	VÝZNAM
CYCLE 71	čelní frézování
CYCLE 81	vrtání, navrtávání
CYCLE 82	vrtání, čelní zahloubení
CYCLE 83	vrtání hlubokých děr
CYCLE 84	řezání závitu závitníkem bez délkové kompenzace
CYCLE 840	řezání závitu závitníkem s délkovou kompenzací
CYCLE 85	vyvrtávací cyklus 1
CYCLE 86	vyvrtávací cyklus 2
CYCLE 87	vyvrtávací cyklus 3
CYCLE 88	vyvrtávací cyklus 4
CYCLE 89	vyvrtávací cyklus 5
CYCLE 90	frézování závitu
HOLES1	otvory v řadě
HOLES2	otvory na kružnic i
LONGHOLE	dlouhé drážky na kružnic i
POCKET1	frézování pravoúhlé kapsy kapsy
POCKET2	frézování kruhové kapsy
POCKET3	frézování pravoúhlé kapsy
POCKET4	frézování kruhové kapsy
SLOT1	drážky na kružnici
SLOT2	kruhová drážka

8.1 Nulové body

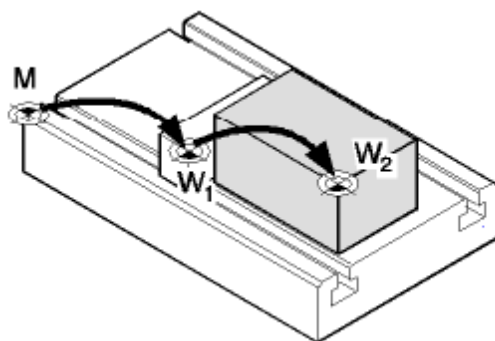
Při programování záleží posunutí nulového bodu na zvyklostech programátora. Velmi často bývá nulový bod (W_1) již odměřen a fixně uložen v řídicím systému a voláme je příkazy **G53-G57,G500-G599**. Například to bývá roh pevné čelisti svěráku. Další posunutí (W_2) pak provádíme pomocí příkazu TRANS. Další práce s nulovým bodem případně celým souřadným systémem je pomocí rámců viz níže.

G53 Zruší nulová posunutí v jedné větě.

G500 Zruší se G54 - G599 .

G54-57 Nastavitelná posunutí nulového bodu.

G505-599 Nastavitelná posunutí nulového bodu.



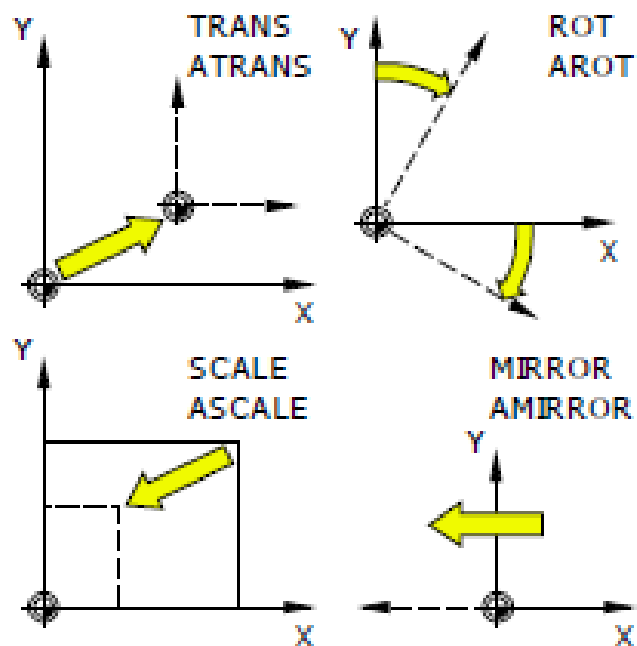
Obr. 8.1 Posunutí nulového bodu [25]

Rámce (Frames)

Pomocí rámců (Frames) je možno změnit aktuální souřadný systém.

- Posunutí souřadného systému: TRANS, ATRANS
- Otočení souřadného systému: ROT, AROT
- Změna měřítka nebo zkreslení: SCALE, ASCALE
- Zrcadlení souřadného systému: MIRROR, AMIRROR

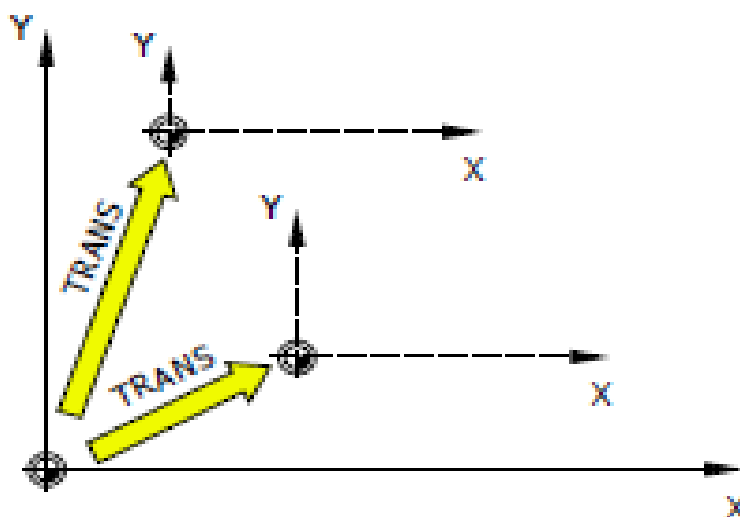
Rámcové příkazy se vždy programují v samostatné NC-větě a jsou prováděny v naprogramovaném pořadí. Rámce s předponou A se vztahují již k jednomu programovanému příkazu.



Obr. 8.2 Rámce [25]

Posunutí nulového bodu TRANS

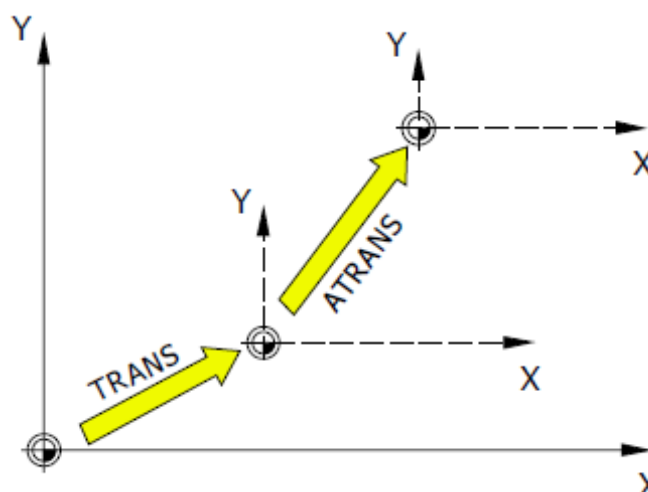
Absolutní posunutí nulového bodu, vztahující se k aktuálnímu nulovému bodu G54-G599. (TRANS vymaže veškeré předtím naprogramované rámce (TRANS, ATRANS, ROT AROT)).



Obr. 8.3 Použití rámce TRANS [25]

Posunutí nulového bodu ATRANS

Aditivní posunutí nulového bodu, vztahující se k aktuálně nastavenému nulovému bodu (G54-G599) nebo programovanému nulovému bodu (TRANS/ATRANS). Posunutí vztahující se k již existujícím rámcům (TRANS, ATRANS, ROT, AROT, ...) se programuje pomocí ATRANS.



Obr. 8.4 Použití rámce ATRANS [25]

8.2 Programování řezného nástroje

Vyvolání nástroje

T...: Číslo nástroje v zásobníku

D...: Číslo korekce nástroje

Každému číslu nástroje T můžeme přiřadit až 9 čísel korekce D. Jeden nástroj může mít více čísel korekce (např. čelní frézu můžeme použít jako srážecí frézu, na jednom nástroji se odměří dva různé body). Dle použití se pak v programu vyvolá např. T1 D1 nebo T1 D2 .

Pomocí příkazu T a D. vyvoláme hodnoty korekce nástroje D, nástroj se ještě nevymění. Údaje pro korekci nástroje (Délka frézy, poloměr frézy,...) jsou uloženy v paměti korekce nástroje (D).

Možná čísla nástroje : T 1..32000, D 1..9

Výměna nástroje

M6: Výměna nástroje

Pomocí M6 se automaticky provedou veškeré pohyby potřebné pro výměnu nástroje. Abychom předešli kolizi, je nutno nejdříve nástrojem odjet od obrobku.

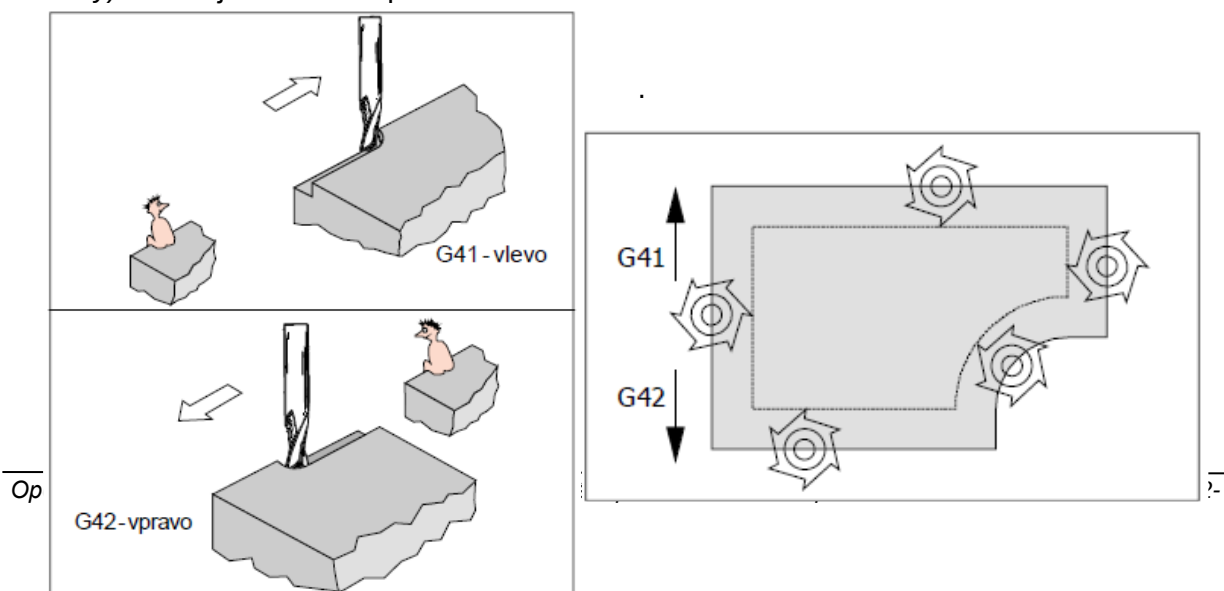
Korekce poloměru nástroje G40-G42

G40 Zrušení korekce poloměru nástroje (AUS)

G41 Korekce poloměru nástroje vlevo (LINKS) (sousedné frézování)

G42 Korekce poloměru nástroje vpravo (RECHTS) (nesousedné frézování)

Pomocí G41/42 najede nástroj na ekvidistantu k naprogramované kontuře. Odstup kontury a ekvidistanty odpovídá poloměru nástroje. Pro určení G41/42 (vlevo/vpravo od kontury) se dívejte ve směru posuvu viz obrázky.



Obr. 8.5 Korekce poloměru nástroje [25]

8.3 Pracovní pohyby

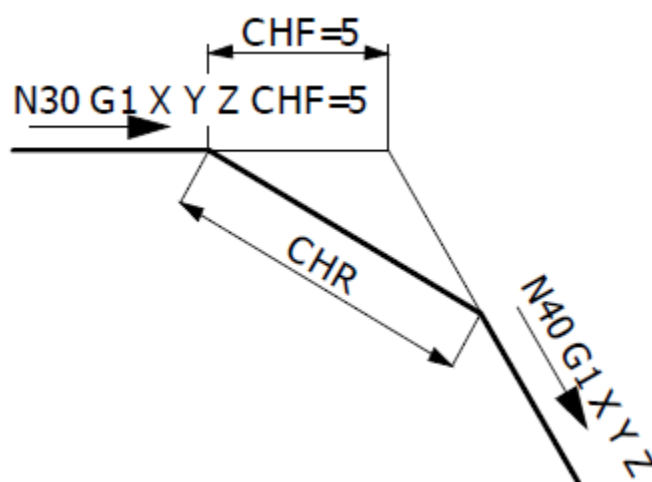
G0, G1 Přímá interpolace

G0 pojezd rychloposuvem.

G1 pojezd naprogramovaným posuvem F.

Sražení hrany

Sražení se vloží po větě, ve které je programováno. Sražená hrana leží vždy v pracovní rovině (G17). Sražená hrana se vkládá symetricky do rohu kontury. CHF udává velikost sražení hrany.



Obr. 8.6 Sražení hrany [25]



Praktické použití

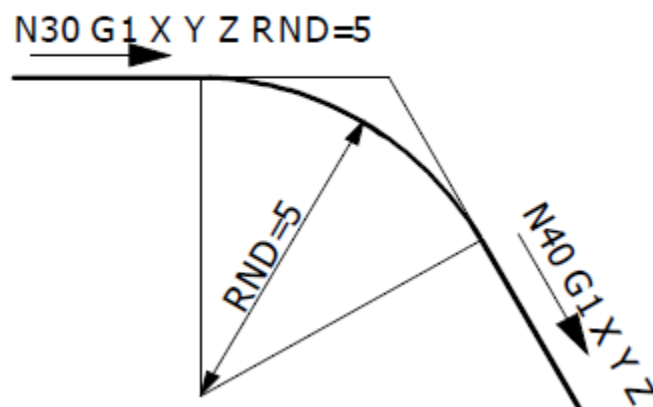
Příklad zápisu:

N30 G1 X.. Y.. CHF=5

N35 G1 X.. Y..

Zaoblení

Zaoblení se vloží po větě, ve které je programované. Zaoblení leží vždy v pracovní rovině (G17). Zaoblení je kruhový oblouk a vkládá se tangenciálním připojením do rohu kontury. RND udává poloměr zaoblení.



Obr. 8.7 Zaoblení hrany [25]



Praktické použití

Příklad zápisu:

N30 G1 X.. Y.. RND=5

N35 G1 X.. Y..

Modální zaoblení RNDM

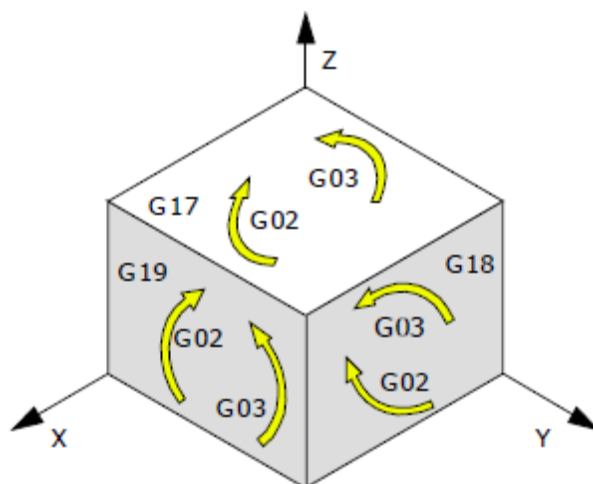
Na každém dalším rohu kontury dojde k zaoblení, dokud pomocí RNDM=0 modální zaoblení nezrušíme.

G2, G3 Kruhová interpolace

G2 ve směru hodinových ručiček

G3 proti směru hodinových ručiček

Zobrazení kruhového pohybu pro různé hlavní roviny. Počáteční a koncový bod kruhového pohybu leží v jedné rovině. Naprogramujeme-li změnu 3. osy (např. pro G17 osu Z), vznikne šroubovice.



Obr. 8.8 Programované roviny a směry kruhové interpolace

Programování pomocí počátečního, koncového bodu a středu kružnice.

G2/G3 X.. Y.. Z.. I.. J.. K..

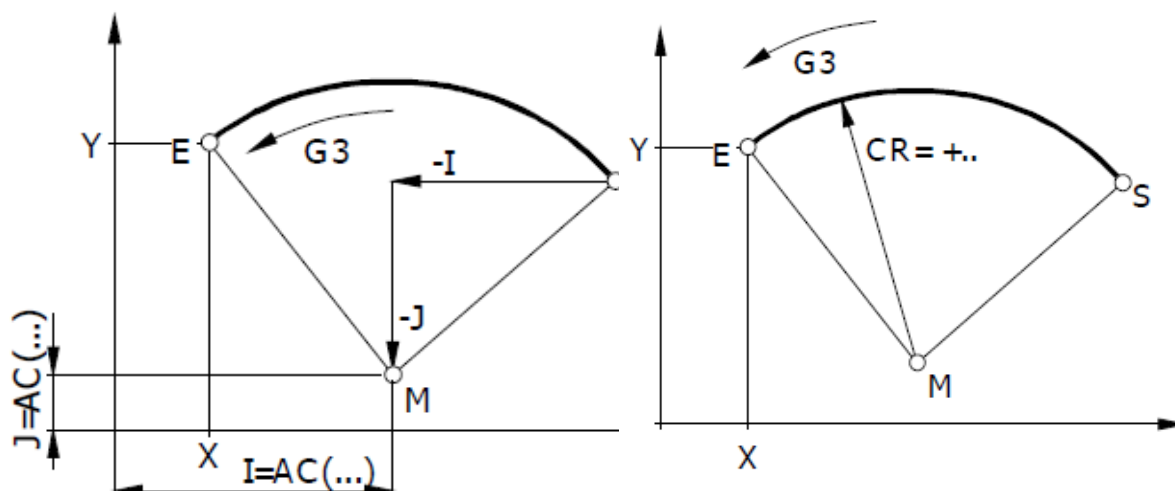
X, Y, Z **koncový bod E** (viz. obr) v pravoúhlých souřadnicích

I, J, K **střed kružnice M** (viz. obr) v pravoúhlých souřadnicích, vztažených k počátečnímu bodu kruhového oblouku S.

Počáteční bod S - Bod, ve kterém se nástroj nachází v okamžiku vyvolání G2/G3.

Koncový bod E - programujeme pomocí X, Y, Z.

Střed kružnice M- programujeme inkrementálně od počátečního bodu pomocí I, J, K nebo absolutně od nulového bodu obrobku pomocí I=AC(..), J=AC(..), K=AC(..) .



Obr. 8.9 Kruhová interpolace z bodu S do E [25]

Programování pomocí počátečního a koncového bodu a poloměru kružnice

G2/G3 X.. Y.. Z.. CR=±..

X, Y, Z koncový bod E v pravouhlých souřadnicích

CR=± poloměr kružnice

Počáteční bod - Zde se nástroj nachází v okamžiku vyvolání G2/G3 .

Koncový bod - programujeme pomocí X, Y, Z .

Poloměr kružnice – zadáváme pomocí CR. Znaménko udává, zda je kruh větší nebo menší než 180°.

CR=+ úhel menší nebo roven 180°

CR=- úhel větší než 180°.

Úplnou kružnici nelze pomocí CR programovat.

8.4 Programování nepoužívanějších cyklů

Pro všechny G - funkce i cykly je možné přímo v řídicím systému vyvolat nápovědu. Proto jsou zde uvedeny pouze základní cykly.

CYCLE81 Vrtání, navrtávání

CYCLE82 Vrtání, zarovnávání na hloubce

Nástroj musí před cyklem najet do polohy pro vrtání. Nástroj najede naprogramovaným posuvem F do hloubky otvoru DP/DPR a rychloposuvem z otvoru vyjede.

Pomocí CYCLE 82 můžeme dodatečně naprogramovat prodlevu DTP .

Formát:

CYCLE81 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR)

CYCLE82 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,DTP)

RTP zpětná rovina absolutně. ReTraction Plane. V této výšce stojí nástroj po skončení cyklu. RTP musí ležet výše než referenční rovina.

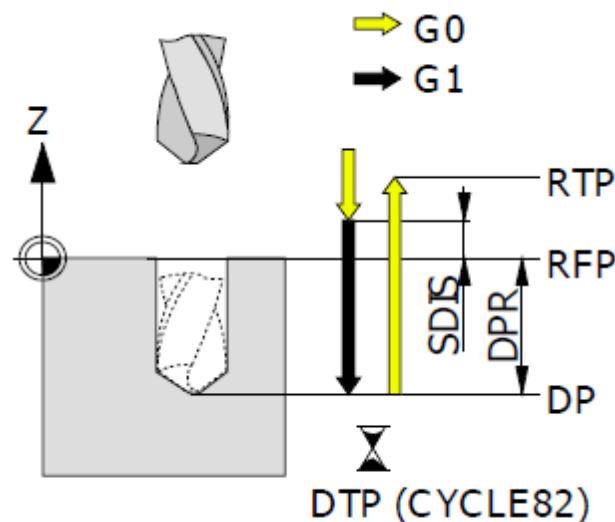
RFP Referenční rovina absolutně. ReFERENCE Plane. Výška povrchu čela obráběného předmětu, nulový bod obrobku leží většinou na jeho čele (RFP=0).

SDIS Bezpečnostní vzdálenost bez znaménka. Safety DIStance. Nástroj najede rychloposuvem do výšky SDIS nad referenční rovinu a potom přepne na pracovní posuv.

DP Celková hloubka otvoru absolutně. DePth. Hloubka vrtání vztahující se na nulový bod obráběného předmětu.

DPR celková hloubka otvoru relativně k referenční rovině. DePth Relative. Hloubka vrtání vztahující se k referenční rovině, bez znaménka. Programujeme buď DP nebo DPR.. Jsou-li i přes to zadány obě hodnoty, platí DPR.

DTP prodleva na dně otvoru v [s] Dwell Time at end drilling dePth. Nástroj vyjede z vyvrtaného otvoru až po určité prodlevě, aby se začistilo dno otvoru. (jenCYCLE82).



Obr. 8.10 Vrtací cyklus 81 a 82 [25]

CYCLE83 Hluboké vrtání

Formát:

CYCLE83 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,FDEP,FDPR,DAM,DTP,DTS,FRF,VARI)

Dodatečné parametry ke G81:

FDEP První hloubka vrtání absolutně. First DEPth. Hloubka prvního zavrtání vztažená k nulovému bodu obrobku.

FDPR První hloubka vrtání relativně. First DePth Relative. Hloubka prvního zavrtání, vztažená k referenční rovině.

DAM hodnota zmenšování Degression AMount První hloubka vrtání se při každé dalším vrtání zmenšuje o hodnotu DAM.

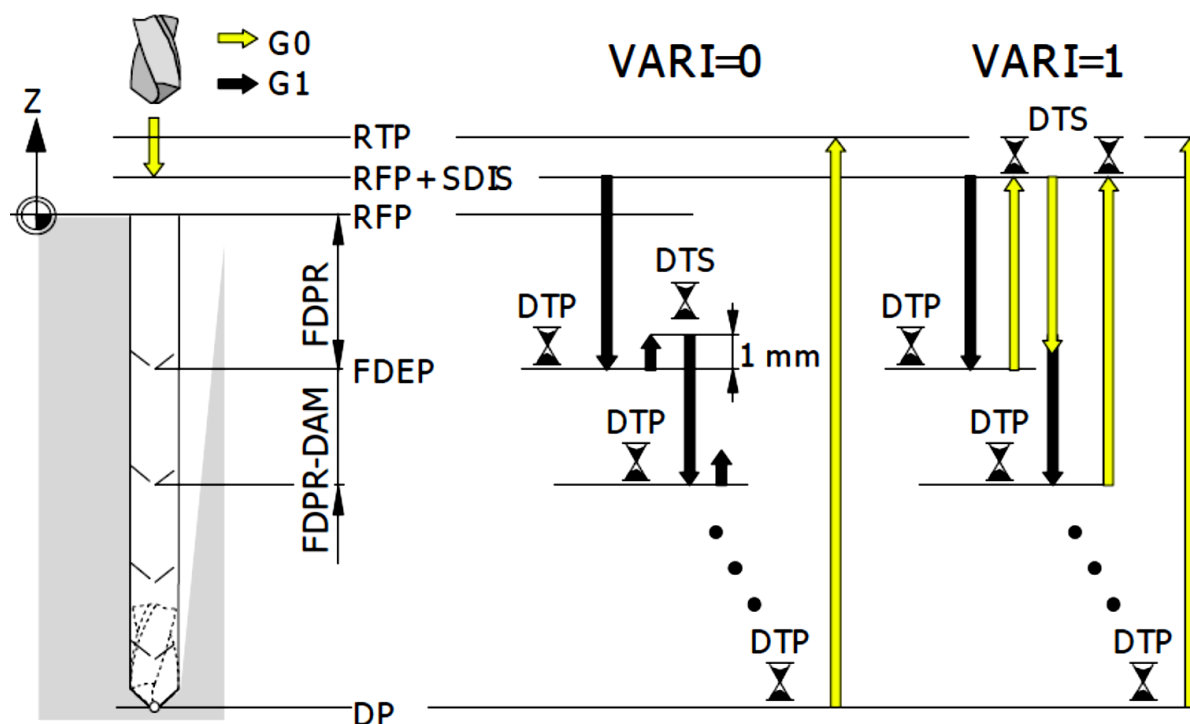
DTS časová prodleva před přísuvemv [s] Dwell Time at infeed Start. Nástroj po každém přísuvu odjede zpět a teprve po časové prodlevě odjede na další přísuv (hloubku).

FRF faktor posuvu pro první hloubku vrtání Feed Reduction Factor Programovaný posuv je možno tímto faktorem pro první vrtání snížit, rozsah zadávání je 0,001 - 1.

VARl druh obrábění VARlant

VARl=0 - zlomení třísky. Po každém přísuvu odskočí nástroj o 1mm zpět, aby se tříška mohla ulomit.

VARl=1 - odstranění třísek (výplach). Po každém přísuvu vyjede nástroj z otvoru až na referenční rovinu, aby se třísky mohly z otvoru vyplavit.



Obr. 8.11 Vrtací cyklus 83 [25]

CYCLE71 Čelní frézování

Formát:

CYCLE71

(RTP,RFP,SDIS,DP,PA,PO,LENG,WID,STA,MID,MIDA,FDP,FALD,FFP1,VARI)

RTP zpětná rovina - absolutní ReTraction Plane. V této výšce stojí nástroj po skončení cyklu. RTP musí ležet výš než referenční rovina.

RFP referenční rovina - absolutní ReFERENCE Plane. Výška povrchu čela obrobku, nulový bod obrobku leží většinou na jeho čelní straně (RFP=0)

SDIS bezpečnostní odstup bez znaménka Safety DIStance. Nástroj pojede rychloposuvem na výšku SDIS nad referenční rovinu a pak přepne na pracovní posuv.

DP hloubka - absolutní DePth

PA počáteční bod čtyřúhelníku 1. osa Point Abcissa

PO počáteční bod čtyřúhelníku 2.osa Point Ordinate

LENG délka čtyřúhelníku v 1. ose - inkrementálně LENGth Roh, z kterého se měří se rozpozná podle znaménka.

WID délka čtyřúhelníku v 2. ose - inkrementálně. WIDth Roh, z kterého se měří se rozpozná podle znaménka.

STA úhel mezi podélnou osou čtyřúhelníku a 1. osou roviny (první souřadnice, bez znaménka). rozsah hodnot : $0^\circ < _STA < 180^\circ$

MID max. hloubka přísuvu (bez znaménka) Maximal Infeed Depth

MIDA max. šířka přísuvu při vyhrubování v rovině (bez znaménka) Maximal Infeed Depth A

FDP dráha pro odjetí od obrobku v rovině (inkrementálně ,bez znaménka)

FALD přídavek pro hlazení - hloubka (inkrementálně, bez znaménka). Při způsobu obrábění "hrubování" znamená FALD zbytek materiálu pro hlazení. Finishing Allowance Depth

FFP1 posuv pro obrábění plochy Feed For Plane

VARI způsob obrábění VARIant

MÍSTO JEDNOTEK

Hodnoty:

1... vyhrubování až k přídavku pro hlazení

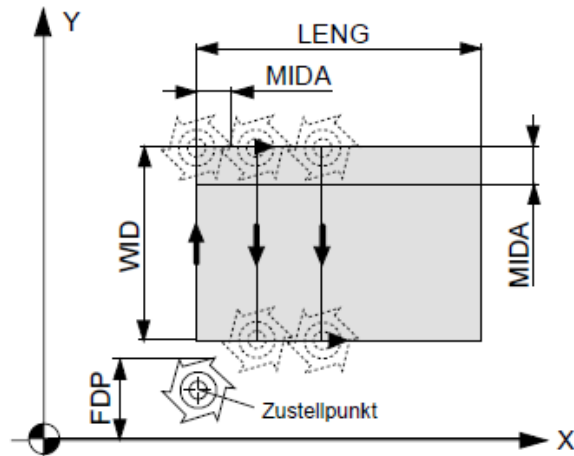
2... hlazení

MÍSTO DESÍTEK

Hodnoty:

1... paralelně k první souřadnici , v jednom směru

- 2... paralelně k druhé souřadnici, v jednom směru
- 3... paralelně k první souřadnici, se střídavým směrem
- 4... paralelně k druhé souřadnici, se střídavým směrem



Obr. 8.12 Cyklus čelní frézování [25]

8.5 Využití CAM systému pro tvorbu programu

V licencovaných CAM systémech je možné vytvořit pomocí postprocesoru NC program pro daný řídicí systém. Někdy však odlazený postprocesor není k dispozici. V takovém případě je možné využít stávajícího postprocesoru jen pro vygenerování geometrických dat nejlépe za použití základních G a M funkcí. U takového postupu je následně nutné upravit věty začátku programu, také věty před a při výměně nástroje a konec programu.

Ukázka vygenerovaného NC programu z MasterCAM X6

```
%
O0000 (VAHADLO_L_UP1)
(MCX FILE - \\SRVG129A\NC PROGRAMY\ALEŠ\V_L_CELE\V_L_H_HRUB_K1-
3.EMCX-6)
(NC FILE - \\SRVG129A\NC PROGRAMY\ALEŠ\V_L_CELE\VAHADLO_L_UP1.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T219 | 10. FLAT ENDMILL | H219 | XY STOCK TO LEAVE - .5 | Z
STOCK TO LEAVE - 0. )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T219 M6
N106 G0 G90 G54 X42.57 Y42.134 S1591 M3
N108 G43 H219 Z25.
N110 Z10.
N112 G1 Z1. F25.
N114 G2 X28.5 Y33. Z-1.25 I-4.07 J-9.134
N116 G1 X34.5 F22.9
N118 G3 I-3.5 J0.
```

Pro použití na stroji je třeba poznámky o umístění souboru buď smazat nebo přidat na začátek řádku středník. Taktéž je třeba upravit / smazat vygenerované G funkce, které systém nezná. A přidat volbu posunutí nulového bodu a Trans pro aktuální obrobek. Geometrická data jsou řešena standartními G- funkcemi proto je lze využít.

Ukázka upraveného programu pro použití na stroji EMKO

```
;O0000 (VAHADLO_L_UP1)
;(DATE=DD-MM-YY - 23-07-14 TIME=HH:MM - 07:34)
N100 G54
N101 Trans z30 y2
N102 G17 G40 G90
N104 T1D1 M6
N106 G0 G90 X42.57 Y42.134 S1591 M3
N108 G0 Z25.
N110 Z10.
N112 G1 Z1. F25.
N114 G2 X28.5 Y33. Z-1.25 I-4.07 J-9.134
N116 G1 X34.5 F22.9
N118 G3 I-3.5 J0.
```

KAPITOLA 6,7,8 - LITERATURA

- [24] Lubomír Štajnochr, Vladimír Slavík, *Uživatelská příručka pro řídicí systém mikroprog S verze 3.x (Windows)*, Mikronex.
- [25] Manuál programování *EMCO WinNC SINUMERIK 810D/840D* frézování Ref.č. DE 1814 Vydání C2001-2

Závěrečné slovo

Předkládané studijní materiály, určené pro vzdělávání středoškolských pedagogů obsahují vybrané progresivní metody současného obrábění. Vhodným výběrem pro dané výrobní prostředí a následnou správnou aplikací některé z uváděných metod je možné splnit i ty nejnáročnější požadavky, které si současný globální trh žádá.

Záměrem autorů je především informovat kolegy, kteří působí na středním stupni našeho školství, které vybrané okruhy široké problematiky obrábění se na jejich škole vyučují.

Přáním celého kolektivu autorů je, aby tyto učební texty usnadnily těm, pro které byly určeny, se v neustále se rozvíjícím oboru strojírenské technologie orientovat.

Autorský kolektiv	prof. Dr. Ing. Josef BRYCHTA prof. Ing. Andrej CZÁN, PhD doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D. Ing. Jiří KRATOCHVÍL, Ph.D. Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D. doc. Ing. Marek SADÍLEK, Ph.D. doc. Ing. Dana STANČEKOVÁ, PhD. Ing. Tomáš ZLÁMAL	
Katedra, institut:	obrábění a montáže	346
Název:	Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů	
Místo, rok, vydání:	Ostrava, 2014, 1 vydání	
Počet stran:	173	
Vydala:	VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 17. listopadu 15/2172 708 33 Ostrava - Poruba	
Tisk:	Katedra obrábění a montáže Fakulta strojní VŠB - TU Ostrava	
Náklad:	50	

ISBN 978 – 80 – 248 – 3522 – 8