

MARIAN KRÁLIK
A KOLEKTÍV AUTOROV

PROGRAMOVANIE CNC SYSTÉMOV



GLIWICE 2023

ISBN 978-83-65593-35-1

PROGRAMOVANIE CNC SYSTÉMOV

MARIAN KRÁLIK

A KOLEKTÍV AUTOROV



Gliwice 2023

Autori:

Marian KRÁLIK, Doc. Ing. CSc.
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Bratislava, Slovensko

Witold BIAŁY, dr hab. inż. prof. ITG KOMAG
Instytut Techniki Górniczej, KOMAG
Gliwice, Poland

Peter MICHALIK, Doc. Ing. PhD, Ing.- Paed. IGIP
Technická univerzita v Košiciach
Prešov, Slovensko

Pavol BOŽEK, Dr.h.c. Prof. Ing. CSc.
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Bratislava, Slovakia

Ivan MORÁVEK, Ing. PhD.
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Bratislava, Slovakia

Recenzenti:

Michal KELEMEN, prof. Ing., PhD.
Technická univerzita v Košiciach
Prešov, Slovensko

Elena PIVARČIOVÁ, prof. Mgr. PhD.
Technická univerzita Zvolen
Fakulta techniky
Zvolen, Slovensko

Vladimír VAŠEK, prof. Ing. CSc.
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Zlín, Česko

PROGRAMOVANIE CNC SYSTÉMOV *Akademická učebnica*

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2023.3>

Autori:

Marian KRÁLIK, Doc. Ing. CSc.

Witold BIAŁY, dr hab. inż. prof. ITG KOMAG

Peter MICHALIK, Doc. Ing. PhD. Ing.- Paed. IGIP

Pavol BOŽEK, Dr.h.c. Prof. Ing. CSc.

Ivan MORÁVEK, Ing. PhD.

Recenzenti:

Michal KELEMEN, prof. Ing. PhD.

Elena PIVARČIOVÁ, prof. Mgr. PhD.

Vladimír VAŠEK, prof. Ing. CSc.

Vydanie: 1

Vydal: ITG KOMAG, Gliwice

Rok vydania: 2023

Počet strán: 163

Náklad: 100 ks.

Autori zodpovedajú za odbornú stránku textu a za konečnú verziu rukopisu.

Autori: © Marian Králik, Witold Biały, Peter Michalík, Pavol Božek, Ivan Morávek

Všetky práva vyhradené.

Učebnica je dostupná v elektronickej verzii. Odkaz na stránku:

<https://www.komag.eu/wydawnictwa/monografie/cyfrowa-gospodarka>

ISBN 978-83-65593-35-1

PROGRAMOVANIE CNC SYSTÉMOV

Marian Králik¹ (0000-0001-5629-3963)

Witold Biały² (0000-0003-2313-0230)

Peter Michalík^{3*} (0000-0001-8431-6050)

Pavol Božek⁴ (0000-0002-3891-3847)

Ivan Morávek⁵ (0009-0005-6428-238X)

¹ Ústav výrobného inžinierstva a kvality produkcie, Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

² Instytut Techniki Górniczej, KOMAG, Instytut Badawczy, Gliwice, Poland

³ Katedra automobilových a výrobných technológií, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, Technická univerzita v Košiciach

⁴ Ústav výrobných technológií, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita v Bratislave

⁵ Centrum inovácií Strojníckej fakulty STU v Bratislave, Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

* Korešpondenčný autor email: peter.michalik@tuke.sk

PodĎakovanie

Schválila Kultúrna a Edukačná Grantová Agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky ako akademickú učebnicu, v rámci riešenia projektu KEGA 035STU-4/2017 „Zavedenie progresívnych metód vzdelávania pre výrobné systémy zamerané na automobilovú produkciu“, projektu KEGA 006STU-4/2021 „Progresívna forma interdisciplinárneho vzdelávania a podpory rozvoja štúdia odborných predmetov v univerzitnom prostredí“ a financovaním z projektu VEGA 1/0488/23 „Výskum vplyvu nových technológií kompozitných materiálov na konštrukčné parametre technologických zariadení s využitím experimračných metód“.

Akademická učebnica vznikla v rámci spolupráce medzi Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave, a Výskumným ústavom banskej techniky (INSTYTUT TECHNIKI GÓRNICZEJ – Instytut Badawczy) KOMAG v Gliwiciach, Poľsko.

OBSAH

1.	Úvod	8
2.	Funkčný princíp CNC obrábacieho stroja	9
3.	Základy Booleovej algebry	10
4.	Základné typy CNC strojov	14
4.1	Sústruh	14
4.2	Frézovačka	19
5.	Riadenie CNC výrobných strojov (riadiaci systém) – druhy a opis činností	20
6.	Opis činností CNC systémov obrábacích strojov	24
6.1	Funkcie riadiaceho systému	30
6.2	Geometria pohybu	31
6.3	Riadenie pohybu	32
6.4	Súradnicové systémy NC strojov	36
7.	Rezné nástroje pre CNC stroje	38
7.1	Materiály rezných nástrojov	39
7.2	Typy rezných nástrojov	53
8.	Systém automatickej výmeny nástrojov	69
8.1	Zásobník nástrojov	69
8.2	Výmenník	72
8.3	Manipulátor	74
8.4	Kódovanie nástrojov	75
9.	Programovanie NC strojov	79
9.1	Ručné programovanie	79
9.2	Automatizované programovanie	80
10.	Základy programovania NC výrobných strojov ručným spôsobom	82
10.1	Štruktúra NC programu	82
10.2	Nomenklatúra osí a pohybov	83
10.3	Spôsoby programovania	84
11.	Programovanie CNC sústruhu EMCO PC Turn 120	86
11.1	Technické parametre stroja	86
11.2	Opis klávesnice	87
11.3	Význačné body obrobku a obrábacieho stroja	90
11.4	Posunutie nulového bodu stroja	91
11.5	Súradnicový systém stroja	92
11.6	Vkladanie posunutia nulového bodu	92
11.7	Zistenie rozmerových parametrov nástrojov	93
11.8	Vkladanie údajov o nástroji	94
11.9	Obsluha stroja	97
11.10	Vkladanie a editácia programu	98
11.11	Vstup a výstup údajov	100
11.12	Beh programu	102
11.13	Grafická simulácia behu programu	104
11.14	Programovanie	106
11.15	Opis prípravných G – funkcií	108
11.16	Opis pomocných M – funkcií	117

11.17	Opis cyklov	118
11.18	Opis obrysu súčiastky	124
11.19	Podprogramy	127
11.20	Ilustratívny príklad	128
12.	TNC 640	132
12.1	Programovanie: Popisný dialóg HEIDENHAIN a DIN/ISO	132
12.2	Ovládacie prvky, cykly, podprogramy TNC	132
12.3	Zapnutie stroja	133
12.4	Programovanie 1. dielu	134
12.5	Vytvorenie nového programu, správa súborov	134
12.6	Definícia polovýrobku	135
12.7	Štruktúra programu	135
12.8	Vytvorenie programu cyklov	137
12.9	Vstupy týkajúce sa nástroja	138
12.10	Údaje o nástroji	139
12.11	Korekcia nástroja	140
12.12	Výber správneho prevádzkového režimu – grafické testovanie programu	142
12.13	Programovanie obrysov	142
12.14	Základné informácie o dráhových funkciách	143
12.15	Nábeh na obrys a opustenie obrysu	145
12.16	Prehľad dráhových funkcií	148
12.17	Podprogramy a opakovania častí programu	151
13.	Tvorba CNC programov s využitím systému NX6	154
13.1	Tvorba 3D modelov	154
13.2	Tvorba CNC programov	155
13.3	Definícia geometrie	155
13.4	Vytváranie nástrojov	156
13.5	Definovanie elementárnych operácií	156
13.6	Simulácia obrábania	157
13.7	Generovanie CNC programu	158
14.	Záver	160
15.	Literatúra	161

1. ÚVOD

Stroje s počítačovým riadením (Computer Numerical Control – CNC) možno dnes nájsť takmer všade, od malých dielní vo vidieckych komunitách až po veľké spoločnosti.

Každý, kto sa podieľa na výrobnom prostredí by si mal byť dobre vedomý možností s týmito sofistikovanými obrábacími a tvárniacimi strojmi. Napr. konštruktér musí mať dostatočné vedomosti o špecifikách „CNC“ kótovania a toleranciách pre obrobky obrábané na CNC strojoch. Nástrojár musí zabezpečiť vybavenie prípravkami a nástrojmi, vrátane držiakov vhodných pre použitie na CNC strojoch. Pracovníci z kontroly kvality by mali pochopiť, že na CNC obrábacích strojoch používaných v rámci svojej spoločnosti treba zodpovedajúcim spôsobom vytvoriť plán kontroly kvality a štatistické riadenie procesu. Personálne riadenie výroby má mať informácie o CNC technológiách tak, aby vytvorili reálne výrobné plány. A je samozrejmé, že CNC programátori, nastavovači, operátori a ďalší pracovníci priamo s CNC zariadeniami im musia dobre rozumieť.

Automatizácia je považovaná za jednu z ciest, ako sa udržať na svetových trhoch v podmienkach tvrdej konkurencie, kde možno obstáť len vtedy, ak dokážeme vyrábať lacnejšie, kvalitnejšie a rýchlejšie ako ostatní. Ak chceme dosiahnuť v oblasti malosériovej až strednosériovej výroby zníženie výrobných nákladov, musíme stroje pružne prispôbiť meniacemu sa sortimentu výrobkov. Takúto pružnosť je možné pri obrábacích strojoch dosiahnuť použitím CNC (Computer Numerical Control) riadených výrobných strojov. CNC stroje patria do skupiny tzv. programovo riadených strojov, ktoré sú charakterizované tým, že zmena výrobného sortimentu, t.j. prechod z jedného typu obrobku na druhý sa uskutočňuje zmenou riadiaceho programu pri skupinovom nastavení nástrojov príp. prípravkov.

Treba zároveň spomenúť, že CNC výrobné stroje sú neoddeliteľnou súčasťou inteligentných výrobných systémov, t.z. moderného výrobného procesu, ktorý nesie termín INDUSTRY 4.0.

Číslicovo riadené obrábacie stroje najprv používali NC riadiace systémy, zatiaľ čo dnes sú výhradne používané CNC riadiace systémy. CNC riadiace systémy majú časť na spracovanie informácií vytvorenú vstavaným počítačom, ktorý má v pamäti uložené softwarové bloky na všetky dôležité funkcie systému na rozdiel od NC riadiaceho systému, ktorý má tieto funkcie pevne zapojené. Jednou z výhod potom CNC riadenia je, že tento systém možno prispôbiť strojom s rôznymi počtami riadených osí, funkciami a pod.

CNC obrábací stroj je teda obrábací stroj, ktorý je číslicovo riadený a konštrukčne prispôsobený tak, aby pracoval v automatickom cykle a mal automatickú výmenu nástrojov príp. obrobkov. Ich hlavnou výhodou je možnosť rýchlo sa prispôbiť meniacemu sa sortimentu výrobkov, možnosť dosiahnutia vysokej a opakovanej kvality vyrábaných dielcov a možnosť pracovať v tzv. bezobslužných prevádzkach. Preto ich možno zaraďovať do automatizovaných výrobných systémov, ktoré zasa môžu byť súčasťou automatizovaných závodov.

Štúdiá, ktorú vám dávame, má slúžiť ako akademická učebnica.

Želáme príjemné štúdium.

Marian Králik a kolektív autorov

2. FUNKČNÝ PRINCÍP CNC OBRÁBACIEHO STROJA

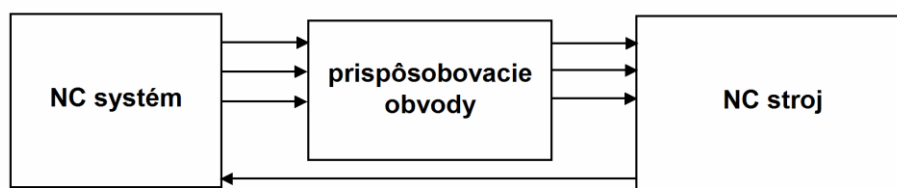
Moderné obrábacie stroje používajú na zabezpečenie automatického cyklu informácie, ktoré sú obsiahnuté vo forme tzv. NC programu. Takýmto zariadeniam sa hovorí ako o zariadeniach „pružnej automatizácie“. Tieto stroje, tzv. NC resp. CNC (*Computer Numerical Control*) stroje zabezpečujú výrobu výrobkov iba zmenou programu. Riadenie si vyberá postupne pokyny a vykonáva ich, zároveň je v neustálom kontakte s inými časťami stroja, od ktorých dostáva dáta a spätne im vysiela pokyny.

Každý numericky riadený stroj je tvorený dvoma základnými samostatnými celkami, a to:

- NC riadeným strojom, ktorý je vybavený takými zariadeniami, ktoré umožňujú realizovať požadovaný priebeh technologického procesu na základe riadiacich signálov určenej štruktúry, ktoré sú prijímané jednotlivými časťami stroja,

- NC riadiacim systémom, ktoré na základe údajov zakódovaných vo forme programu a s využitím údajov spätnoväzobného charakteru prichádzajúcich od riadeného stroja, generuje na výstupe signály pre riadený stroj.

K týmto dvom celkom patria ešte tzv. prispôsobovacie obvody, umožňujúce vzájomné spojenie riadeného stroja s riadiacim systémom (interface) (obr. 3.1). Sú realizované ako skrine obvodov realizovaných pre určitú kombináciu: riadiaci systém – riadený stroj.

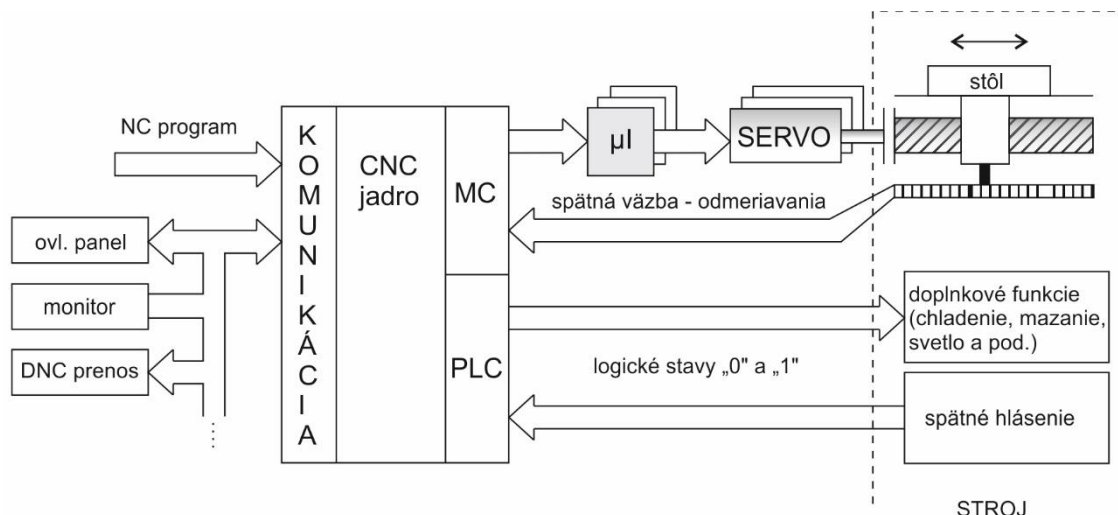


Obr.2.1 Zjednodušená bloková schéma NC výrobného stroja

Číslicové riadenie sa najviac uplatňuje v technológii obrábania (až 80% NC strojov). Pri tvárnení sa využívajú NC stroje najčastejšie na spracovanie plechu (dierovacie lisy, nožnice, ohýbacie stroje, a pod.). NC stroje sa používajú aj na rotačné kovanie, rovnanie, briketovanie (práškovú metalurgiu). Pri zváraní sa uplatňujú NC stroje najmä ako NC odporové zväračky, NC stroje na oblúkové zváranie, NC stroje na zváranie laserom a na rezanie plameňom. Špecifickú oblasť NC výrobných techník tvoria zariadenia pre elektrotechnický priemysel (stroje na výrobu tlačných spojov, opracovanie káblov a pod.). NC technika postupne preniká aj do ďalších technologických oblastí a je hlavným trendom vývoja výrobných strojov.

3. ZÁKLADY BOOLEOVEJ ALGEBRY

Vo všeobecnosti použitie Booleovej algebry umožňuje systematický postup pri návrhu logických obvodov číslicového zariadenia. Uľahčuje pochopenie činnosti tohto zariadenia konštruovaného z minimálneho počtu prvkov, určených podľa tejto algebry.



MC - riadenie pohybu (Motion Control)

PLC - programovateľný logický automat (Programmable Logic Control)
- riadi a vyhodnocuje funkcie stroja popísateľné logickými úrovňami „0“ a „1“

μI - mikrointerpolátor
- stará sa o generovanie dráhy a výkonové riadenie servomotora

Obr. 3.1 Zjednodušená bloková schéma CNC systému

Logická premenná B-algebry (x) môže nadobudnúť len dve logické hodnoty, „0“ a „1“.

Na popis ľubovoľnej logickej funkcie používa tri základné operácie:

- logický súčin (konjunkcia, funkcia A, AND),
- logický súčet (disjunkcia, funkcia ALEBO, OR) ,
- logickú negáciu (inverzia, funkcia NIE, NON, NOT) .

Medzi týmito operáciami sú úzke súvislosti (De Morganove pravidlá), tab. 3. 1. Pomocou B-funkcií môžeme zapísať sústavu štruktúrnych výstupných funkcií ľubovoľného kombinačného (logického) obvodu (obr. 3.1), ale aj sústavu vnútorných a výstupných funkcií logického systému vôbec, ktorý pracuje s dvojhodnotovými signálmi.

Na prehľadný zápis a zadávanie logickej funkcie sa používa pravdivostná tabuľka (tab. 3.2). Ľavá časť tabuľky obsahuje všetky kombinácie vstupných premenných. Pravá časť priraduje každej vstupnej kombinácii zodpovedajúcu hodnotu zadávanej logickej funkcie. Napr. dve nezávislé premenné x_1 a x_2 môžu nadobudnúť štyri stavy, pričom stavom rozumieme jednu kombináciu logických hodnôt. K týmto štyrom stavom môžeme stanoviť 16 vzájomne rôznych logických funkcií, ktoré si označíme y_1 až y_{16} (tab. 3.2).

Tab. 3.1 De Morganove pravidlá

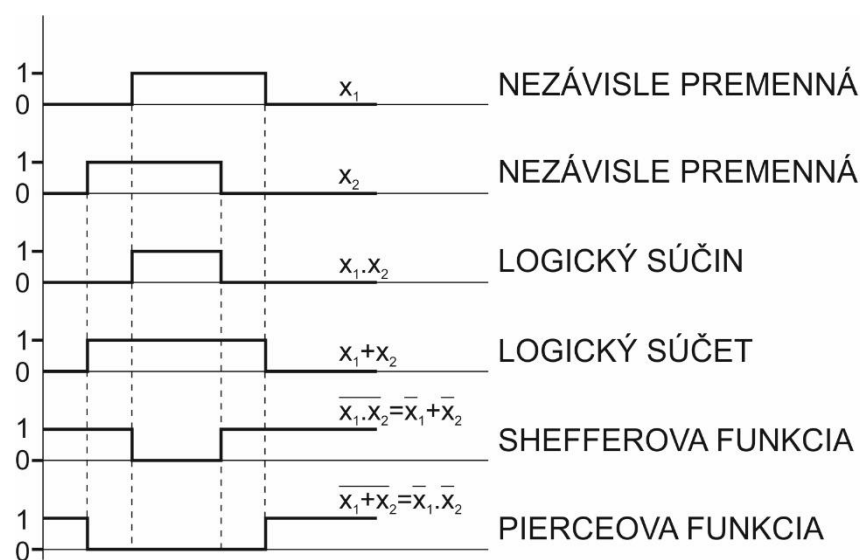
$0 \cdot x = 0$ $1 + x = 1$	zákony agresívnosti konštant 0 a 1
$1 \cdot x = x$ $0 + x = x$	zákony neutrálnosti konštant 0 a 1
$x \cdot x = x$ $x + x = x$	zákony idempotentnosti
$x \cdot \bar{x} = 0$ $x + \bar{x} = 1$	zákony vylúčenia tretieho
$x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$ $x_1 + x_2 = x_2 + x_1$	komutatívne zákony
$x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) = (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3$ $x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3$	asociatívne zákony
$\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$ $\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$	pravidlá de Morgana
$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3$ $x_1 + x_2 \cdot x_3 = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3)$	distributívne zákony
$\overline{(\bar{x})} = x$ $\{\overline{(\bar{x})}\} = \bar{x}$	pravidlo o dvojnásobnej a viacnásobnej inverzii
$x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1$ $x_1(x_1 + x_2) = x_1$	zákony absorpcie
$x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 = x_1$ $(x_1 + x_2) \cdot (x_1 + \bar{x}_2) = x_1$	zákony spojovania
$x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 = x_1 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2$	zákon rozšírenia spojenia

Tab. 3. 2 Pravdivostná tabuľka

x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉	y ₁₀	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅	y ₁₆
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1

Tab. 3.3 Názvy niektorých logických funkcií

Funkcia	Vyjadrenie pomocou logického súčinu, súčtu, negácie	Názov logickej funkcie
y_5	$y_5 = \overline{x_1}$	negácia x_1 (x_1 non)
y_7	$y_7 = x_1 x_2$	logický súčin, AND
y_8	$y_8 = x_1 + x_2$	logický súčet, OR
y_9	$y_9 = \overline{x_1 x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}$	Piercova funkcia, NOR
y_{10}	$y_{10} = \overline{x_1 x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}$	Shefferova funkcia, NAND
y_{12}	$y_{12} = x_1 \overline{x_2} + \overline{x_1} x_2$	nerovnosť, EXCLUSIVE OR



Obr. 3.2 Priebeh vstupných a výstupných signálov pri logických operáciach

Zostavenie logického výrazu z pravdivostnej tabuľky

V praxi postupujeme tak, že riadku, kde logická funkcia má hodnotu "1", priradíme súčin, obsahujúci všetky premenné. Premenné sú v súčine zastúpené v tvare zodpovedajúcim logickej hodnote premennej v tomto riadku (nule zodpovedá negovaná premenná, jednotke priama premenná). Takto sme získali logický výraz pre logickú funkciu v tzv. normálnej disjunktívnej (súčtovej) forme a dostali, napr. z tab. 3.2, pre výraz:

$$y_{11} = \overline{x_1} \overline{x_2} + x_1 x_2$$

Minimalizácia logických výrazov – Karnaughova mapa

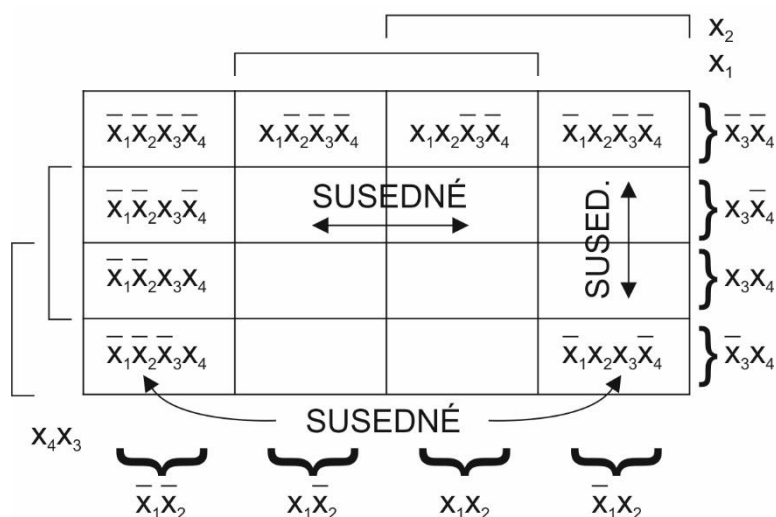
Minimalizáciou logického výrazu rozumieme jeho úpravu do takého tvaru, aby logický obvod podľa neho zapojený bol optimálny podľa určitého kritéria. Obvykle sa pojmom minimalizácia rozumie úprava logického výrazu tak, aby obsahoval čo najmenší počet operácií logického súčtu, súčinu a negácie a aby v ňom vystupoval čo najmenší počet premenných. Z toho vyplýva, že ak výraz realizujeme obvodmi logického súčinu, súčtu a negácie, potom vystačíme s minimálnym počtom obvodov a s minimálnym počtom vstupov.

Pri minimalizácii pomocou Karnaughovej mapy grafickou formou realizujem operáciu:

$$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \overline{x_4} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Dvojici súčinu, ktoré sa líšia v jednej premennej, zodpovedá v mape dvojica susedných oblastí (štvorčekov). Pri minimalizácii postupujeme tak, že zadanú funkciu zobrazíme Karnaughovou mapou a usilujeme sa zlúčiť najväčší možný počet susedných štvorčekov (obr. 3.3). Zlúčením dvoch susedných štvorčekov vylúčime závislosť od jednej premennej, združením štyroch susedných štvorčekov vylúčime dve premenné atď. Pri zredukovaní o „k“ premenných treba zlúčiť 2^k susedných štvorčekov.

Uvedená metóda je veľmi názorná a spoľahlivá pri práci s výrazmi o maximálne štyroch premenných.



Obr. 3.3 Značky často používaných logických členov a ich funkcie

Logickými členmi sa obvykle nazývajú logické systémy, ktoré realizujú určité elementárne Booleove funkcie pre n vstupných premenných signálov a ktoré majú charakter samostatných stavebných funkčných jednotiek určených pre výstavbu zložitejších logických obvodov. Značky niektorých logických členov s kladnou logikou sú v tab. 3. 4.

Tab. 3. 4 Značky logických členov

 AND	<table><tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
x_1	x_2	y														
0	0	0														
0	1	0														
1	0	0														
1	1	1														
 NAND	<table><tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
x_1	x_2	y														
0	0	1														
0	1	1														
1	0	1														
1	1	0														

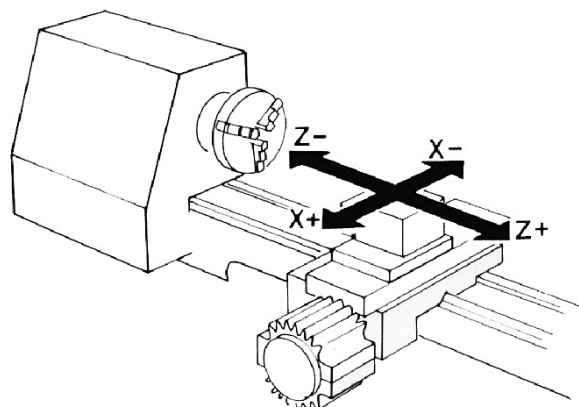
 OR	<table><tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
x_1	x_2	y														
0	0	0														
0	1	1														
1	0	1														
1	1	1														
 NOR	<table><tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
x_1	x_2	y														
0	0	1														
0	1	0														
1	0	0														
1	1	0														

4. ZÁKLADNÉ TYPY CNC STROJOV

4.1 Sústruh

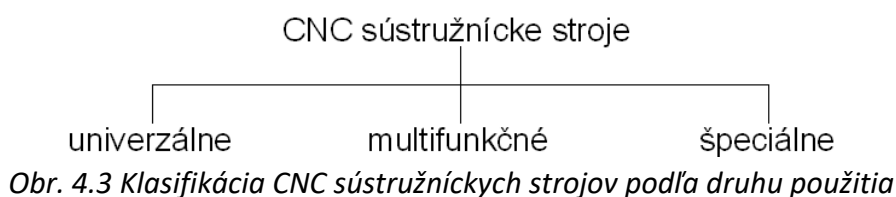
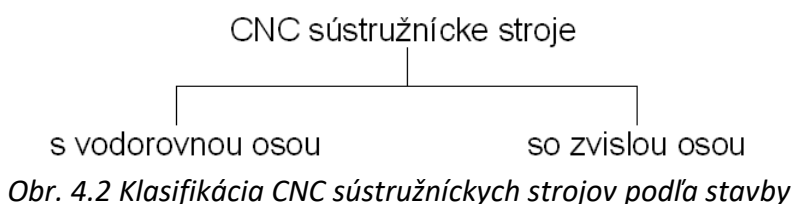
Sústruh, jeden z najproduktívnejších obrábacích strojov, bol vždy účinným prostriedkom na výrobu rotačných súčiastok (obr. 4.1). Väčšina sústruhov sa programuje v dvoch osiach.

Os X ovláda pohyb priečnych saní s rezným nástrojom. Negatívne X (X-) znamená pohyb nástroja k osi vretena, pozitívne X opačne, pohyb nástroja od vretena. Os Z riadi pohyb pozdĺžnych saní k vretenníku a opačným smerom.



Obr. 4.1 Hlavné osi sústruhu alebo sústružníckeho centra (Emco Maier Corp)

CNC sústružnícke stroje majú medzi obrábacími strojmi najväčšie zastúpenie a to hlavne pre množstvo technologických operácií, ktoré umožňujú vykonávať. Na CNC sústružníckych strojoch možno obrábať vonkajšie aj vnútorné valcové plochy, plochy kužeľové aj obecné, čelné rovinné plochy, vŕtať, vyvŕtávať, vystruhovať, rezať závit, kopírovať pozdĺžne aj priečne a taktiež frézovať plochy a drážky. CNC sústruh je stroj s hlavným pohybom rotačným, ktorý spravidla vykonáva obrobok. Od konvenčných sústruhov sa odlišujú hlavne mohutnou konštrukciou, číslicovým riadením a možnosťou prevádzkovať ich vo výrobnom procese s minimálnou ľudskou obsluhou. CNC sústružnícke stroje môžeme rozdeliť podľa stavby (obr. 4.2) a podľa druhu použitia (obr. 4.3).

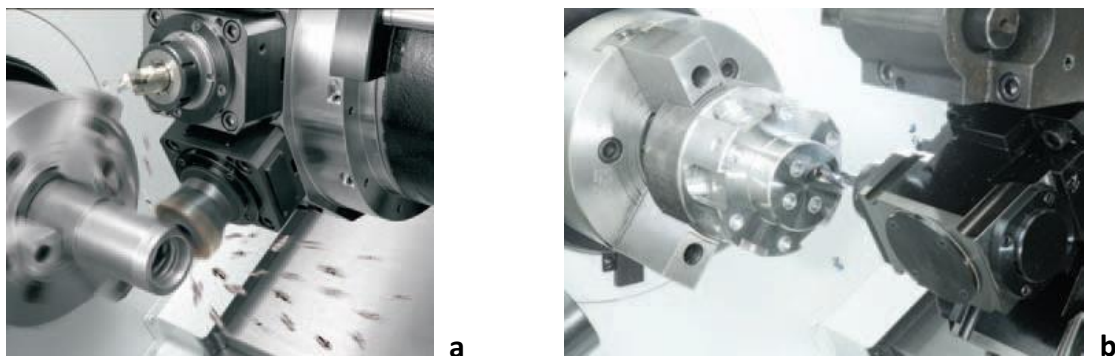


Pretože niektoré súčiastky môžu byť obrobené pri bežnom nástrojovom vybavení, iné súčiastky vyžadujú doplnenie nástrojov, upínačov alebo iného príslušenstva, CNC sústružnícke stroje môžeme teda rozdeliť aj podľa súčiastok, ktoré je možné obrábať bez podstatných úprav stroja. Takáto klasifikácia CNC sústruhov vychádza z možnosti upnutia súčiastky pri obrábaní na danom stroji, na pracovnom priestore stroja, typoch realizovateľných strojných operácií a na nástrojovom a technologickom vybavení stroja. Vyrábané súčiastky možno zadeliť do nasledovných tried:

- Hriadele sú také súčiastky, ktorých pomer dĺžky k priemeru je cca 1,5-2. Výroba takýchto súčiastok vyžaduje oporu koníkom.
- Príruby, sú rotačné súčiastky obrábané bez opory koníkom. Možno obrábať aj príruby z oboch strán a to v automatickom cykle použitím protivretene. Po skončení obrábania, kedy je príruha upnutá v hlavnom vretene, toto vreteno odovzdáva súčiastku protivretenu, kde pokračuje obrobenie príruby z druhej strany. Predanie súčiastky protivretenu môže nastať pri nulových otáčkach, ale aj pri nenulových synchrónnych otáčkach oboch vretien.
- Tyče uvažujeme vtedy, keď k obrábaniu tyče dochádza aspoň v prvej časti pracovného cyklu stroja. Tyč môže byť do pracovného priestoru stroja podávaná v automatickom cykle podávačom tyčí. Aj v tomto prípade možno obrábať súčiastky z druhej strany pri ich uchytení v protivretene. Upichnutie sa uskutočňuje až vtedy, keď je súčiastka uchytená protivretenom, pričom sa vyžadujú synchrónne otáčky oboch vretien,
- Poslednú skupinu tvoria dlhé súčiastky upnuté v skľučovadle a podopreté lunetou. Pri takto upnutých súčiastkach možno na voľnom konci obrábať vonkajšie, vnútorné aj čelné plochy a to na jedno upnutie.

V predchádzajúcich bodoch boli vymenované všetky súčiastky, ktorých obrábané povrchy sú rotačné a súosové. Obrábanie takýchto súčiastok je vykonávané nástrojmi pevne upnutými v revolverovej hlave. V súčasnosti veľká väčšina súčiastok vyrábaných na CNC sústruhoch obsahuje rovinné plochy, obecné plochy, mimostredné rotačné plochy a otvory. Takéto plochy nemožno obrábať s pevne upnutými nástrojmi, preto sú potrebné tiež nástroje s vlastným pohonom. CNC sústružnícke stroje sa vyznačujú práve tým, že umožňujú kombinovať sústruženie s pevne upnutými nástrojmi s obrábaním so samostatne poháňanými rotujúcimi nástrojmi. Pri použití samostatne poháňaných rotačných nástrojov rozlišujeme nasledovné tri triedy:

- Obrábanie súčiastok rotujúcimi nástrojmi, kde osi všetkých rotujúcich nástrojov sú kolmé k osi sústruženia (obr. 4.4 a).
- Obrábanie súčiastok rotujúcimi nástrojmi, kde osi všetkých rotujúcich nástrojov sú rovnobežné s osou sústruženia (obr. 4.4 b).
- Tiež sem zaradujeme také súčiastky, ktorých obrábanie vyžaduje rotujúce nástroje s osami rovnobežnými aj kolmými na os sústruženia.
- Rotačné aj pevne upnuté nástroje sú vkladané do nástrojových vretien umiestnených v revolverových hlavách, alebo do iných nástrojových suportov.



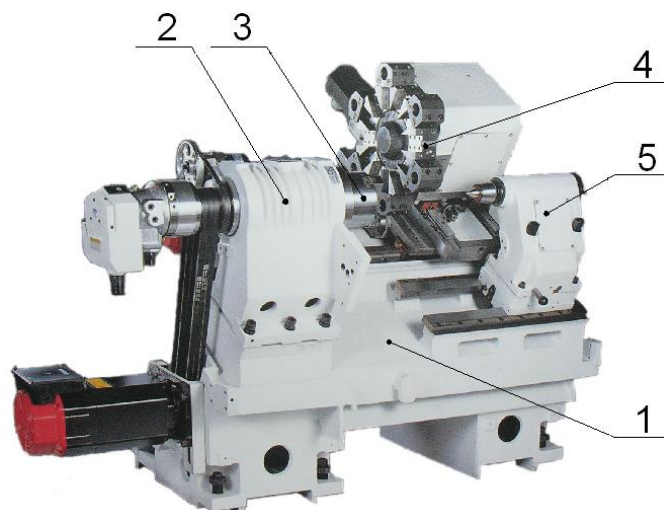
Obr. 4.4 Frézovanie a vŕtanie súčiastok na CNC sústruhoch Mori Seiki

a) rotujúcim nástrojom kolmým na os sústruženia

b) rotujúcim nástrojom rovnobežným s osou sústruženia

CNC sústružnícke stroje s horizontálnou osou hlavného vretena

CNC sústružnícky stroj s vodorovnou osou sa skladá z nasledujúcich základných častí (obr. 4.5).



Obr. 4.5 Priestorové usporiadanie CNC sústruhu s vodorovnou osou

1 – lôžko, 2 – vretenník, 3 – vreteno so skľučovadlom, 4 – zásobník nástrojov, 5 – koník

Pred obrábaním je obrobok upnutý do skľučovadla, pevne spojeného s vretenom, na ktoré sa prenáša krútiaci moment od systému hlavného pohonu. Na presnosť práce výrazne vplýva nielen dokonalé a presné upnutie obrobku v skľučovadle, ale aj presnosť uloženia rotujúcej činnnej časti stroja (vretena) a tuhosť lôžka, ktoré je základnou nosnou časťou stroja. Lôžko zaručuje vysokú tuhosť pri namáhaní na ohyb a krut. Tuhosť je dosiahnutá profilom lôžka, najvhodnejšie je uzavreté lôžko vystužené rebrami. Pri jeho konštrukcii musíme brať do úvahy bezproblémový odvod triesok, pretože nahromadené horúce triesky lôžko tepelne ovplyvnia a spôsobia jeho tepelnú dilatáciu, čo sa prejaví na presnosti vyrobenej súčiastky. Bezproblémový odvod triesok zabezpečíme naklonením lôžka pod určitým uhlom a jeho vhodným rebrovaním. Pred poškodením vodiacich plôch a mechanizmov padajúcimi trieskami je treba lôžko chrániť vhodným krytovaním. Lôžko je teda najrozmernejšou časťou stroja a má najväčší podiel na jeho hmotnosti. Potreba zníženia hmotnosti lôžka môže ovplyvniť jeho tuhosť a tým aj presnosť stroja. Najčastejšie sa vyrábajú lôžka zo sivej liatiny. Firma Bost vo svojich strojoch Tornado používa lôžko z liatej ocele so špeciálnym betónovým polymérom,

ktorý vyplní základňu stroja. Oproti konvenčným liatym konštrukciám poskytuje výrazne zlepšené termálne charakteristiky. Na presnosť obrobenej súčiastky má veľký vplyv vhodné umiestnenie stroja, ktorý je potrebné umiestniť na betónovom základe a uchytiť potrebnými upevňovacími skrutkami. Takýmto umiestnením a upevnením stroja zabezpečíme tuhosť tvaru lôžka a dosiahneme presnosť zaručenú výrobcom.

Z obr. 4.5 vidíme, že vretenník slúži na optimálne uloženie pracovného vretena a tým predstavuje samostatný uzol CNC sústruhu. Svojou tuhosťou výrazne ovplyvňuje dlhodobú opakovanú presnosť obrábania. Musí byť konštruovaný tak, aby spoľahlivo zachytával axiálne a radiálne sily vznikajúce v procese obrábania a od hmotnosti obrobku, preto by mal byť tiež dostatočne pevne spojený s lôžkom. Podľa typu vretenníka rozlišujeme spôsob náhonu vretena, ktorý môže byť realizovaný pomocou servomotora alebo ako elektrovreteno. Z obr. 4.5 vidieť, že krútiaci moment je na vreteno prenášaný remeňom, pretože servomotor, je umiestnený mimo vretenníka. Úlohou vretena je prenesenie potrebného krútiaceho momentu v procese obrábania na obrobok. Vreteno býva osadené vo vretenníku v prednom a zadnom ložisku tak, aby prenášalo radiálne a axiálne sily. Predný koniec vretena je normalizovaný z toho dôvodu, aby bolo možné upnutie strediaceho hrotu, nasadenie skľučovadla, alebo upínacej dosky.

V CNC sústružníckych strojoch s vodorovnou osou sa nachádza zásobník nástrojov v podobe revolverovej hlavy. Revolverová hlava umožňuje upnutie niekoľkých pevných alebo poháňaných nástrojov naraz. Výmena nástrojov je uskutočňovaná automaticky, pootočením revolverovej hlavy do požadovanej pozície.

Koník sa používa pre upínanie medzi hroty takých obrobkov, ktorých pomer dĺžky k priemeru je aspoň 1,5-2 a viac. Na upínanie sa používa normalizovaná hrotová objímka, nazývaná tiež pinola. Pinola musí mať dostatočnú radiálnu tuhosť a axiálnu poddajnosť. Radiálna tuhosť je požadovaná z dôvodu dosiahnutia rovnakej presnosti vykonávanej technologickej operácie po celej dĺžke obrobku. Axiálna poddajnosť je vyriešená konštrukciou koníka s odpruženou pinolou, pretože v procese obrábania, kedy je dlhý obrobok upnutý za pomoci koníka medzi hroty, môže byť tento obrobok tepelne ovplyvnený. Toto ovplyvnenie spôsobuje jeho tepelnú rozťažnosť a tá zapríčiňuje vznik axiálnych síl, ktoré by pri absolútnej axiálnej tuhosti pinoly spôsobili deformáciu obrobku a tá by sa stala zdrojom jeho nepresnosti. Odpruženie pinoly je realizované mechanicky pomocou pružiny, alebo hydraulicky. Firma Index ponúka stroje s mechanickým koníkom, ktorý je postačujúci pre väčšinu aplikácií, prípadne má k dispozícii programovateľný koník s elektrickým prestavením polohy. S riadením dĺžky nastavenia je možné dosiahnuť široké spektrum upínacích rozsahov. Programovateľný koník je tiež praktický pri opracovaní čelnej strany obrobku, kedy je možné v automatickom cykle jeho odsunutie. Veľkou výhodou je regulovanie sily podoprenia, ktorá je monitorovaná riadiacim programom na základe príkonu elektromotora.

Podľa požiadaviek možno CNC sústruh vybaviť lunetou.

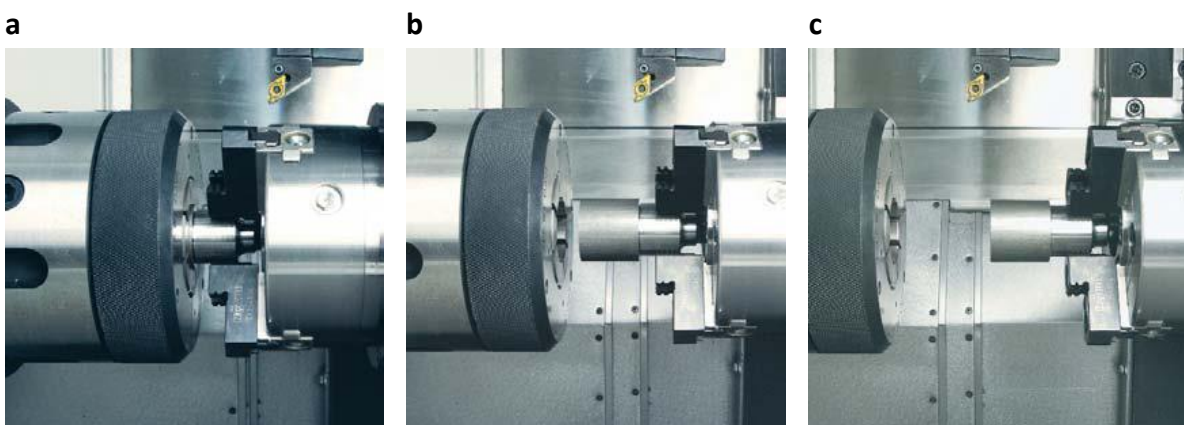
Luneta (obr. 4.6) sa používa na podoprenie dlhých hriadeľových súčiastok upnutých medzi hroty, ktorých pomer je $L/D > 10$. Jej použitím zabezpečíme automatické vycentrovanie obrobku s priamym programovým riadením. Podoprenie možno použiť aj pri hriadeľových súčiastkach na jednom konci upnutých vo vretene, voľný koniec hriadeľa je podopretý hrotom koníka. Pri obrábaní čelnej, alebo vnútornej valcovej plochy na voľnom konci hriadeľa je potrebné odsunutie koníka a obrobok je potom podopieraný lunetou. Ako oporné styky lunety s obrobkom sa používajú bronzové čeľuste, kedy hovoríme o klzných oporných stykoch, alebo kladky sú uložené na valivých ložiskách – valivé oporné styky, ktoré sa používajú pri väčších otáčkach obrobku. Aby bolo možné vloženie obrobku, otváranie a uzatváranie čeľustí

s opornými stykmi je realizované hydraulicky. Hlavnou požiadavkou je široký rozsah priemeru obrobkov, ktoré možno podopierať a tiež možnosť spoľahlivého podoprenia extrémne štíhlych obrobkov.



Obr. 4.6 Hydraulicky ovládaná luneta s automatickým mazaním oporných stykov

Niektoré CNC sústružnícke stroje obsahujú okrem hlavného vretena aj protivretno (obr. 4.7).



Obr. 4.7 Odoberanie obrobku protivretenom (Bost – Tornado T)

a) protivretno upína obrobok po dokončení technologickej operácie, b) uchopením obroku protivretenom a uvoľnením hlavného vretena, c) protivretno s obrobkom je pripravené v polohe na vykonanie technologickej operácie z druhej strany súčiastky

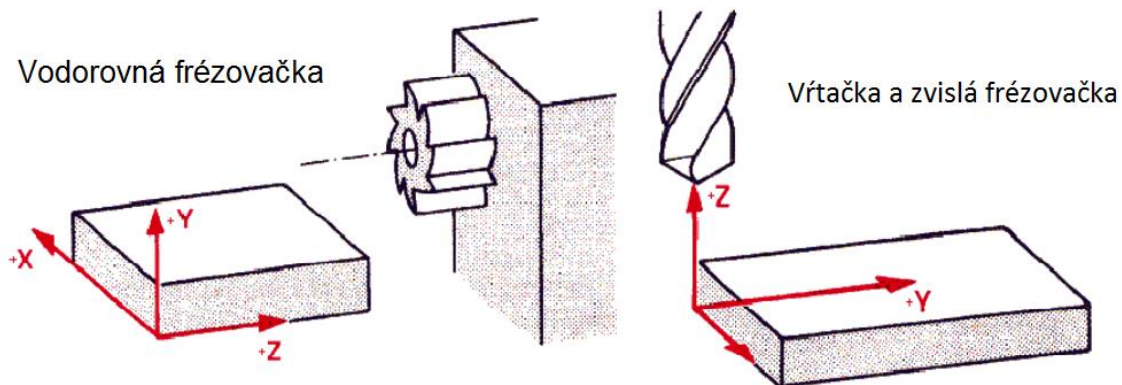
Na obrobku, ktorý je upnutý v hlavnom vretene je vykonaná technologická operácia, po ktorej skončení dochádza k uchopeniu súčiastky protivretenom (obr. 4.7a) a jej následné uvoľnenie hlavným vretenom (obr. 4.7b). Súčiastka je teraz upnutá za obrobený povrch (obr. 4.7c) a obrábaná z druhej strany. Predanie súčiastky môže prebehnúť pri nulových otáčkach alebo pri nenulových synchronizovaných otáčkach oboch vretien. V prípade, že stroj obsahuje dve revolverové hlavy, obrábanie môže prebiehať súčasne na obrobku upnutom v hlavnom vretene a tiež na obrobku upnutom v protivretene. Pri obrábaní tyčového materiálu, ktorý je do stroja dodávaný cez hlavné vreteno podávačom tyčí, upichnutie je vykonané pri synchronnom otáčaní oboch vretien, po dokončení obrábania na hlavnom vretene, kedy je obrobok upnutý protivretenom, ale súčasne je upnutý aj v hlavnom vretene. Až po vykonaní upichnutia je hlavné vreteno uvoľnené, protivretno s obrobkom vykoná posuv v osi Z a tyčový materiál je posunutý o potrebnú dĺžku. Pridanie protivretena umožní plne využiť jednostranné obrábanie a následným upnutím do druhého vretena dokončiť obrábanie celého

dielca. Obrábanie s použitím protivretena tiež zvyšuje produktivitu stroja a skracuje neproduktívne vedľajšie časy potrebné na otočenie obrobku po obrobení z jednej strany. V súčasnosti stavba CNC sústruhov smeruje k ich stavebnicovej konštrukcii, umožňujúcej optimálnym výberom častí sústruhu vytvoriť taký stroj, ktorý bude dokonale spĺňať požiadavky zákazníka. Takéto CNC sústruhy je možné využívať ako samostatné technologické pracoviská, alebo ako základné podsystémy vyšších automatizovaných systémov.

4.2 Frézovačka

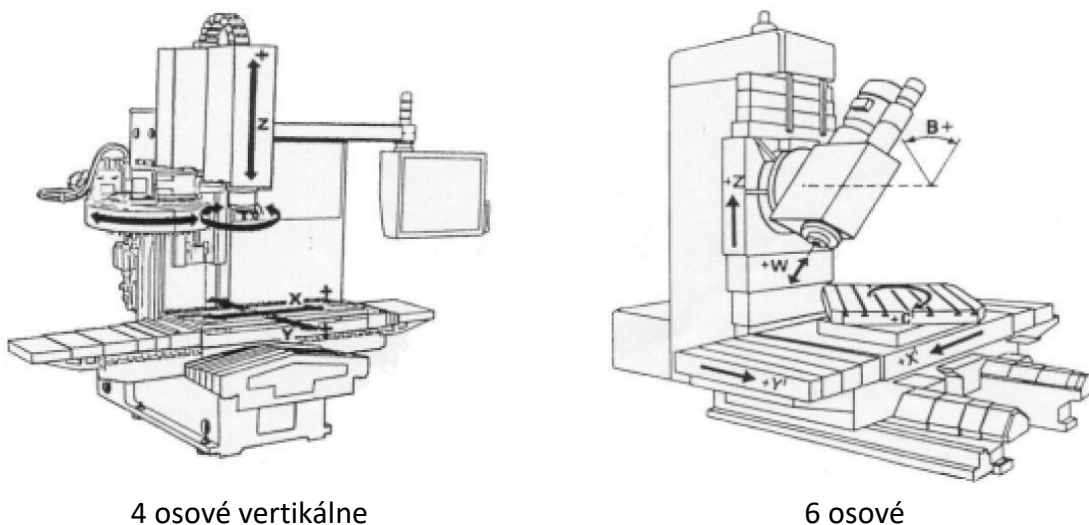
Frézovačka bola vždy jedným z najvšestrannejších obrábacích strojov používaných v priemysle. Operácie, ako je frézovanie, zrážanie hrán, frézovanie ozubení, vŕtanie, vyvrtávanie a vystruhovanie sú niektoré z viacerých činností, ktoré sa môžu vykonávať na frézovačke (obr. 4.8). Frézka môže byť naprogramovaná v troch osiach:

- os X ovláda pohyb stola doľava alebo doprava.
- os Y ovláda pohyb stola pohyb smerom k stojanu alebo od neho
- os Z ovláda vertikálny (hore alebo dole) pohyb celého suportu alebo vretenníka.



Obr. 4.8 Hlavné programovateľné osi frézovačky

Frézovačky s viacerými riadenými osami nazývame frézovacie centrá. Obr. 4.9 zobrazuje CNC frézovacie centrá bez krytu, vertikálne 4-osové a 6-osové. V súčasnosti existuje široká ponuka frézovacích CNC centier od rôznych výrobcov.



Obr. 4.9 CNC frézovacie centrá

5. RIADENIE CNC VÝROBNÝCH STROJOV (RIADIACI SYSTÉM) – DRUHY A OPIS ČINNOSTÍ

Z riadiacej jednotky postupujú príkazy k pohonovým motorom na pohyb obrobku a nástrojov. Pri zložitejších kontúrach (obrysoch) je pohyb koordinovaný tak, aby bola dodržaná predpísaná dráha, na čo riadenie využíva interpoláciu. V riadiacej jednotke sú údaje hlásené tachogenerátormi porovnávané s naprogramovanými údajmi. Cez obrazovku a klávesnicu komunikuje riadenie s obsluhou. Riadenie ukladá do internej pamäti programy a príslušné súbory (nástrojové dáta, nulové body, podprogramy atď.) a hovoríme, že robí správu programov. Riadenie vykonáva aj ďalšie úlohy, ako sú: automatická výmena nástrojov, automatická výmena obrobkov (paliet), automatické vypnutia a zapnutie prívodu chladiacej kvapaliny, automatické vypnutia a zapnutie otáčania vretena, mazania atď.

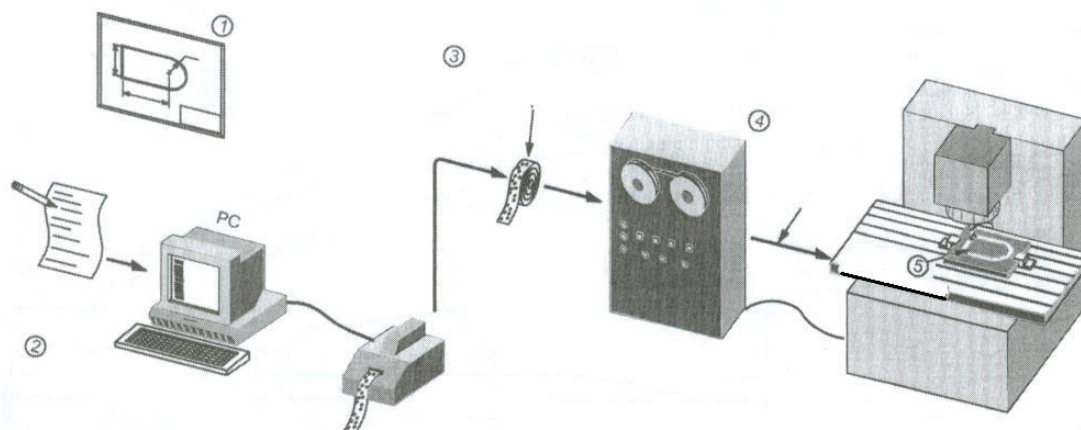
Zavedením číslicového riadenia výrobných strojov, sa dosiahla pružnosť vo výrobnom procese hlavne tým, že sa podarilo oddeliť tvorbu riadiaceho programu, na základe ktorého riadiaci systém dáva povely riadenému obrábaciemu stroju od samotnej práce stroja. Riadiaci program sa vypracováva mimo pracovný stroj, čím zabezpečíme jeho nepretržitú prevádzku, pretože nie je potrebné zastavenie stroja na účel programovania. Osamostatnenie riadiacich programov tiež umožňuje pružne reagovať na zmenu vyrábanej súčiastky a časté striedanie tvarovo i rozmerovo rozdielných dávok obrobkov. Pri opakovanej výrobe stačí riadiaci program pre vyrábanú súčiastku zhotoviť jedenkrát a opakovane ho môžeme kedykoľvek a pre akékoľvek množstvo súčiastok použiť, pričom zabezpečíme ich opakovanú presnosť. Pri použití nastavených nástrojov v zásobníku nástrojov, manipulátorov na manipuláciu s polotovarmi a obrobenými súčiastkami môžeme zabezpečiť plnú automatizáciu výrobného procesu. Na základe automatizovaných obrábacích strojov potom budujeme pružné bezobslužné technologické pracoviská a celé pružné výrobné systémy.

V súčasnosti poznáme niekoľko spôsobov číslicového riadenia:

- číslicové riadenie (NC),
- počítačové číslicové riadenie (CNC),
- priame číslicové riadenie (DNC),

Číslicové riadenie (NC)

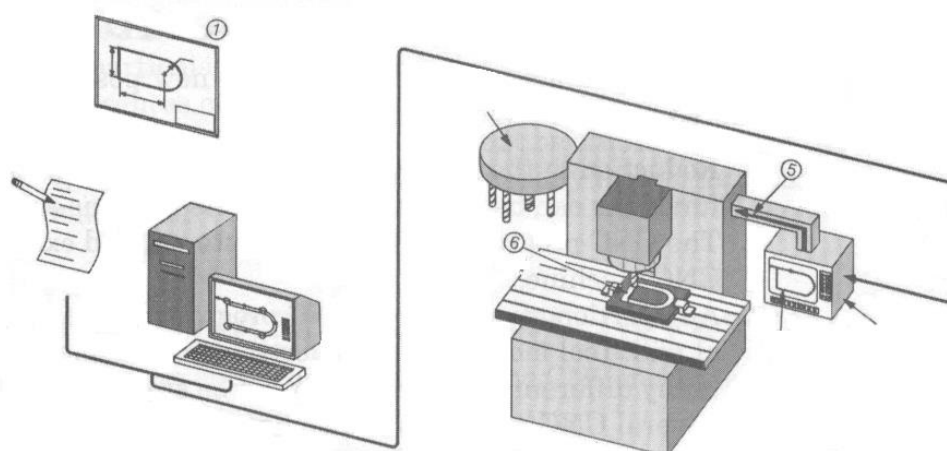
Stroje využívajúce tento druh číslicového riadenia sa už v súčasnosti takmer nepoužívajú, prípadne sa používajú len veľmi zriedka. Program výroby súčiastky je zadaný – vydierovaný v určitom kóde na nosiči informácií, čím spravidla bola dierna páska, ktorá sa pred začatím práce založila do stroja. Softvérová výstavba je minimálna a je použitá len izolovane v niektorých blokoch, ako sú napr. aritmetická jednotka a interpolátory. V NC systémoch máme teda účelovo vytvorené hardvérové bloky na plnenie určitých funkcií, účelovo vytvorené prepojenie týchto blokov a minimálny, po blokoch funkčne izolovaný, softvér. Bloky pracujú súčasne a na sebe nezávisle (obr. 5.1). Pomocné funkcie stroja sú ovládané paralelne pracujúcimi kombinačnými a sekvenčnými logickými obvody.



Obr. 5.1 Princíp činnosti NC obrábacieho stroja

Počítačové číslicové riadenie (CNC)

Je najrozšírenejší spôsob riadenia obrábacích strojov. Riadenie obrábacieho stroja vykonáva počítač s príslušným riadiacim systémom na základe riadiaceho programu, ktorý je uložený na pamäťovom médiu, prípadne je do stroja odosielaný cez počítačovú sieť. Číslicové riadenie tiež zabezpečuje automatickú manipuláciu s nástrojmi a obrobkami, čím sa vylúčila neustála prítomnosť človeka pri riadení pracovných a pomocných cyklov stroja. Veľkou výhodou CNC riadiacich systémov je to, že vhodným softvérom použitým na riadenie stroja môžeme prispôsobiť počet osí, ktoré chceme ovládať (obr. 5.2).



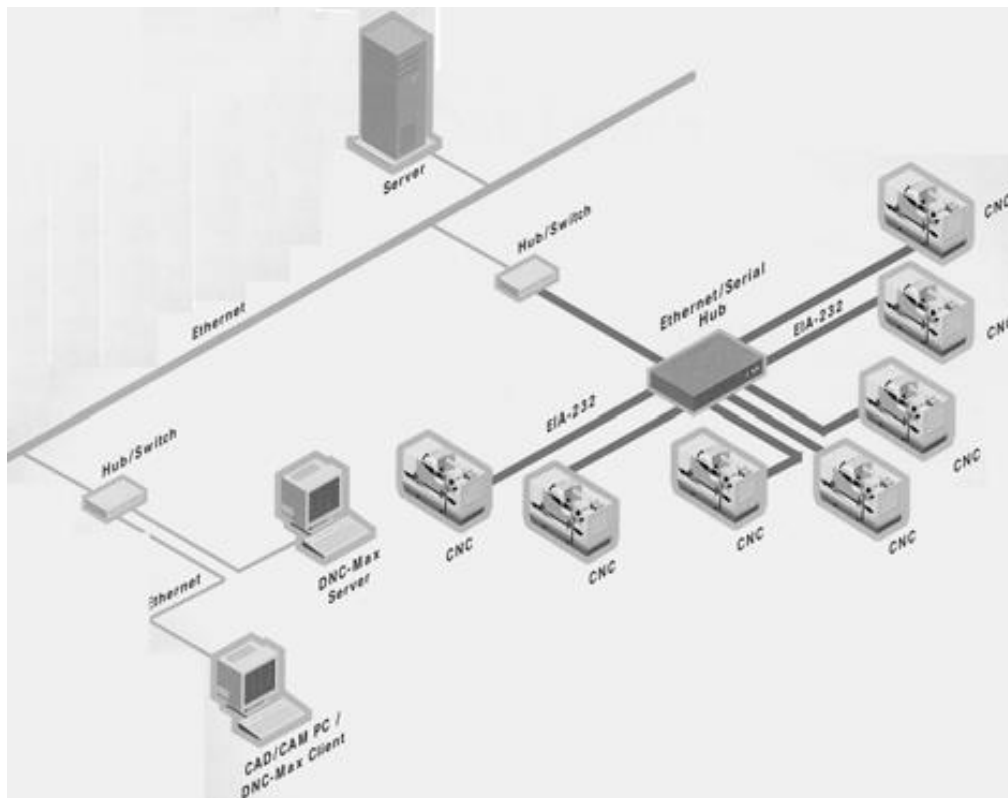
Obr. 5.2 Princíp činnosti CNC obrábacieho stroja

Priame číslicové riadenie (DNC)

Je systém priameho počítačového riadenia väčšieho počtu CNC strojov, ktoré sú priamo zapojené do počítačovej siete (obr. 5.3). Každý stroj je riadený svojim vlastným riadiacim systémom, ale okrem toho je ešte riadený nadriadeným riadiacim počítačom. Riadiaci počítač môže zasiahnuť do riadiaceho systému strojov a tiež zabezpečuje skladové hospodárstvo, riadenie výroby, archiváciu, vzdialený prístup a editáciu CNC programov, riadenie a kontrolu prístupu k programom a pod. Komunikácia so strojmi je zabezpečovaná pomocou:

- klasickej káblovej LAN siete, kde sa využíva pripojenie stroja najčastejšie pomocou RS-232,

- dátového komunikačného modulu, ktorým sú CNC stroje prepojené prostredníctvom digitálneho signálu o vysokej frekvencii, ktorý zaručuje vysokú odolnosť proti rušeniu.



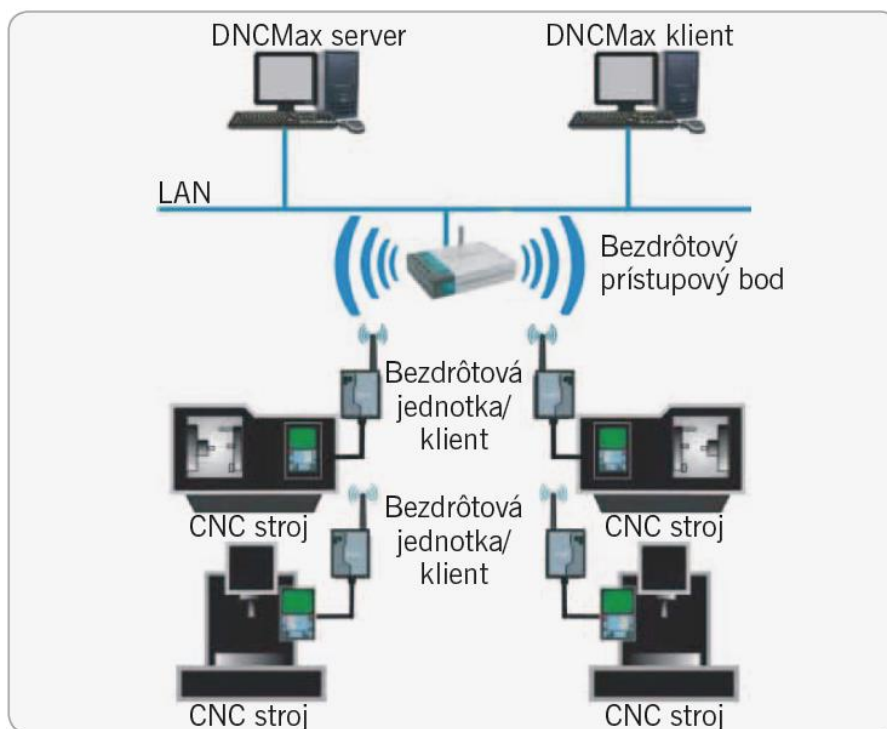
Obr. 5.3 Všeobecná architektúra systému DNC

Dnes je za svetovú špičku DNC riadiacich systémov považovaný systém DNC-Max firmy CIMCO. Má najlepšiu architektúru klient/server (obr. 5.4) vo svojej triede a ponúka bezkonkurenčnú konfigurovateľnosť, funkčnú rozšíriteľnosť. Je jednoznačnou voľbou pre každú veľkosť prevádzky CNC obrábacích strojov. CNC kompatibilita systému DNC-Max je navrhnutá tak, aby sa celé DNC riadenie dalo použiť pre všetky CNC obrábacie stroje popredných svetových výrobcov (Fanuc, Haas, Heidenhain, Mazak, Fagor a ďalší). Hardvérová kompatibilita DNC-Max pracuje s priemyselným štandardom RS-232 sériovej komunikácie vrátane ethernetu a bezdrôtových sériových zariadení a servermi. Prenos súborov, port pre monitorovanie a správu systému sú vykonávané na klient/server rozhraní.

Od roku 1991 firma CIMCO predala viac než 10 000 softvérových licencií na DNC systémy. Na splnenie požiadaviek zákazníkov, ktorí chcú nahradiť svoje káblové siete, ponúka CIMCO známy softvér DNC-Max, ktorý prevádzkovateľovi umožňuje pripojiť sa k CNC strojom prostredníctvom bezdrôtovej siete.

Bezdrôtové riešenie postavené na DNC-Max prináša tieto výhody:

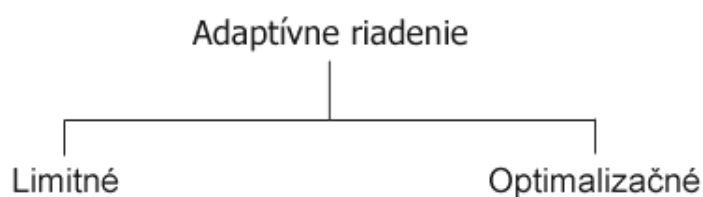
- na prenos údajov nie sú potrebné žiadne káble (s výnimkou krátkej vzdialenosti od bezdrôtového zariadenia (Server DNC) k fyzickému portu RS-232 na CNC – v tomto prípade sú použité tradičné káble a konektory),
- CNC obrábacie stroje sa môžu v prevádzke (dielni) často premiestňovať, ale nemusia sa znova zapájať a konfigurovať: identifikácia (napr. číslo stroja) a parametre prenosu zostávajú v softvérovej DNC aplikácii (v setupe) nezmenené (súbory typu. mch).



Obr. 5.4 Bezdrôtová komunikácia DNC od firmy CIMCO

Adaptívne riadenie (AC)

Súčasťou CNC systémov sú systémy tzv. adaptívneho riadenia (AC). Princíp tohto riadenia spočíva v tom, že riadiaci systém sa môže prispôbiť niektorým zmenám rezného procesu. Obrábací stroj má CNC riadenie s tým, že na stroji sú snímače, ktoré sledujú aktuálny stav rezného procesu. V pamäti riadiaceho systému sú uložené kritické hodnoty sledovaných parametrov. Ak v procese obrábania dôjde k prekročeniu tejto kritickej hodnoty, rezný proces bude prerušený a vyžaduje sa zasiahnutie obsluhy. Reakcie stroja po zaznamenaní kritickej hodnoty sú veľmi rýchle, rezný proces dokáže byť prerušený do niekoľkých milisekúnd. Poznáme nasledovné typy adaptívneho riadenia (obr. 5.5).



Obr. 5.5 Rozdelenie adaptívneho riadenia

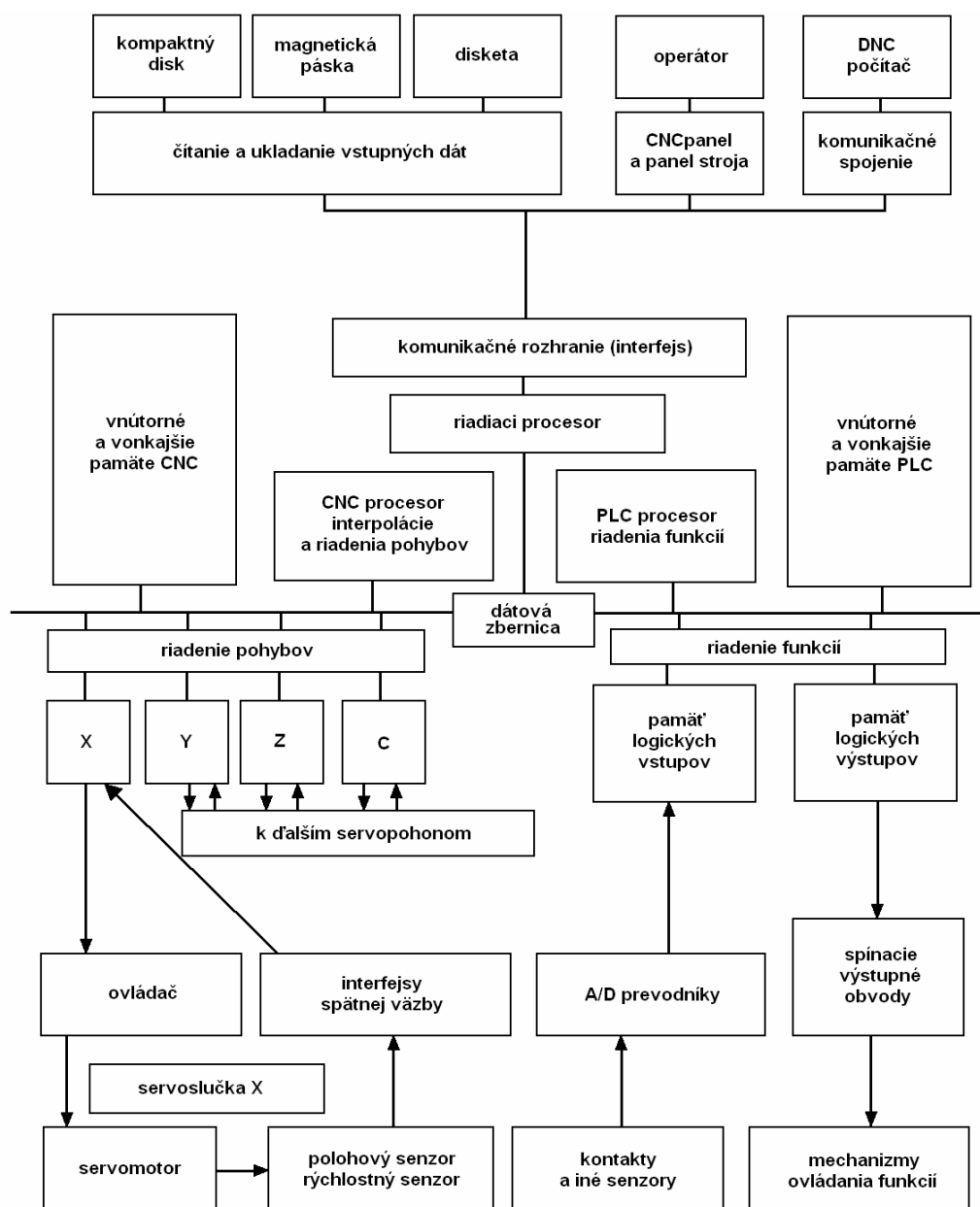
Limitné adaptívne riadenie – pri tomto type riadenia môžu byť snímače dodatočne namontované aj na starší obrábací CNC stroj. V riadiacom systéme stroja sa nastaví kritická hodnota sledovaného parametra, po ktorej prekročení dôjde k prerušeniu obrábania. Aby nedošlo k poškodeniu žiadnych častí obrábacieho stroja, reakcie na jeho zastavenie musia byť veľmi rýchle.

Optimalizačné adaptívne riadenie – je stále v štádiu výskumu a vývoja. Pretože rezný proces je proces dynamický a to znamená, že sa neustále mení, je potrebné udržiavať jeho parametre na optimálnej úrovni, čo zabezpečíme práve optimalizačným adaptívnym riadením.

6. OPIS ČINNOSTÍ CNC SYSTÉMOV OBRÁBACÍCH STROJŮV

Na parametre, funkciu, kvalitu, presnosť a prevádzkové využitie CNC strojov má veľký vplyv riadenie pohonu vretien a posuvov, predspracovanie, komunikácia a verifikácia dát, sensorika a prevádzková diagnostika, ale aj stupeň dokonalosti riadiaceho systému.

Riadiaci systém slúži na riadenie pracovných a pomocných cyklov stroja, automatickú manipuláciu s nástrojmi a obrobkami, spravovanie programov a podprogramov, komunikáciu s obsluhou, riadi prvky potrebné na ovládanie stroja ako sú vreteno, pohony motorov a tiež vykonáva riadenie odmeriavacích zariadení. Celé riadenie je vykonávané na základe programu, ktorý má riadiaci systém načítaný v pamäti z pamäťového média, prípadne z iného počítača prostredníctvom LAN siete. Môžeme teda povedať, že riadiaci systém je v istom zmysle slova mozgom CNC stroja. Schému prepojenia riadiaceho systému a jeho jednotlivých zariadení ukazuje obr. 6.1.



Obr. 6.1 Bloková funkčná schéma CNC riadiaceho systému stroja

CNC obrábacie stroje je možné charakterizovať:

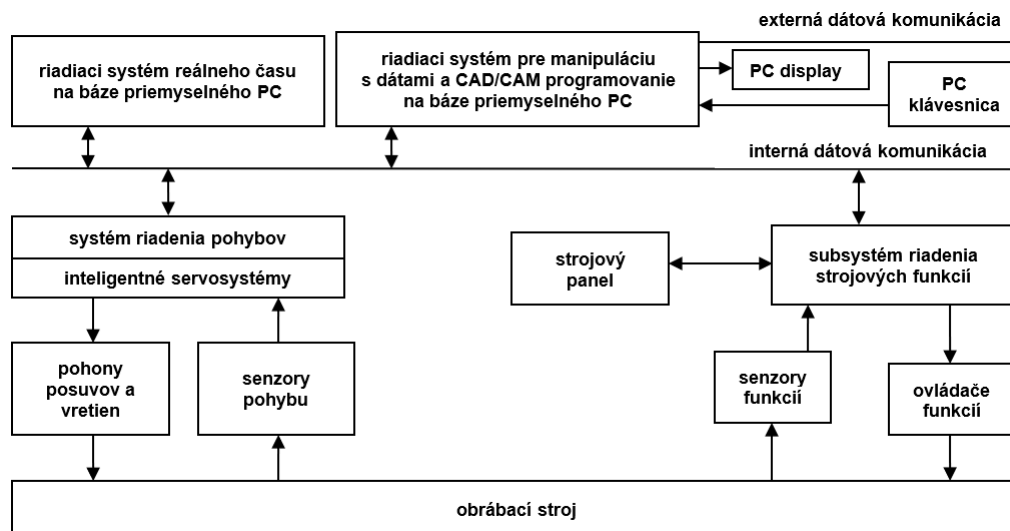
- Ľahká editácia programu.
- Možnosť vetvenia program.
- Možnosť používať parametre.
- Možnosť pracovať s podprogramami.
- Možnosť využívať grafickú simuláciu obrábania.
- Možnosť používať diagnostických programov
- Možnosť kompenzovať nepresnosti systému a strojových častí [20].

Pri výbere riadiaceho systému uvažujeme nasledovné požiadavky:

- spoľahlivosť a kvalita,
- rýchla dodávka náhradných dielov,
- krátka doba reakcie zákazníckeho servisu,
- nízke náklady na zaškolenie,
- jednoduchá obsluha.

Moderné riadiace systémy sú charakterizované predovšetkým *otvorenou architektúrou* (na báze PC), veľkou rýchlosťou spracovania programového bloku, monitorovaním rezného procesu v reálnom čase a možnosťou začlenenia do rekonfigurovateľných „inteligentných“ výrobných systémov v prostredí CIM. Predovšetkým pri obrábaní presných foriem dokončovaním, sú kladené veľmi vysoké požiadavky na príslušný riadiaci systém stroja, ktorý musí zabezpečovať synchrónne, presné a rýchle ovládanie všetkých prvkov stroja. Možnosťou súčasných riadiacich systémov je aktivácia niekoľkých nezávislých paralelne aktívnych procesov na stroji, čo môžeme vysvetliť na nasledovnom príklade. Moderné sústružnícke stroje bývajú riešené aj s dvomi nezávislými revolverovými hlavami. Jedna z nich môže obrábať na čelnej a druhá na obvodovej ploche. Môže nastať aj prípad, keď obidve revolverové hlavy obrábajú na obvodovej ploche. Určitú dobu môžu pracovať súčasne a nezávisle ako paralelne bežiacie procesy, v určitej fáze technologickej operácie je potrebné ich aktivity synchronizovať. U zložitejších obrábacích centier môže byť takýchto nezávislých procesov viacej.

Riadiace systémy CNC sú veľmi blízke osobným počítačom nielen po súčiastkovej stránke, (používajú sa podzostavy osobných počítačov: klávesnica, CPU – board, floppy a harddisk...) ale aj po stránke programovej, pretože výrobcovia používajú pre obsluhu ovládací panel s vizualizáciou štandardného prostredia DOS alebo Windows. Štruktúra riadiacich systémov CNC s otvorenou architektúrou prináša veľké sprehľadnenie hardvérovej a softvérovej zložky riadenia. Umožňuje presné prispôsobenie riadenia širokej škále strojov s minimálnymi hardvérovými zmenami a tiež dodatočné zavádzanie ďalších zaujímavých funkcií, napríklad snímanie a digitalizácia tvarovo zložitých prvkov, aktívna kontrola, procesné meranie a podobne. Jednu z možných štruktúr riadiaceho systému s otvorenou architektúrou znázorňuje obr. 6.2.



Obr. 6.2 Riadiaci systém s otvorenou architektúrou

Riadiaci systém spracovania dát a programovania CAD/CAM na báze priemyselného PC umožňuje externú komunikáciu a off-line generovanie technologických partprogramov vyššími typmi systémov CAD/CAM v dialógovom režime pod operačným systémom Windows. Súčasťou tohto riadiaceho systému je klávesnica a displej, ktorý operátor využíva vo všetkých fázach programovania a údržby, pre ktorého zobrazuje okrem iného aj ikony a texty softvérových tlačidiel na okraji obrazovky (obr. 6.3).



Obr. 6.3 Riadiaci CNC systém SINUMERIK na sústružníckych obrábacích centrách
INDEX C 200 – 4D

Pri jednoduchších obrábacích strojoch, kde sa nevyžaduje programovanie a manipulácia s údajmi paralelne s obrábaním, je možné zlúčiť obidva riadiace PC do jedného, ktorý by striedavo pracoval v riadiacom režime alebo v režime reálneho času.

V oblasti internej dátovej komunikácie sú systémy prepojené dátovou zbernicou, cez ktorú si vymieňajú potrebné informácie, napríklad ako sú informácie o nástroji (číslo nástroja, korekcie), otáčky, posuvy a podobne.

Subsystém riadenia pohybov

Zabezpečuje inteligentné ovládanie servosystémov na bezchybné riadenie posuvov, rozbehov a brzdení vretien a to až do rýchlostí potrebných pre vysokorýchlostné obrábanie. Ovládače pohybov sú digitálne a obsahujú programovateľné pásmové filtre a procesory digitálnych signálov. Prijímajú súhrnné informácie na vykonanie ďalších úsekov požadovaných trajektórií pre väčší počet riadených osí. Na ovládače pohybov sú priamo napojené výkonové ovládače pohonov posunu a vretien, ako aj spätnoväzbové prvky merania pohybov.

Subsystém riadenia strojových funkcií

Vyhodnocuje a riadi dvojhodnotové logické funkcie stroja. Skladá sa z PLC procesora a pamäte logického riadenia. PLC procesor riadi a vyhodnocuje funkcie stroja, ktoré možno popísať logickými úrovňami 0 a 1. Zahŕňa senzory strojových funkcií, tlačidlá strojového panela, analógovo-digitálne prevodníky senzorov, digitálno-analógové prevodníky, výkonové spínače magnetov, spojok, pohonov a ostatných ovládaných výkonových prvkov na stroji a indikačných prvkov na strojnom paneli. Tiež obsluhuje technologické informácie z bloku NC programu a spracováva príslušné pomocné funkcie (M funkcie). Jeho kvalita závisí priamo na výrobcovi obrábacieho stroja.

Výkonové a vyrovnávacie členy (prispôsobovacie obvody)

Pre mnohé zo spomenutých funkcií sú potrebné vysoké elektrické výkony, ktoré ale riadenie nie je schopné vyprodukovať. Preto je nutné použitie medzičlena, ktorý poskytne potrebný výkon. Tento člen je umiestnený v spínacej skrini a preberá i určité kontrolné funkcie.

Spínacia skriňa

Popri vyrovnávacom riadení sú v spínacej skrini umiestnené komponenty potrebné k prevádzke stroja, ako sieťové transformátory, usmerňovače, ističe a pohonové zosilňovače.

Tachogenerátory

Merajú aktuálne otáčky motorov. Pohonový zosilňovač dokáže z týchto nameraných hodnôt rozpoznať rýchlosť posuvu a porovná ju s predpísanou hodnotou.

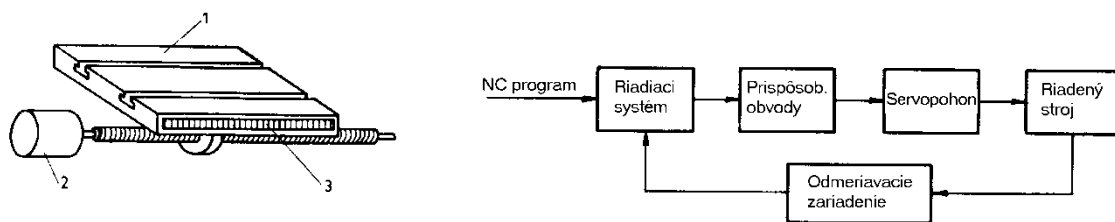
Meracie (odmeriavacie) systémy

Odmeriavacie zariadenie tvorí dôležitú časť NC stroja, pretože do značnej miery ovplyvňujú ich výslednú presnosť. Za účelom zistenia presnej polohy osových saní sú tieto vybavené špeciálnym odmeriavacím zariadením. Toto hlási odchýlky väčšie ako 0,001 mm, resp. 0,001° riadeniu. Keď zodpovedá odmeraná hodnota hodnote naprogramovanej, dôjde k vypnutiu posuvu.

Podľa umiestnenia snímacieho elementu odmeriavacieho zariadenia (treba aj použiť primeranú technickú realizáciu) možno rozdeliť odmeriavacie systémy na dve výrazné skupiny:

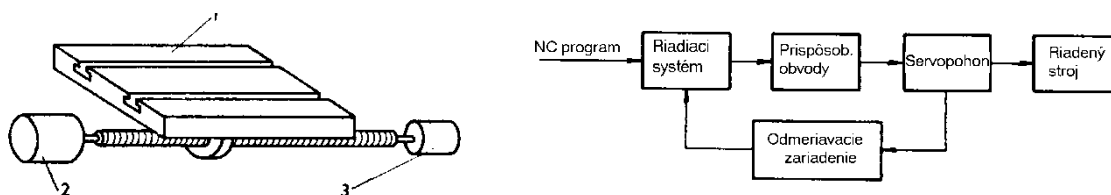
- *priame odmeriavanie*
- *nepriame odmeriavanie* (pripájajú na posuvové guľkové skrutky, príp. prevody ozubeného hrebeňa s pastorkom).

Systémy priameho odmeriavania (obr. 6.4) sa umiestňujú tak, aby bezprostredne poskytovali údaj o relatívnom pohybe pohybujúcej sa časti stroja vzhľadom k jeho rámu. Zväčša sa používajú lineárne odmeriavacie zariadenia (optické alebo magnetické).



Obr. 6.4 Princíp a schéma priameho odmeriavania
1 – pracovný stôl, 2 – pohon, 3 – odmeriavacie zariadenie

Pri *nepriamom odmeriavaní* (obr. 6.5) sa nesleduje poloha riadenej časti stroja, ale poloha pohyblivej časti servomotoru, ktorý realizuje pohyb. Napr. pripájajú sa na posuvové guľkové skrutky, príp. prevody ozubeného hrebeňa s pastorkom (nepriamy spôsob odmeriavania).

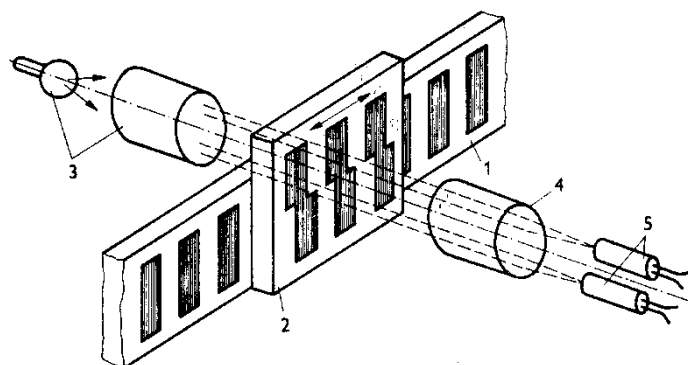


Obr. 6.5 Princíp a schéma nepriameho odmeriavania
1 – pracovný stôl, 2 – pohon, 3 – odmeriavacie zariadenie

Ak porovnáваме obidva spôsoby, vyššiu presnosť možno očakávať od zariadení, ktoré pracujú priamym spôsobom s využitím lineárnych meradiel. Presnosť nie je ovplyvnená typom a presnosťou pohonu a závisí iba na snímaní z pravítka. Výrobne sú ale náročnejšie. Použitie nepriameho odmeriavania však výrazne zjednodušuje konštrukciu samotného stroja. Dráhu nepriamo meriame v závislosti na pootočení guľkovej skrutky alebo pastorka. Nepresnosti pohonu (stúpanie guľkovej skrutky, vôle) sa presnosť nabehnutia na požadovanú polohu. Odmeriavacie zariadenie možno rozdeliť podľa princípu ich práce a to na **číslícové** (digitálne) a **analogové**. Druhé hľadisko je založené na charaktere informácií, ktoré predávajú, a to na zariadenia s *prírastkovým* (inkrementálnym), *absolútnym* a *cyklicky absolútnym* odmeriavaním.

Priame číslicové prírastkové odmeriavacie zariadenie

Na obr. 6.6 svetlo z osvetľovacieho zariadenia 3 prechádza na sklenené meradlá, ktoré majú na sebe tmavé a svetlé polia rovnakej šírky. Meradlo 1 je pevné a má dĺžku potrebnú na rozsah merania. Meradlo 2 v tvare segmentu (jazdec), sa pohybuje so svetelným zdrojom a fotosnímačom spolu s riadeným členom. V dôsledku rôznych prekryvaní tmavých a svetlých polí pri vzájomnom pohybe meradiel sa mení intenzita svetla dopadajúceho cez objektív 4 na fotosnímač 5. Na fotosnímači vznikajú elektrické impulzy, ktorých počet je úmerný odbehnutej dráhe, ktoré sa zosilňujú a ďalej spracovávajú v riadiacom systéme. Každý impulz odpovedá elementárne odbehnutej dráhe, napr. 0,001mm. Riadiaci systém tak získava neustále informácie o zmene polohy riadeného člena. Na rozlíšenie smeru pohybu býva tmavé a svetlé pole meradla rozdelené do dvoch častí, ktoré sú medzi sebou posunuté o štvrt periódy (90°) a snímanie prebieha v dvoch fotosnímačoch. Dostaneme dva signály a podľa toho, či sa jeden signál oproti druhému oneskoruje alebo ho predbieha, je možné určiť zmysel pohybu.



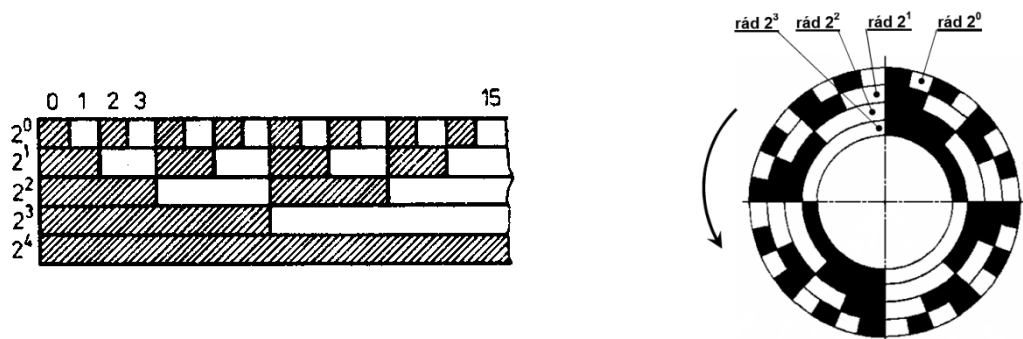
Obr. 6.6 Princíp priameho číslicového impulzného prírastkového (inkrementálneho) odmeriavacieho zariadenia.

1 – pevné meradlo, 2 – jazdec, 3 – osvetľovacie zariadenie, 4 – objektív, 5 – fotosnímač

Na rovnakom princípe pracujú aj nepriame prírastkové (inkrementálne) odmeriavacie zariadenia. Meradlo je v tvare kotúča, jazdec tvorí kruhový segment. Odmeriava sa uhlová poloha, napr. guľkovej skrutky alebo servomotora.

Priame číslicové absolútne odmeriavacie zariadenie

Pri absolútnom odmeriavaní sa dajú použiť meradlá s kódovanou stupnicou. Počet potrebných stôp na meradle závisí na najväčšej odmeriavanej dĺžke. Na obr. 6.7 je znázornené binárne meradlo, ktorá tvorí rad inkrementálnych meradiel umiestnených nad sebou (obvykle 12 až 20). Meradlá sú dvojkoľovo odstupňované.



Obr. 6.7 Usporiadanie meradiel pre priame číslicové absolútne odmeriavanie

Pre veľké odmeriavané dráhy a jemné delenie je výroba lineárnych meradiel veľmi nákladná, takže sa ich používanie veľmi nerozšírilo. Častejšie sa stretávame s tvarom kotúčov pre odmeriavanie.

Výhodou absolútneho odmeriavania polohy je eliminácia straty polohovej informácie pri poruchách prívodu energie. Odpadá tiež nutnosť nabehnutia do referenčných bodov po každom zapnutí stroja. Meradlo má totiž väčší počet referenčných značiek umiestnených v narastajúcich vzdialenostiach, stačí pohyb medzi týmito značkami a absolútna poloha je známa (obr. 6.7).

Analógové odmeriavacie zariadenia sa líšia od číslicových tým, že meraná dĺžka a uhlové pootočením sa prevádza na fyzikálne veličiny, ako sú napätie, fázový posun a pod. Patrí sem tzv. *selsyn* (často používaný je názov resolver) a *induktosyn*.

Diferenčný člen

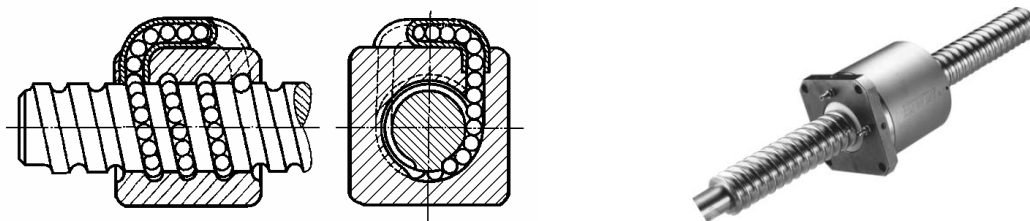
Zisťujú rozdiel medzi skutočnou hodnotou zistenou odmeriavacím zariadením a hodnotou naprogramovanou – zistené odchýlky sú vyrovnávané servopohonmi.

Pohonová jednotka

Pre každé osové sane a pre každú otočnú os je k dispozícii vlastný motor a preto je možný súčasný pohyb vo viacerých osiach. Každému motoru prináleží jeden pohonový zosilňovač, ktorý je umiestnený v spínacej skrini. Tento poskytuje potrebný výkon pre rozbeh motora bez oneskorenia. Motory sú koncipované pre pravo ako aj ľavotočivý chod a pracujú v rámci plynulej zmeny otáčok.

Pohybové skrutky s guľkovými maticami

Aby bolo možné obrábať aj zložité obrysové elementy, nie je pri pohybových skrutkách prípustná žiadne vôľa. Preto sa používajú bezvôľové pohybové skrutky s guľkovými maticami, ktoré zabezpečujú minimálne trenie. Pritom je dvojdielna vretenová matica predpätá tak, aby sa vymedzila požadovaná vôľa guľiek (obr. 6.8). Guľky pri otáčaní skrutky recyklujú medzi závitmi skrutky a matice.



Obr. 6.8 Guľková skrutka a matica

Spomaľovacie obvody

Zabezpečujú spomaľovanie relatívneho pohybu nástroja vzhľadom na obrobok pred dosiahnutím požadovanej polohy, napr. rýchloposuv sa postupne mení na pracovný a spomaľovací.

Interpolátor

Prídavný mikropočítač, ktorý preberá niektoré funkcie riadenia. Interpolácia (v číslicovom riadení) znamená určenie bodov ležiacich medzi známymi bodmi na žiadanej dráhe alebo určenia bodov obrysu obrobku podľa danej matematickej funkcie (napr. lineárnej, kruhovej alebo funkcie vyššieho rádu).

Problém interpolácie spočíva v procese rozdeľovania elementárnych prírastkov do smerov určujúcich rovinu (priestor) interpolácie v takom slede, aby výsledná relatívna dráha nástroja voči obrobku bola blízka požadovanej krivke s predpísanou presnosťou.

6.1 Funkcie riadiaceho systému

Aby riadiaci systém mohol plniť úlohu riadiacej jednotky CNC stroja, musí vykonávať nasledovné funkcie:

- geometriu pohybu,
- riadenie pohybu,
- programovanie,

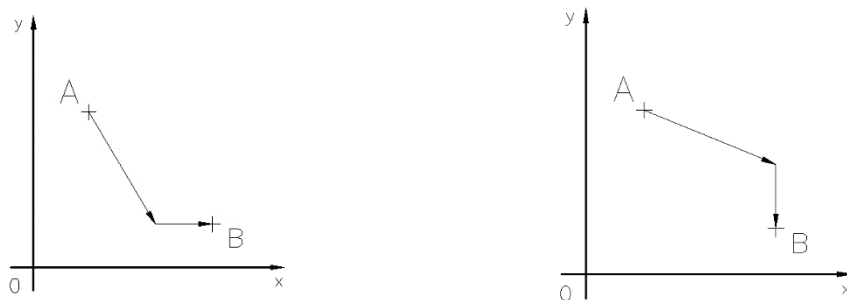
- spracovanie technologických, diagnostických a pomocných informácií,
- spracovanie informácií potrebných k organizácii programu,
- obsluhu a vizualizáciu.

6.2 Geometria pohybu

Základnou a najdôležitejšou funkciou riadiaceho systému je výpočet a riadenie trajektórie nástroja tak, aby bol zabezpečený jeho relatívny pohyb voči obrobku po takej dráhe, aby sme získali výrobok požadovaného tvaru, rozmerov a kvality povrchu, s maximálnou opakovateľnosťou a minimálnymi nákladmi na výrobu v čo najkratšom čase. Pozíciu programovaného bodu môžeme dosiahnuť niekoľkými spôsobmi:

a) Rýchle polohovanie

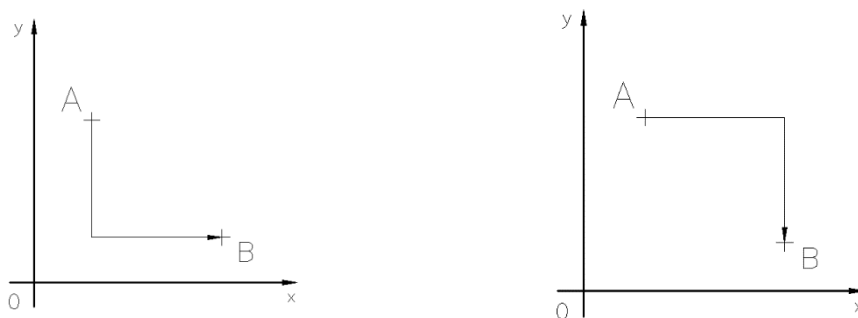
Najjednoduchším spôsobom riadenia trajektórie je rýchle polohovanie (obr. 6.9), pri ktorom je dôležité presné nastavenie sa do pozície zadaného bodu (napr. pred vŕtaním otvoru, pred rezaním závitu, pre výmenu nástroja alebo kontrolné meranie). Riadenie dráhy nástroja prebieha len vtedy, keď nástroj nie je v kontakte s obrobkom a počas obrábania už nedochádza k žiadnemu riadeniu dráhy nástroja. Pretože dráha tohto pohybu nie je dôležitá, rýchle polohovanie uskutočňujeme najvyššími možnými rýchlosťami bez akejkoľvek väzby medzi pohybujúcimi sa osami.



Obr. 6.9 Rýchle polohovanie

b) Pravouhlé riadenie

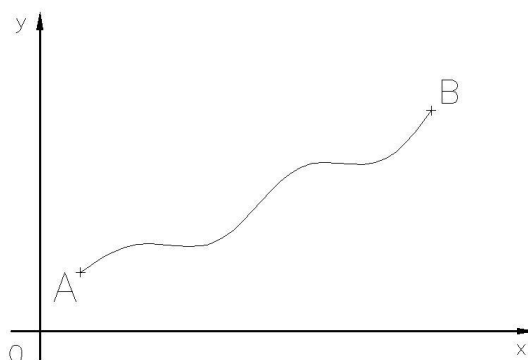
Tento typ riadenia dráhy nástroja sa najčastejšie používa pri frézovacích a vyrezávacích strojoch. Podstatou tohto riadenia je, že nástroj sa pohybuje rovnobežne s hlavnými na seba kolmými súradnicovými osami (obr. 6.10). Riadenie nástroja prebieha počas obrábania, pričom dokážeme riadiť pohyb iba v smere jednej osi, napríklad v smere osi X. Až potom, keď je obrábanie v smere jednej osi (osi X) dokončené, nasleduje obrábanie v smere osi druhej (v osi Y).



Obr. 6.10 Pravouhlé riadenie

c) Súvislé riadenie

V procese obrábania je veľmi dôležité dodržať presný tvar trajektórie pohybu zadanej v programe. Túto požiadavku môžeme zabezpečiť súvislým riadením (obr. 6.11), pri ktorom dochádza k riadeniu dráhy nástroja počas obrábania.



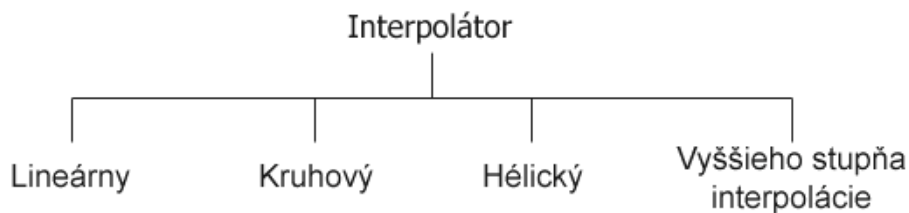
Obr. 6.11 Súvislé riadenie

Riadiaci systém umožňuje riadiť dráhu v dvoch alebo viacerých osiach súčasne. Taktiež je potrebné, aby výsledná obvodová rýchlosť pohybu bola konštantná a rovná programovanej. Dosiahnutie programovanej rýchlosti vo všetkých osiach zabezpečuje funkcia nezávislého ovládania osí, ktorá umožňuje zadávať rôzne hodnoty rýchlostí a zrýchlenia jednotlivým osiam.

6.3 Riadenie pohybu

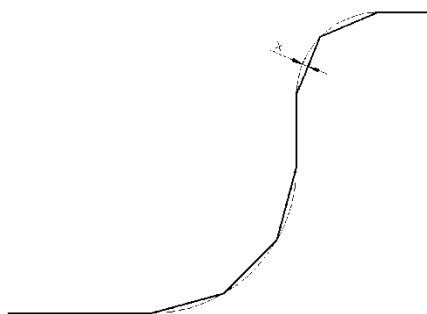
Riadenie pohybu sa uskutočňuje pomocou interpolátora. Interpolátor je zariadenie riadiaceho systému, ktoré vypočítava dráhu pre začiatkový a koncový bod. Interpolátor generuje signál o požadovanej dráhe a súčasne signál o skutočnej dráhe je generovaný odmeriavacím zariadením. Tieto signály sa porovnávajú v diferenčnom člene s informáciami zadanými v programe pre CNC stroj a ich rozdiel je regulačná odchýlka, ktorá po zosilnení a transformácií vytvára akčnú veličinu. Zjednodušene môžeme povedať, že diferenčný člen posielá motoru impulzy dovtedy, kým nástroj nedosiahne požadovanú polohu. Odmeriavacie zariadenie pracuje po určitých nenulových skokoch – inkrementoch. Inkrement je najmenšia merateľná a teda aj programovateľná dráha. V súčasnej dobe sa obecné používa inkrement 0,001 mm. Keď budeme požadovať pohyb nástroja po priamke naklonenej o určitý uhol, interpolátor musí dodať do regulátora polohy o akú hodnotu a akú rýchlosť sa musí servomotor pohybovať v osi Z a X tak, aby zložením dvoch na seba kolmých pohybov došlo k pohybu po naklonenej

priamke. V súčasnosti najmodernejšie riadiace systémy interpolujú úseky dráhy pomocou spline kriviek (krivka popísaná polynómom tretieho stupňa) alebo NURBS kriviek. Rozdelenie interpolátorov podľa typu generovanej (interpolovanej) dráhy je na obr. 6.12.



Obr. 6.12 Rozdelenie interpolátorov podľa typu generovanej dráhy

Lineárny interpolátor riadi pohyb po priamke pod ľubovoľným uhlom, to znamená, že lineárny interpolátor umožňuje spojiť počiatočný a koncový bod interpolovaného úseku iba priamkovou dráhou. Kruhovú oblúky alebo obecné krivky sú pri lineárnej interpolácii nahradzané priamkovými úsekmi (obr. 6.13). Tenká čiara znázorňuje ideálny obrys súčiastky, hrubá čiara znázorňuje skutočný obrys súčiastky po obrobení. Problém použitia lineárneho interpolátora vzniká vtedy, keď požadujeme vyrobiť súčiastku zložitejších zakrivených tvarov s vysokou presnosťou. Výpočet prírastkov súradníc veľkého množstva bodov sa prejaví na relatívne malej odchýlke X , ktorá ovplyvní požadovanú presnosť. V CNC programe je lineárna interpolácia privolaná prípravnou funkciou G01.

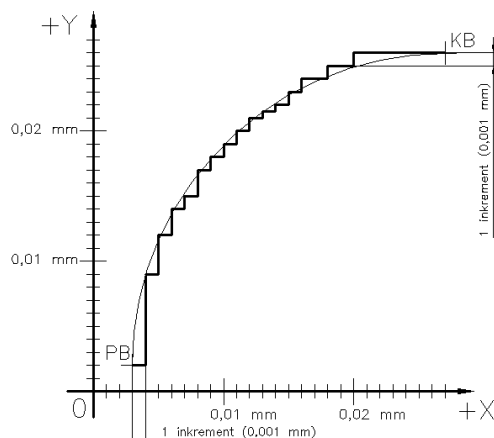


Obr. 6.13 Lineárna interpolácia

tenká čiara – ideálny obrys súčiastky, hrubá čiara – skutočný obrys súčiastky po obrobení

Pri interpolácii kruhovým interpolátorom interpolovaný kruhový oblúk leží v základnej rovine súradnicového systému (XY , YZ , alebo XZ). Výsledkom kruhovej interpolácie je menší počet vypočítaných bodov, čo zásadne ovplyvní presnosť vyrábanej súčiastky. Princíp činnosti kruhového interpolátora vysvetlíme na nasledovnom príklade (obr. 6.14). Je vykonávaná kruhová interpolácia v rovine XY a v smere hodinových ručičiek. V prvom kroku interpolátor zostaví rovnicu kružnice v danej rovine, teda v rovine XY . V nasledujúcom kroku interpolátor vyšle jednotkový impulz v smere $+X$, čím sa dostane do bodu 1. Následne do rovnice kružnice dosadí súradnice bodu 1 a po dosadení zistí, že ľavá strana rovnice je menšia ako pravá, čo znamená, že bod 1 leží vo vnútri oblúku. Ďalej interpolátor zmení smer pohybu a vysíla jednotkové impulzy tak dlho, až kým nezistí, že bod leží na oblúku (pozri bod 2). Takto interpolátor postupuje pri generovaní celého oblúka. Pri kruhovej interpolácii rozlišuje interpoláciu v smere hodinových ručičiek, ktorú v CNC programe privoláme prípravnou

funkciou G02 a interpoláciu proti smeru hodinových ručičiek, ktorú privoláme prípravnou funkciou G03.

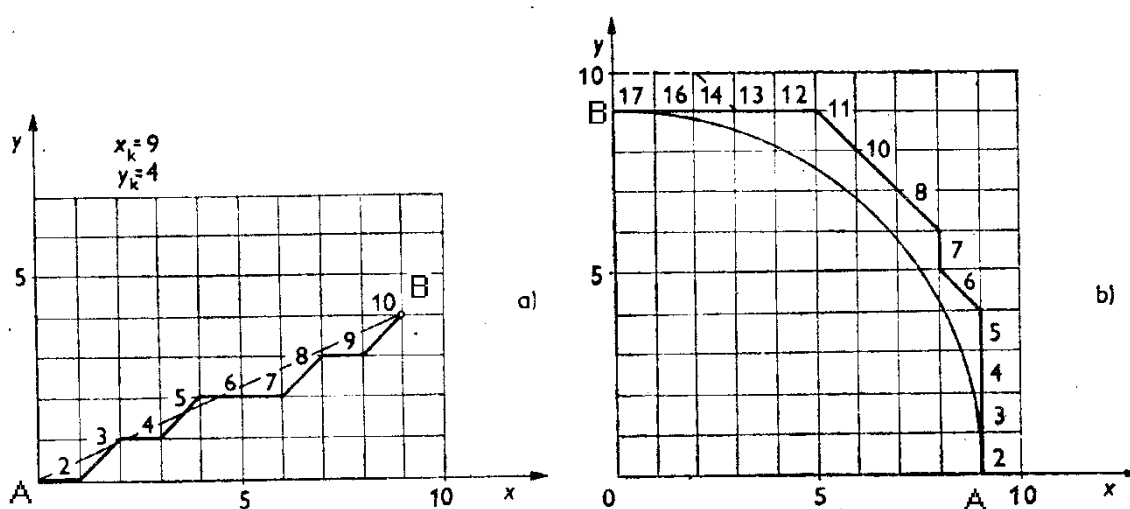


Obr. 6.14 Činnosť interpolátora pri kruhovej interpolácii
PB – počiatočný bod interpolácie oblúka, KB – koncový bod interpolácie oblúka

Princípom hélckého interpolátora je kruhová interpolácia vykonávaná v dvoch osiach, v tretej osi je vykonávaná lineárna interpolácia.

V súčasnosti sa používajú najčastejšie dva druhy interpolátorov. Je to *interpolátor DDA* (číslcový diferenciálny analyzátor – Digital Differential Analyzer) a *interpolátor s priamym funkčným výpočtom*.

Priebeh generovanej dráhy pri **interpolátore DDA** pri interpolácii krivky alebo kružnice je zrejmý z obr. 6.15.



Obr. 6.15 Príklad generovania dráhy pri interpolátore DDA

Dráha sa skladá z elementárnych úsekov v smere osi x a v smere osi y , alebo z úsekov pod 45° v závislosti na tom, či výstupný impulz z interpolátoru ide na súradnicu x alebo y , alebo súčasne na obidve súradnice.

Interpolátor automaticky rozdelí dĺžku dráhy L medzi bodmi A a B na n dielikov o dĺžke ΔL . Interpolátor počíta priemety dielikov ΔL_x a ΔL_y frekvenciou f , ktorá je v smere obidvoch osí rovnaká. Vysielaie riadiacich impulzov pre riadenie pohybu v jednotlivých osiach nastane vždy vtedy, keď veľkosť prírastkov ΔL_x a ΔL_y dosiahne alebo prekročí veľkosť hodnoty inkrementu. To vedie k riadenie pohybu po schodovitej dráhe. Odchýlka dráhy od uvažovanej priamky neprekračuje veľkosť jedného inkrementu.

Pretože pri interpolácii kružnice generuje interpolátor pohyb po špirále, sú tieto interpolátory vybavované obvodmi, ktoré zabezpečujú kompenzáciu chyby (čiarkovaný úsek). Z tohoto dôvodu pracujú interpolátory DDA v rozsahu jedného kvadrantu.

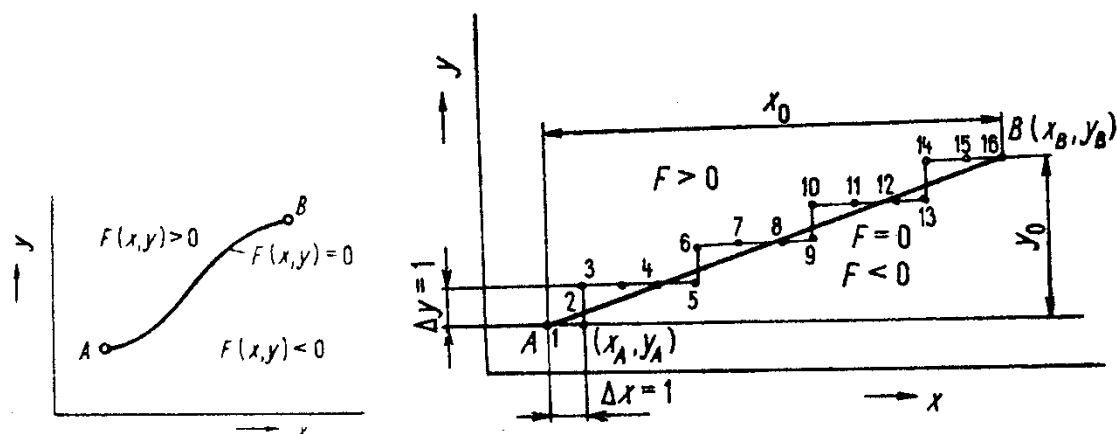
Interpoláčny spôsob priameho funkčného výpočtu (metóda DFC) interpolačnej funkcie používa namiesto rôznych dráhových prírastkov (pri spôsobe DDA), konštantnú dĺžku kroku. Vychádza sa z krivky ležiacej v rovine (x,y) , ktorú možno vyjadriť funkciou $y=f(x)$ alebo inak $F(x, y) \equiv y - f(x) = 0$

Podmienku $F = 0$ spĺňajú body ležiace na krivke. Ak platí:

- $F > 0$, bod leží nad priamkou,
- $F < 0$, bod leží pod krivkou.

Kritéria možno využiť pre postupné vytváranie časti krivky, ak táto nemá okrem počiatočného a koncového bodu minimum a alebo maximum.

Princíp je znázornený na jednoduchom príklade priamky. Na obr. 6.16 je úsečka AB . Dĺžka kroku môže byť 0,001 mm.



Obr. 6.16 Interpolácia krivky s priamym funkčným výpočtom

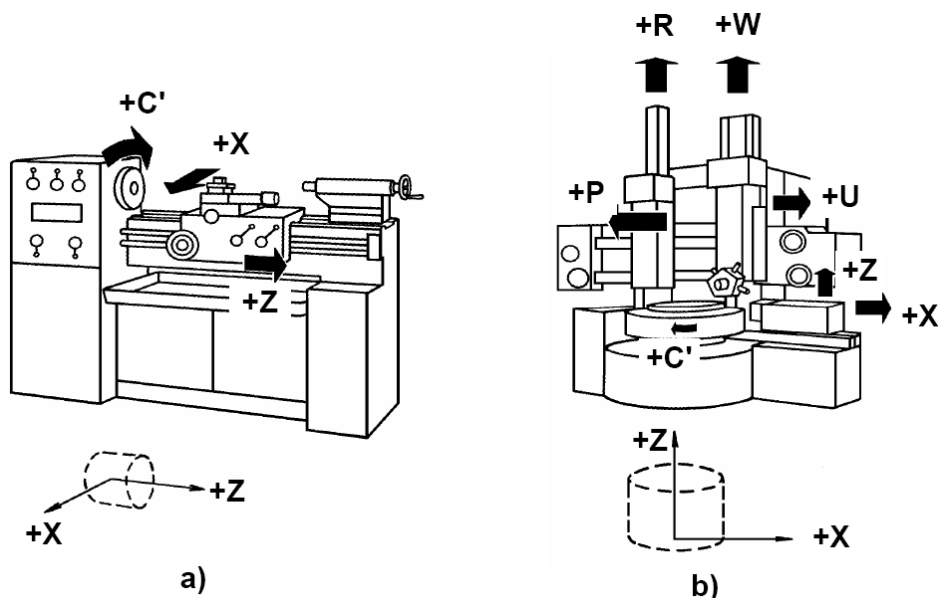
V bode A je $F = 0$ a smer prvého kroku môže byť ľubovoľne volený. Ak vedie prvý krok v smere $+x$, potom leží koncový bod kroku pod krivkou a platí pre tento bod $F < 0$. Záporné znamienko $-F$ podmieňuje krok v smere osi $+y$. V obrázku tomu odpovedá krok 2 a je zrejmé, že $F > 0$. To podmieňuje pohyb v smere $+x$ (krok 3). Po vykonaní tohoto kroku zostáva znamienko pred F kladné ($F > 0$), t. z. že ďalší krok bude znova v smere $+x$.

Takýmto spôsobom sa pokračuje až do dosiahnutia bodu B . Tak vzniká stupňovitá krivka, ktorej jednotlivé stupne sú tvorené jednoduchými krokmi v smere rovnobežnom so súradnicovými osami. maximálna odchýlka stupňovitej krivky nepresahuje nikde jednotku kroku. Stupňovitost' krivky sa na kvalite povrchu obrobku prakticky neprejaví, pretože odchýlky spôsobené mechanickými vlastnosťami sústavy stroj-nástroj-prípravok-obrobok sú spravidla väčšie.

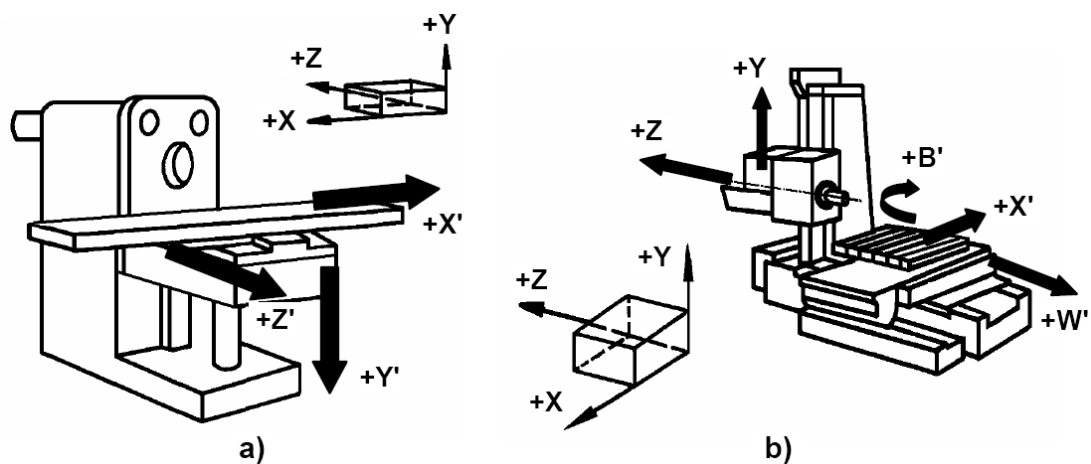
V súčasnosti najmodernejšie interpolátory interpolujú úseky dráhy pomocou spline kriviek (krivka popísaná polynómom tretieho stupňa) alebo NURBS kriviek. Takéto interpolátory zaraďujeme do skupiny interpolátorov vyššieho stupňa interpolácie. Formát NURBS umožňuje využívať matematické vlastnosti tvarov, napríklad plynulé prechody medzi blokmi. Veľmi presne reprezentujú pôvodný tvar a väčšina systémov CAD ukladá geometrické dáta v tomto formáte. Použitím kriviek NURBS obmedzíme mechanické rázy a zabezpečíme vysokokvalitný povrch. Medzi interpolátory vyššieho stupňa interpolácie tiež zaraďujeme interpolátory parabolické. Hlavným dôvodom použitia parabolického interpolátora je ich univerzálnosť pri interpolovaní zložitých tvarov v priestore, kde priemetom paraboly do ľubovoľnej roviny je opäť parabola. Parabolickú interpoláciu v CNC programe privoláme prípravnou funkciou G06.

6.4 Súradnicové systémy NC strojov

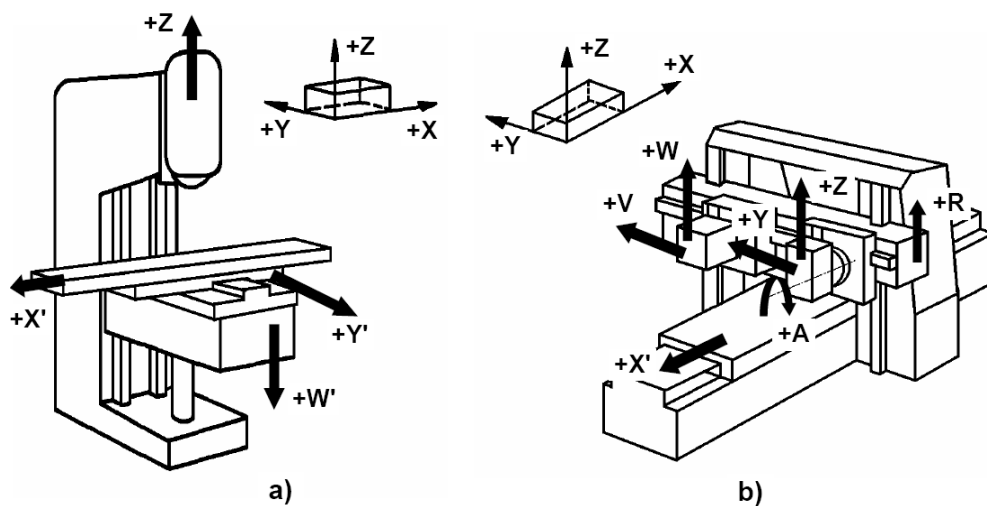
Aby bolo zadávanie trajektórií a polôh referenčných bodov pri programovaní NC strojov jednoznačné a jednotné, musíme rešpektovať určité pravidlá, ktoré sú platné pre „preloženie“ súradnicového systému príslušným NC strojom. Pre obrábacie stroje s klasickou sériovou kinematickou štruktúrou sa rešpektuje odporúčanie ISO R840, podľa ktorého sa používa klasická karteziánska trojosová pravotočivá súradnicová sústava s označením základných osí X, Y a Z. Pre ich usporiadanie platí pravidlo pravej ruky (palec – X, ukazovák – Y, prostredník – Z). Okrem priamočiarych pohybov rovnobežných s uvedenými osami zavádzajú sa ešte rotačné pohyby okolo týchto osí A (okolo osi X), B (okolo osi Y) a C (okolo osi Z). Kladný zmysel rotačných osí je zhodný so smerom a zmyslom posuvov pravotočivých skrutiek – napríklad, ak sa pozeráme v smere osi X, tak kladný zmysel rotačnej osi A je v zmysle pohybu hodinových ručičiek. Príklady sú na obr. 6.17, 6.18 a 6.19.



Obr. 6.17 Označenie riadených osí NC sústružníckych strojov
a) hrotový sústruh, b) zvislý stojanový sústruh



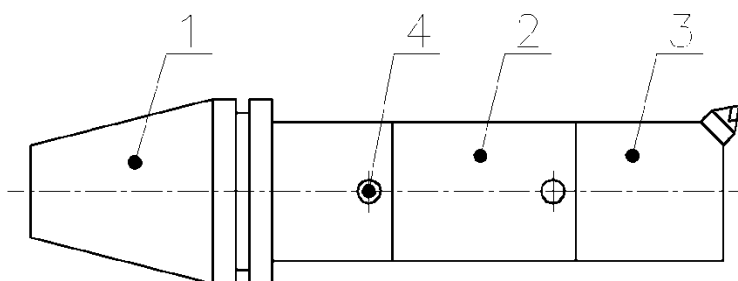
Obr. 6.18 Označenie riadených osí strojov s rotujúcim nástrojom
a) vodorovná konzolová frézovačka, b) vodorovná vyvrtávačka



Obr. 6.19 Označenie riadených osí strojov s rotujúcim nástrojom
a) zvislá konzolová frézovačka, b) portálová frézovačka

7. REZNÉ NÁSTROJE PRE CNC STROJE

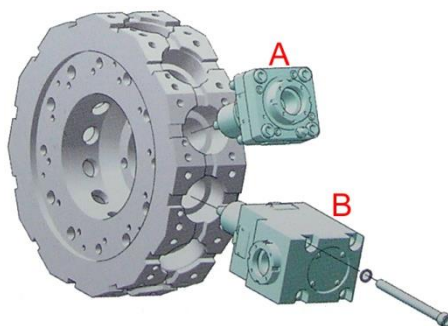
Pri použití číslicovo riadených strojov nástroje či už celistvé alebo vo forme rezných platničiek neupíname do pracovných vretien a revolverových hláv priamo, ale prostredníctvom samotných držiakov nástrojov a stavebnicových nástrojových sústav. Stavebnicová nástrojová sústava (obr. 7.1) sa skladá z nástrojového držiaku, na ktorý nadväzuje sústava redukčných a predlžovacích členov a následne upínací mechanizmus a samotná nástrojová jednotka. Spojovací uzol medzi jednotlivými prvkami stavebnicovej nástrojovej sústavy je tvorený spojovacou skrutkou. V súčasnosti sa vyrábajú veľké množstvá súčiastok jednoduchých aj zložitých tvarov, ktoré musia byť vyrobené s požadovanou presnosťou a kvalitou obrobenej plochy pri prijateľných nákladoch. Na splnenie týchto požiadaviek je potrebné veľké množstvo rôznych nástrojov. Aby sa výroba nepredražovala nákladmi potrebnými na obstaranie, údržbu, skladovanie, pre každý nástroj inej nástrojovej sústavy, sú požadované jednotné a univerzálne nástrojové sústavy s jednotnými spojovacími rozmermi, ktoré umožňujú upevnenie všetkých potrebných rotačných aj nerotačných nástrojov do revolverových hláv alebo vretien.



Obr. 7.1 Stavebnicová nástrojová sústava

1 – nástrojový držiak, 2 – predlžovací člen, 3 – nástrojová jednotka,
4 – miesto pre vloženie spojovacej skrutky

Pri upínaní nástrojov do revolverových hláv, musia byť použité také nástrojové držiaky, ktoré umožňujú radiálne a axiálne upnutie nástrojov (obr. 7.2). Držiak nástroja umožňuje rýchlu ručnú výmenu nástroja, automatickú výmenu rôznych typov nástrojov a možnosť nastavenia nástroja mimo pracovný stroj, čím dosahujeme prevádzku stroja bez prestojov potrebných na nastavenie nástroja. Pre univerzálnosť je základnou požiadavkou držiakov nástrojov ich normalizácia a štandardizácia.



Obr. 7.2 Držiaky nástrojov používané pri ich upínaní do revolverovej hlavy

A – nástrojový držiak, ktorý umožňuje radiálne upnutie nástroja,
B – nástrojový držiak, ktorý umožňuje axiálne upnutie nástroja

Nástrojové držiaky musia zabezpečiť:

- vysokú tuhosť vo všetkých smeroch pôsobenia rezných síl,
- dokonalé upnutie k pracovnému stroju s opakovateľnou presnosťou,
- rýchlu a jednoduchú prípravu nástroja mimo pracovného stroja,
- jednoduchú a rýchlu ručnú alebo automatizovanú výmenu,
- možnosť kódovania nástrojov,
- privod chladiacej kvapaliny do miesta rezu.

7.1 Materiály rezných nástrojov

Priemerne náklady na rezný nástroj reprezentujú okolo 3% celkových nákladov na komponent vo vysokoobjemovej výrobe. Preto 50% nárast životnosti nástroja znižuje celkové náklady na komponent o 1 až 2%. Na druhej strane, 20% nárast miery odstránenia materiálu môže znížiť celkové náklady na komponent o 15%.

Rezné nástroje môžu byť zoširoka klasifikované ako nástroje s jedným rezným klinom, ktoré majú jednu aktívnu reznú hranu, a viacklinové, multifunkčné, alebo viacúlohové nástroje, ktoré majú viacnásobné aktívne rezné hrany. Nástroje s jednou reznou hranou sú vo všeobecnosti používané pre sústruženie a vyvrtávanie, zatiaľ čo viacklinové nástroje sú používané pre vŕtanie a frézovanie. Multifunkčné a viacúlohové nástroje sú používané pre obrobenie viacstupňovej diery alebo niekoľkých prvkov s jedným nástrojom. Nástroje môžu byť ďalej klasifikované na základe materiálu reznej hrany, geometrie a metódy upnutia. Najlepší výber materiálu a geometrie nástroja pre danú operáciu závisí na množstve vyrábaných súčastí, materiáli obrobku, požadovanej presnosti, a možnostiach dostupných strojov.

Rezné nástroje musia byť vyrobené z materiálov schopných vydržať vysoké napätia a teploty generované počas formovania triesky. Ideálne nástrojové materiály musia mať nasledovné vlastnosti:

1. vysokú penetračnú tvrdosť pri zvýšených teplotách, aby odolali abrazívnemu opotrebeniu,
2. vysokú odolnosť proti deformácii, aby sa predišlo deformácii alebo zničeniu hrany pod napätiami vytváranými pri formovaní triesky,
3. vysokú húževnatosť v lome pre odolanie štiepeniu a lámaniu hrany, zvlášť pri prerušovanom rezaní,
4. chemickú inertnosť (nízku chemickú afinitu) s ohľadom na difúziu odolnosť pracovného materiálu, chemické a oxidačné opotrebenie,
5. vysokú tepelnú vodivosť pre zníženie rezných teplôt v blízkosti nástrojovej hrany,
6. vysokú únavovú odolnosť, zvlášť pre nástroje používané pri prerušovanom rezaní,
7. vysokú odolnosť na tepelný ráz pre prevenciu zlomenia nástroja pri prerušovanom rezaní,
8. vysokú tuhosť pre udržiavanie presnosti,
9. primeranú mazivosť (nízke trenie) s ohľadom na pracovný materiál pre prevenciu vtiahnutia hrany, zvlášť pri rezaní vlákných a tvárných materiálov.

Prvé tri vlastnosti sú požadované pre prevenciu náhleho katastrofálneho zlyhania nástroja. Vlastnosti 1, 4 a 5 sú požadované pre odolnosť nástroja voči vysokým teplotám uvoľneným počas formovania triesky; zvýšené teploty nástroja môžu spôsobiť náhle opotrebenie nástroja spôsobené tepelným zmäknutím alebo difúziou a chemickým opotrebením. Vlastnosti 3, 6 a 7

sú požadované pre zabránenie štiepenia sa nástroja, zvlášť pri prerušovanom rezaní. Húževnatosť v lome je obvyčajne charakterizovaná pričnou pevnosťou v lome; únavová odolnosť je charakterizovaná Weibullovým modulom. Ako je zobrazené na obr. 7.1, vlastnosti 1,4 a 5 vo všeobecnosti určujú maximálnu reznú rýchlosť, pri ktorej môže byť nástroj použitý, zatiaľ čo vlastnosti 3 a 6 určujú prípustné hodnoty posuvov a hĺbok rezu. Treba poznamenať, že požiadavky na pevnosť v lome a únavovú odolnosť sa menia s reznou rýchlosťou, keďže rezné sily sa obvyčajne znižujú s rastúcou reznou rýchlosťou.



Obr. 7.1 Vplyv vlastností materiálu nástroja na optimalizáciu rezných podmienok

Bežne používané nástrojové materiály zahŕňajú rýchlorezné ocele (HSS), kobaltom obohatené rýchlorezné ocele (HSS-Co), spekané volfrámové karbidy (WC), cermety, keramiku, polykryštalický kubický nitrid bóru (PCBN), polykryštalický diamant (PCD), a monokryštalický prírodný diamant. Tieto materiály poskytujú široký rozsah kombinácií vlastností. Relatívne porovnanie ich mechanických a fyzikálnych vlastností, tvrdosť, pevnosť, Youngov modul, tepelná vodivosť, špecifické teplo, teplota mäknutia a Weibullov modul sú uvedené v tabuľke 7.2; hodnota vlastnosti rastie medzi rôznymi materiálmi smerom od dolného riadku k hornému riadku tabuľky. Obr. 7.3 ukazuje špecifickejšie porovnanie tvrdosti a pevnosti pre rôzne nástrojové materiály. Obr. 7.4 ukazuje podobné porovnanie relatívnej odolnosti proti oteru.

Voľba reznej rýchlosti je najdôležitejší parameter medzi reznými podmienkami. Rezná rýchlosť je ovplyvnená predpokladanou krivkou trvanlivosti nástroja. Rezné materiály, aby vzdorovali možnosti lomu následkom mechanických a tepelných šokov a obmedzili opotrebenie, musia mať vysokú húževnatosť, vysokú tvrdosť povrchu, vysokú odolnosť proti chemickému pôsobeniu, hlavne oxidácii. Nové rezné materiály umožňujú vysokorýchlostné obrábanie (high speed machining – HSM):

- ocelí – povlakovanými karbidmi a cermetmi.
- liatin – keramikou.
- neželezných materiálov – polykryštalickými diamantmi.
- liatin a kalených ocelí – kubickým nitridom bóru.
- vysokorýchlostné brúsenie kalených materiálov – kotúčmi s keramickými spojivami a kubickým nitridom bóru.

Použitie diamantu pri kritickej teplote 700°C je vylúčené.

Horné hranice rezných rýchlostí [m/min] pre kombinácie rezných a obrábaných materiálov sú uvedené v tabuľke 7.1.

Tabuľka 7.1

Dosahované rezné rýchlosti pre základné skupiny obrábaných a rezných materiálov				
Obrábaný materiál	Oceľ	Liatina	Superzliatiny	Neželezné a nekovové materiály
Rezný materiál				
Rýchlореzná oceľ	10-25	15-30	5-20	100-180
Nepovlakované karbidy	70-150	50-120	40-75	90-950
CVD povlakované karbidy	80-300	70-450	90-250	nevhodné
PVD povlakované karbidy	40-200	90-200	50-90	90-950
Cermety	40-300	50-400	40-180	150-700
Keramika	300-600	50-750-1500	40-250	400-700
Polykryštalický diamant	nevhodné	nevhodné	nevhodné	500-5500
Polykryštalický kubický nitrid bóru	120-250 Len kalená oceľ	500-1300	70-250	nevhodné

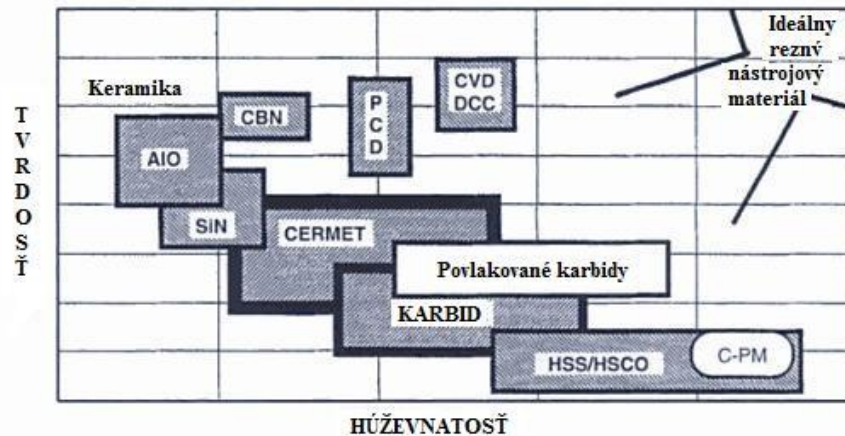
Súčasný aplikácie HSM sú najčastejšie pri frézovaní malými priermi štíhlych nástrojov. Výhodou je významné zníženie výrobného času až o 90% a zníženie nákladov o 50%.

Ako je zrejmé z tabuľky 7.2, obr. 7.2, a obr. 7.3, ani jeden materiál nevykazuje všetky požadované vlastnosti pre nástrojový materiál.

Tabuľka 7.2

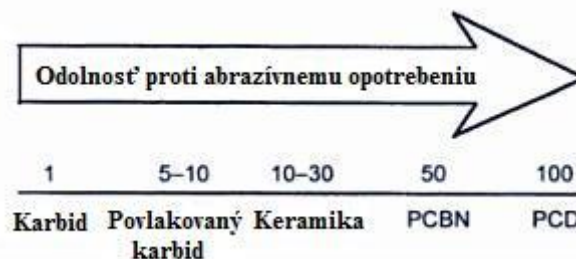
Relatívne porovnanie rôznych vlastností rezných nástrojových materiálov

Mikrotvrdosť	Huževnatosť v lome	Youngov modul	Modul pevnosti v ohybe	Tepelná vodivosť	Špecifické teplo	Teplota mäknutia	Chemická inertnosť	Weibulov modul
PCD	C2 carbide	PCD	C2 carbide	PCD	Al ₂ O ₃	PCD	Al ₂ O ₃	C2 carbide
PCBN	(SiCw)-Al ₂ O ₃	PCBN	PCD	PCBN	Si ₃ N ₄ , HIP	PCBN	(SiCw)-Al ₂ O ₃	(SiCw)-Al ₂ O ₃
Al ₂ O ₃ + TiC	ZrO ₂	C2 carbide	Sialon	C2 carbide	Si ₃ N ₄ , RB	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Si ₃ N ₄ , HIP
C2 carbide	Sialon	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + TiC	Si ₃ N ₄ , HIP	Al ₂ O ₃ + TiC	C2 carbide	Sialon	Si ₃ N ₄ , RB
Si ₃ N ₄ , HIP	Si ₃ N ₄ , HIP	Al ₂ O ₃ + TiC	Si ₃ N ₄ , HIP	Sialon	Sialon		Si ₃ N ₄	Sialon
Sialon	Al ₂ O ₃ + TiC	(SiCw)-Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Al ₂ O ₃ + TiC	ZrO ₂		C2 carbide	Al ₂ O ₃ + TiC
Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄ , HIP	Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄ , RB				Al ₂ O ₃
ZrO ₂	Si ₃ N ₄ , RB	Sialon	PCBN	Al ₂ O ₃				
Si ₃ N ₄ , RB		Si ₃ N ₄ , RB	Si ₃ N ₄ , RB	ZrO ₂				
		ZrO ₂						



- DCC: Diamantom povlakovaný karbid
 C-PM: Povlakovaná oceľ z práškovej metalurgie
 SiN: Kremíkovonitridová keramika
 Al_2O_3 : Keramika + oxid hliníka

Obr. 7.2 Porovnanie tvrdosti a pevnosti pre rôzne rezné materiály



Obr. 7.3 Relatívne porovnanie odolnosti nástrojových materiálov voči abrazívnemu opotrebeniu

Niektoré žiadané vlastnosti sa v skutočnosti vzájomne vylučujú. Napríklad veľmi tvrdé materiály majú sklon ku krehkosti a preto majú nízku húževnatosť v lome. Najlepší nástrojový materiál pre danú aplikáciu závisí na niekoľkých faktoroch, ktoré tieto zahŕňajú požiadavky na súčasť, obmedzenia podmienené dostupnými strojmi a držiakmi nástrojov, a ekonomickými dôvodmi. Pre nové procesy je režim reznej rýchlosti často volený ako prvý, keďže to má silný vplyv na rýchlosť uberania kovu a charakteristiky opotrebenia nástroja. Výber materiálu nástroja je potom urobený z obmedzeného zoznamu materiálov vhodných pre použitie v danom rozsahu pre udaný pracovný materiál. Pri riešení existujúcich operácií pre skvalitnenie životnosti nástroja alebo kvality vyrábaných súčiastok, sú nástrojové materiály často nahrádzané na základe rozsahu rýchlosti a očakávaného typu obrábaného materiálu.

Nástrojová oceľ

K určujúcim vlastnostiam nástrojovej ocele patrí tvrdosť, kaliteľnosť, odolnosť voči opotrebovaniu, deformáciám, húževnatosť a obrábateľnosť. Nástrojové ocele sú uhlíkové, legované a rýchlorezné (HSS).

Uhlíkové ocele

Po tepelnom spracovaní dosahujú tvrdosť 56 až 60 HRC, mechanické vlastnosti si udržia pri pracovných teplotách 250-300°C. Po prekročení limitnej prevádzkovej teploty strácajú schopnosť rezať. Tvrdosť uhlíkových ocelí rastie s rastúcim obsahom uhlíka. Pri potrebe vysokej húževnatosti a nižšej tvrdosti je vhodná oceľ s obsahom uhlíka v intervale 0,5 – 0,7%, naopak pri potrebe vysokej tvrdosti a priemernej húževnatosti je obsah uhlíka v intervale 0,8 – 1,2%. Nástroje z uhlíkových ocelí sa používajú hlavne na obrábanie nekovových materiálov a pre iné menej namáhané nástroje. Pri požiadavke nízkej húževnatosti a vysokej tvrdosti je obsah uhlíka viac ako 1,2%. Pre prerušované rezanie sú odporúčené nástroje s obsahom uhlíka do 0,7%. Nedostatkom týchto ocelí je nízky rezný výkon pri vyššej rýchlosti a citlivosť na prehriatie.

Legované ocele

Legovaním uhlíkových ocelí prvkami Cr, Mo, V, Ni a ďalšími je možnú vylepšiť rezné vlastnosti uhlíkových ocelí, pričom celkové množstvo legujúcich prvkov obyčajne je v intervale 3 – 5%, obsah uhlíka v rozsahu 1,1 – 1,5%, obsah Cr do 1%. Po zakalení dosahujú tieto ocele tvrdosť 60-65 HRC, pevnosť v ohybe 3500 MPa, reznú schopnosť si tieto nástroje udržia do teploty cca 400°C. Tieto ocele sa používajú pri požiadavke vyššej tvrdosti a húževnatosti ako uhlíkové.

Rýchlореzné ocele (HSS)

Rýchlореzné ocele dosahujú výrazne lepšie vlastnosti ako uhlíkové a legované ocele a to vhodnou kombináciou uhlíka C (0,8-1,4%) a vybraných legujúcich prvkov takých ako volfrám W (6-18%), chróm Cr (4,2%), vanád V (1,3-4,3%), molybdén Mo (0,7-10%) a kobalt Co (5-12%) a správnym spôsobom tepelného spracovania. Ich tvrdosť je 60-68 HRC, pevnosť v ohybe 2700-5500 MPa, tvrdosť si udržia pri teplotách do 600°C. Limitujúci faktor je nízka rezná rýchlosť do 60m/min. Vplyv legujúcich prvkov na vlastnosti HSS uvádza tabuľka 7.3.

Tabuľka 7.3: Vplyv legujúcich materiálov na HSS

	Cr	W	Mo	V	Co
Obsah do (%)	4	< 20	< 10	1 - 10	0 - 16
Tvrdosť	+	+	+	+	+
Odolnosť voči teplote	0	+	+	+	+
Odolnosť voči opotrebeniu	0	0	+	0	-

kde „+“ pozitívny vplyv, „0“ neutrálny vplyv, „-“ negatívny vplyv

Súčasný široký sortiment HSS s rôznym chemickým zložením možno podľa delenie AISI (American Iron and Steel Institute) zaradiť do dvoch skupín T a M, kde T sú volfrámové ocele (12-18%W) a M sú molybdénové ocele (1,5-10%W, 3,5-10%Mo).

K vlastnostiam HSS typu T patrí nízka citlivosť proti prehriatiu pri kalení, dobrá húževnatosť, prímes kobaltu zlepšuje odolnosť proti popúšťaniu a tvrdosť za tepla. HSS typu M sú v porovnaní s typom T citlivejšie na prehriatie pri kalení, majú nižšiu mernú hmotnosť, sklon k oduhličeniu, prímes kobaltu 5-10% zvyšuje pevnosť za tepla a výkonnosť. Najpoužívannejšie HSS sú uvedené v tabuľke 7.4.

Tabuľka 7.4 Sortiment HSS

Označenie AISI		ISO DIN 513
		HS W–Mo–V–Co (%)
T	18% W	HS 18-0-1
		HS 18-1-2-5
	12% W	HS 12-1-4-5
		HS 10-4-3-10
M	6% W + 5% Mo	HS 6-5-2
		HS 6-5-3
		HS 6-5-2-5
	2% W + 9% Mo	HS 2-9-1
		HS 2-9-2
		HS 2-10-1-8

Nástroje z HSS sú vhodné pre obrábanie širokého spektra kovových a nekovových materiálov, s výnimkou veľmi tvrdých materiálov a materiálov s abrazívnym účinkom. Výroba konvenčných HSS s vysokým obsahom volfrámu sa znižuje a prednosť majú nízkolegované rýchlorezné ocele, doplnené netradičnými legujúcimi prvkami ako kremík Si, a Niób Nb [6].

V 70-tych rokoch minulého storočia bola použitá pri výrobe HSS prášková metalurgia (P/M), ktorá zlepšila kvalitu ocelí, zoptimalizovala ich chemické zloženie a homogenitu. Prášok je možné lisovať do predvalkov a následne z nich kovaním, alebo valcovaním vyrobiť polovýrobky. Z polovýrobkov je obrábaním možné vyrobiť kvalitné nástroje na opracovanie aj ťažko obrábateľných ocelí. Druhým spôsobom je lisovanie prášku rozpusteného vo vode do matric za studena, z ktorých sa spekaním vyrábajú jednoduchšie tvary nástrojov dokončované brúsením. HSS vyrobené práškovou metalurgiou majú oproti konvenčným HSS zvýšenú húževnatosť, lepšiu obrábateľnosť, a trvanlivosť reznej hrany. Určujúce vlastnosti HSS podmieňujúce ich funkčnosť a použitie sú: tvrdosť, tvrdosť za tepla, húževnatosť, odolnosť voči opotrebeniu, odolnosť voči popúšťaniu, ktoré určujú ich výkon, reznosť a trvanlivosť.

Vlastnosti HSS ovplyvňuje okrem voľby chemického zloženia aj tepelné spracovanie zámerne využívajúce fázové a štruktúrne zmeny v tuhom stave. Základné typy tepelného spracovania sú žiňanie bez prekryštalizácie, žiňanie s prekryštalizáciou, martenzitické a bainitické kalenie. Rozhodujúci vplyv na húževnatosť HSS má správna voľba kaliacej teploty (1000-1270°C), pričom ohrev na kaliacu teplotu musí byť stupňovitý.

Spekané alebo práškové kovy (P/M) poskytujú výhody v úžitkovosti nástroja. P/M HSS materiál poskytuje minimálnu deformáciu a vylepšenú odolnosť voči opotrebeniu, tvrdosť za tepla, a tuhosť v porovnaní s bežnou HSS. P/M HSS materiály sú zvlášť prospešné pri zapichovaní a preťahovaní, ale tiež sú používané pre vrtáky a čelné frézy, pretože majú lepšiu tuhosť ako karbidy, ktoré sa môžu štiepiť a praskať pri prerušovanom rezaní, alebo ak sa objavia tvrdé plôšky. Vo vhodných aplikáciách, P/M nástroje môžu zdvojnásobiť životnosť a odberať materiál dvojnásobne oproti HSS alebo dokonca karbidu.

V niektorých aplikáciách, je HSS legovaná kobaltom (HSS-Co) alebo vanádom pre dosiahnutie akosti so zvýšenou tuhosťou, pevnosťou za tepla, a odolnosťou voči opotrebeniu. HSS-Co triedy sú používané zvlášť pre vrtáky a závitníky. Sú vhodné na použitie pri vyšších rýchlostiach, posuvoch, a hĺbkach rezu ako bežné HSS, a majú lepšiu húževnatosť v lome ako spekané

karbidy. Podobne, stelit, zliatina na báze kobaltu obsahujúca chróm, volfrám, a uhlík je tiež niekedy používaný pre nástroje. Najčastejšie sú používané celistvé stelitové nástroje pre ťažko obrábatelné materiály (napr. zvarky), ktoré spôsobujú štiepenie karbidových nástrojov. HSS zaznamenávajú v súčasnej dobe určitý útlm vo využívaní, ale stále zostávajú jedným zo základných nástrojových materiálov.

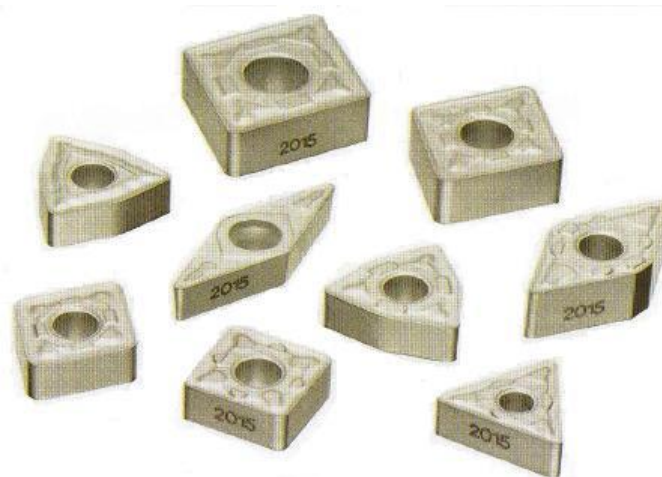
Spekaný karbid

Tvrdokovy na báze spekaného volfrámového karbidu sú najbežnejšie nástrojové materiály pre sústruženie, frézovanie, závitovanie a vyvrtávanie využívajúc indexovateľné platničky a monolitné náradie. Vo všeobecnosti sú vlastnosti spekaných karbidov nasledovné: vysoká tvrdosť 90-95 HRA, nízka pevnosť v ohybe 900-1900 MPa, odolnosť voči opotrebeniu do teplôt 700-900°C, dobré mechanické a fyzikálne vlastnosti ako pevnosť v tlaku a ťahu, odolnosť proti korózii, nízka tepelná a elektrická vodivosť. Odporučený rozsah rezných rýchlostí je v rozmedzí 40-300 m/min.

Spekané karbidy sú vyrobené práškovou metalurgiou. Na rozdiel od nástrojových ocelí nie sú vyrábané tavením ale spekaním, pri ktorom nenastane teplota tavenia všetkých zložiek. Spekané karbidy pre rezanie sú zložené z nasledovných zložiek: karbid volfrámu (WC), karbid titánu (TiC), spojovací prvok je kobalt (Co) a prísady sú karbid tantalu (TaC), karbid nióbu (NbC), karbid chrómu (Cr_3C_2) a karbid vanádu (VC). Technológia výroby spekaných karbidov má nasledovné hlavné etapy:

- výroba práškov – volfrámu, karbidov TiC, TaC, NbC, WC a práškového kobaltu a ich zmesí,
- lisovanie vo formovacích lisoch,
- spekanie, je dvojfázové, najprv nastane predspekanie pri teplote okolo 950°C, potom nasleduje úprava polovýrobku a po nej spekanie pri teplotách 1300-1650°C,
- tvarovanie brúsením, lapovaním a leštením,
- povlakovanie CVD alebo PVD.

Asi 75% produkcie rezných nástrojov zo spekaného karbidu sa lisujú na rezné platničky, ako je znázornené na obr. 7.4.



Obr. 7.4 Rezné platničky zo spekaného karbidu

Klasifikácia spekaných karbidov je zobrazená v tabuľke 7.5 v C a ISO systémoch.

Odporučené je využívať triedenie podľa klasifikácie ISO, ktoré rozdeľuje karbidy do troch skupín:

- skupina P (modrá farba); dvojzložkové typu WC + TiC (TaC) + Co, vhodné na spracovanie materiálov s dlhou trieskou, nelegované a legované konštrukčné ocele, oceľoliatiny.
- skupina M (žltá farba); viaczložkové karbidy typu WC + TiC + (TaC, NbC) + Co, vhodné na obrábanie materiálov s dlhou a strednou trieskou, liate ocele, austenitické a nehrdzavejúce ocele, tvárne liatiny
- skupina K (červená farba); jednozložkové karbidy WC+Co, vhodné na obrábanie materiálov s krátkou drobnou trieskou ako sú liatiny, neželezné zliatiny a nekovové materiály.

Tabuľka 7.5 Klasifikácia karbidových nástrojových materiálov

C systém	Obrábaný materiál	Operácia	Smer rastu charakteristík		ISO 513
			Rez	Karbid	
C1	Liatina	Hrubovanie	Rast.	Odolnosť voči	K-40
C2	Tvrdá oceľ		rýchlosť	opotrebeniu	K-35
C3	Neželezný				K-30
C4	Nekovový		↑ ↓	↑ ↓	K.10
		Dokončovanie	Rast.posuv	Tuhosť	K-01
C5	Železný	Hrubovanie	Rast.	Odolnosť voči	P-50
C6	Uhlíková oceľ		rýchlosť	opotrebeniu	P-40
C7	Legovaná oceľ				P-30
C8	Žíhaná nehrdz. oceľ		↑ ↓	↑ ↓	P-20
	Odliatky z ocele	Dokončovanie	Rast. posuv	Tuhosť	P-10
					P-01
	Ocele nízkej pevnosti	Hrubovanie	Rast.	Odolnosť voči	M-50
	Tvárna liatina		rýchlosť	opotrebeniu	M-40
	Vysokoteplotné zliatiny		↑ ↓	↑ ↓	M-30
	Neželezný				M-20
		Dokončovanie	Rast. posuv	Tuhosť	M-10
					M-01

Každá skupina je ešte rozlíšená číslom za písmenom, ktoré určuje pozíciu v stupnici od najvyššej tvrdosti po najvyššiu húževnatosť (napr. P50 – najvyššia húževnatosť, P01 – najvyššia tvrdosť v rámci skupiny); napr. K40 je tvrdá trieda vhodná pre hrubovanie frézou. K25 obvykle predstavuje všeobecne používané frézovanie.

Sú používané dve základné akosti karbidových materiálov pre rezné nástroje; dvojfázový WC-Co (spekaný wolfrámový karbid; akosti K01-K40), a legované WC-Co akosti, v ktorých je časť WC nahradená tuhým roztokom kubických karbidov, takých ako titánový karbid (TiC), tantálový karbid (TaC), nióbový karbid (NbC), alebo kombináciou týchto materiálov (akosti P01-P50 a M01-M50). Neupravené akosti WC-Co sú používané pre materiály obrobní, ktoré spôsobujú primárne abrazívne opotrebenie nástroja a vytvárajú krátku, nespojitú triesku; typické materiály zahŕňajú liatiny, vysokoteplotné zliatiny, ďalšie neželezné zliatiny, a nekovy. Keď je používaný s oceľou, ktorá generuje výdatné dlhšie kontinuálne triesky, trieda neupravenej WC-Co často zlyhá kvôli vylupovaniu na sklon čela nástroja.

Tvrdosť, húževnatosť v lome, a tepelná odolnosť karbidových akostí závisí na obsahu Co, TiC, a TaC a na veľkosti zrna karbidu. Zvýšenie obsahu Co znižuje tvrdosť za tepla a opotrebenie hrany, vylupovanie, a odolnosť voči teplotnej deformácii, ale zvyšuje húževnatosť v lome. Pevnosť v tlaku je výrazne ovplyvnená obsahom Co, a narastá s percentom Co na maximum okolo približne 4%. Odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu spekaných karbidov narastá s narastajúcim obsahom TiC a klesá s rastúcim obsahom TaC. Substráty s obsahom Co nižším než 6% sú vhodné pre obrábanie železa pri vyšších rýchlostiach s menšími hĺbkami rezu and obmedzeným počtom prerušení.

Základné smernice pre výber triedy karbidu sú: (1) použitie najnižšieho obsahu Co a najjemnejšej veľkosti zrna zamedzuje štiepeniu reznej hrany a zlomeniu nástroja; (2) použiť neupravené triedy WC, keď zvažujeme abrazívne opotrebenie hrany; (3) použiť TiC triedy pre prevenciu vylupovania a/alebo oboch vylupovania a abrazívneho opotrebenia; (4) použiť TaC triedy pre ťažké rezy v oceliach. Najväčšie obmedzenie nepovlakovaného karbidu, keď je použitý pri vyšších rezných rýchlostiach v kovových materiáloch, je rýchle opotrebenie kvôli oteru.

Cermety

Cermety sú tvrdokovy na báze TiC-, TiN- alebo TiCN často popisované ako kompozity keramiky alebo karbidov. Fyzikálne vlastnosti a aplikačný rozsah cermetov vo všeobecnosti spadá medzi WC a keramiku. Cermety sú menej náchylné na difúzne opotrebenie ako WC, a majú priaznivejšie charakteristiky trenia. Akokoľvek, majú nižšiu odolnosť na lom (nižšiu pevnosť a tuhosť) a vyšší koeficient teplotnej rozťažnosti ako WC a sú citlivejšie na posuv. (Nová generácia mikrozrnných cermetov poskytuje pevnosť v ohybe blízku k takej ako majú WC.) Cermety majú vyššiu pevnosť v ohybe a húževnatosť v lome ako keramika, vyššiu odolnosť na teplotný ráz, a nižšiu tvrdosť. Vo všeobecnosti majú cermety vynikajúcu odolnosť voči deformácii a vysokú chemickú stabilitu, ale relatívne nízku pevnosť hrany. Môžu byť použité s ostrou reznou hranou v množstve finišovacích aplikácií, ktoré im umožňujú produkovať výnimočne dobré opracovanie povrchu.

Cermety pozostávajú z častíc TiC a TiN spekaných odolným metalickým spojivom, obvyčajne tvoreným niklom (Ni), kobaltom (Co), volfrámom (W), tantalom (Ta), alebo molybdénom (Mo). Ni a Ni-Mo sú najčastejšie používané spojivá, a objem spojiva je obvyčajne medzi 5 až 15%. TiC poskytuje tvrdosť za tepla pre odolnosť voči opotrebeniu, oxidačnú rezistenciu, chemickú stabilitu, a zdokonalenú vrubovú húževnatosť, a znižuje tendenciu pracovného materiálu lepiť sa na nástroj. TiN poskytuje húževnatosť v lome a odolnosť proti teplotnému rázu. Cermety sú vo všeobecnosti dostupné v troch triedach – tvrdé, húževnaté, a relatívne húževnaté ale tvrdé. Tvrdé cermety sú používané v aplikáciách vyžiadajúcich vysokú odolnosť voči opotrebeniu a plastickej deformácii, takých ako semifinišovacie a finišovacie rezanie ocelí, nehrdzavých ocelí, voľné obrábanie hliníka, a ďalších neželezných zlitiny (mosadze, zinku, a medi) a niektorých liatin tak, ako je zobrazené v tabuľke 7.6.

Húževnaté cermety sú tiež používané v semifinišovacích a finišovacích aplikáciách (zvlášť frézovaní) a v niektorých hrubovacích kontinuálnych rezaniach nízkolegovaných ocelí, nehrdzavejúcich ocelí, tvárneho železa, a relatívne tvrdých ocelí. Húževnaté ale tvrdé triedy sú používané pre sústruženie a vyvrtávanie, a pre finišovacie frézovacie operácie. Vo vhodných aplikáciách, cermety poskytujú od 20 do 100% dlhšiu životnosť ako povlakované karbidy.

Tabuľka 7.6 Odporúčania pre frézovanie cermetmi

	Akosť	Rýchlosť (m/min)	Posuv (mm/ot.)
Ocele	Húževnaté	60-250	0,05-0,15
Ocele	Tvrdé	60-340	0,05-0,15
Nehrdzavejúce ocele	Húževnaté a tvrdé	60-230	0,05-0,15
Liatina	Tvrdé	100-360	0,05-0,15
Nodulárna liatina	Tvrdé	45-170	0,05-0,15

Hlavná výhoda cermetov oproti karbidom je ich schopnosť pracovať pri omnoho vyšších povrchových rezných rýchlostiach s dlhšou životnosťou reznej hrany. Cermety sú vo všeobecnosti používané pre semifinišovacie a finišovacie aplikácie a zvlášť pre vysokorýchlostné finišovacie aplikácie. Dovoľená rezná rýchlosť je obvyčajne nižšia ako tá, ktorá je dosiahnuteľná keramikou. Navrhované odporúčania sú uvedené v tabuľke 7.6. Cermety sú viac odolné na ráz ako keramika a často je doporučené chladenie pre finišovacie sústruženie, závitovanie, a drážkovanie povlakovanými cermetmi. Mikrokrnné cermety majú omnoho lepšiu odolnosť na teplotný ráz a chladenie môže byť použité vo všetkých operáciách, kde je potrebné.

Keramika

Keramické nástroje sú tvrdé a chemicky stabilné a nahradili karbidové nástroje v mnohých vysokorýchlostných (HSM) aplikáciách. Keramika môže odolávať vyšším teplotám ako karbidy, umožňujúc tri – až desaťnásobný nárast reznej rýchlosti a dva – až päťnásobný nárast hodnôt odberu materiálu. Mechanické vlastnosti keramiky sú lepšie ako karbidov len pri vyšších teplotách (nad 800 °C). Udržujú si vynikajúcu tvrdosť a tuhosť pri teplotách od 1000 do 1500°C (karbidy preukázateľne mäknú pri teplotách nad 850°C), a chemicky nereagujú s väčšinou materiálov obrobku pri týchto teplotách. Poskytujú lepšiu kontrolu veľkosti vďaka nižšej miere opotrebenia nástroja, z čoho vyplýva zvýšená kvalita. Akokoľvek, majú niekoľko slabín; relatívne nízku pevnosť, slabú odolnosť voči teplotnému a mechanickému rázu, a tendenciu zlyhať štiepením. Väčšina keramických monolitných materiálov nemá predikovatelné časy porúch a zlyhajú katastrofálne spôsobmi, ktoré môžu zničiť obrobky.

Pre riešenie tohto obmedzenia boli vyvinuté keramické kompozitné materiály. Keramika je obvyčajne používaná bez chladenia pre zabránenie teplotnému rázu. Mechanický ráz môže byť minimalizovaný použitím tuhšieho stroja a nízkofrekvenčných prerušovaných rezov. To robí voľbu vhodnej rýchlosti a prípravu hrany kľúčovou pri použití keramiky. Vo všeobecnosti, rezná rýchlosť sa musí znížiť s rastúcou tvrdosťou materiálu obrobku.

Keramické rezné materiály, najčastejšie vyrobené z materiálov na báze Al_2O_3 a Si_3N_4 , môžu byť rozdelené do štyroch kategórií:

- Al_2O_3 , niekedy zmiešaný s oxidom zirkónu, $Al_2O_3-ZrO_2$. Tieto nástroje sú žltej až sivobielej farby. Nástroje vyrobené z Al_2O_3 a fázovou transformáciou spevnené $Al_2O_3-ZrO_2$ vykazujú vysokú chemickú inertnosť a odolnosť voči opotrebeniu tepelnou deformáciou. Sú používané pre spojité plytké rezy (semifinišovacie a finišovacie operácie) a relatívne nízke hodnoty posuvov. Typické aplikácie zahŕňajú sústruženie uhlíkových ocelí, legovaných ocelí, nástrojových ocelí (<38R_C), a šedých liatin (<300BHN (Brinell Hardness Number)) pri rýchlostiach do 1000 m/min.

- Hliníkovo-titánové karbidové kompozity, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, obsahujúce od 30 do 40% TiC. Tento materiál, ktorý je čiernej farby, má vyššiu priečnu medzu pevnosti, odolnosť voči tepelnému rázu, a tvrdosť než konvenčné Al_2O_3 , ale stále má relatívne nízku odolnosť voči lomu. Je efektívny pre neprerušované rezy legovaných ocelí, tvrdené a temperované liatiny, tvrdené železné materiály (35 to 65 Rc), a exotické zliatiny. Všetky hliníkové (Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$, a $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) materiály majú sklon k praskaniu a vykazujú vrubové opotrebenie pri obrábaní ocele. Tiež sa môže objaviť chemicky vyvolané opotrebenie v závislosti na reznej teplote a okolitom prostredí (vzduch, vlhkosť, chladenie, atď.). Nástroje na báze Al_2O_3 sú nevhodné pre obrábanie hliníkových zliatin a titánových zliatin kvôli ich silnej chemickej afinite k týmto materiálom.
- Reakčne viazaný nitrid kremíka (Si_3N_4 , RB), za horúca lisovaný nitrid kremíka (Si_3N_4 , HIP), a sialon ($\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3$) sú všetky šedej farby. Si_3N_4 RB a HIP sú kombinácie Si_3N_4 s ytriom, Al_2O_3 , a TiC. Sialon obsahuje kremík, hliník, kyslík a dusík. V porovnaní s materiálmi v prvých dvoch kategóriách, tieto húževnaté keramiky vykazujú lepšiu vrubovú húževnatosť a opotrebenie, vysokú tvrdosť a odolnosť voči tepelnému rázu; nástroje z nich vyrobené sú následkom toho spoľahlivejšie. Nástroje na báze Si_3N_4 sú extrémne odolné voči opotrebeniu pri použití na obrábanie liatin a superzliatin, ale podliehajú nadmernému teplotne aktivovanému opotrebeniu pri obrábaní ocelí pri vysokých rýchlostiach. Naopak sialon bol úspešne aplikovaný na šedú liatinu aj oceľ pri vysokých rýchlostiach.

Supertvrdé rezné materiály

Prvotné použitie týchto nástrojov bolo pre brúsenie, ale zdokonalenie technológie výroby a rastúce požiadavky na presnosť obrobkov viedli k ich použitiu na rezné nástroje. Medzi supertvrdé materiály zahrňujeme: prírodný diamant, syntetický diamant (monokryštalický a polykryštalický) a kubický nitrid bóru.

Prírodný diamant

Je najtvrdším doteraz známym materiálom, najlepšie vedie teplo, má jeden z najnižších koeficientov trenia, vysoký modul pružnosti, zároveň je veľmi krehký, málo odolný proti rázom. Pri rýchlom ochladení môže prasknúť. Nástroje z prírodného diamantu sú veľmi drahé, ale majú vysokú životnosť, výbornú oteruvzdornosť a reznosť.

Syntetický diamant

Syntetické diamanty takmer úplne nahradili používanie prírodných diamantov pri obrábaní a ich vlastnosti sú takmer totožné s vlastnosťami prírodných diamantov. V súčasnosti existuje pomerne široký sortiment umelých diamantov určených pre konkrétne požiadavky. Polykryštalický diamant má pomerne široké využitie v oblasti rezných nástrojov (vymeniteľné rezné platničky) rôzneho prevedenia. Ich použitie je najviac závislé na chemickej aktivite voči niektorým prvkom. Polykryštalický diamant sa kvôli svojej afinite k železu nepoužíva pre oceľové materiály, ale možno ním obrábať neželezné a farebné kovy, pričom je potrebné chladenie.

Monokryštalické diamantové nástroje sú používané v aplikáciách vyžadujúcich vysokú rozmerovú presnosť a hladký povrch. Opotrebenie monokryštalického diamantu sa prejavuje hlavne vylupovaním drobných čiastočiek. Tepelné namáhanie vyvoláva oxidačné opotrebenie, a pri teplotách rezania nad 700°C dochádza k jeho transformácii na uhlík (grafitizácia). Monokryštalické diamanty sa používajú na obrábanie nekovových materiálov (zliatiny hliníka, medi, mosadz, bronz), vzácnych kovov (zlato, striebro, platina), nekovové abrazívne materiály

(tvrdená guma, kaučuk, fenolové plasty, kompozity, niektoré druhy karbidov a keramiky, sklenené vlákna). Monokryštalický diamant nie je vhodný na obrábanie tvrdých materiálov. Polykryštalické diamantové nástroje sú vhodnejšie pre obrábanie ako monokryštalické. Lepšie odolávajú tlakovému namáhaniu, a rázom pri intenzívnych rezných podmienkach, sú húževnaté a odolné voči opotrebeniu. Sú vhodné aj pre niektoré druhy prerušovaného rezania, napr. pre čelné frézovanie. Okrem sústruženia a frézovania sa nástroje z polykryštalického diamantu používajú na operácie vŕtania, vyvrtávania, na vyhrubovanie a zahlbovanie dier do AlSi zliatin, ktoré majú zvýšený abrazívny účinok, používajú sa na spracovanie kompozitných materiálov a spekaných karbidov a možno ich použiť aj pre HSC. PCD-hrotové HSS alebo karbidové rotačné nástroje (výstružníky, čelné frézy, vrtáky, atď.) sú dostupné v obmedzenom rozsahu geometrií kvôli ťažkostiam s brúsením komplexných geometrií, obzvlášť u nástrojov malého priemeru. Komplexnejšie geometrie môžu byť použité pre karbidové rotačné nástroje spekaním diamantu do drážok umiestnených v hrote a pozdĺž drážok.

Ako pri PCBN, vývoj zdokonalených PCD vrtákov zostáva dôležitým cieľom pre nástrojársky priemysel zvlášť pre aplikácie s veľkým úberom. Identifikácia optimálnej geometrie reznej hrany pre diamantový hrot, najlepšia metóda spracovania polykryštalického predlisku, geometria hrotu a geometria drážky neboli dostatočne zdokonalené nato, aby umožnili použitie polykryštalických vrtákov pri prienikových rýchlostiach porovnateľných s hodnotami posuvu dosiahnutými pri sústružení a frézovaní.

Kubický nitrid bóru

Najtvrdší nerast – diamant nie je vhodný pre obrábanie ocelových materiálov, preto bol umelo vyrobený druhý najtvrdší známy materiál – kubický nitrid bóru, ktorého hlavné vlastnosti sú: vysoká tvrdosť, vysoká tepelná stabilita (do 1300°C), vysoká chemická odolnosť a dobrá pevnosť v ohybe. Zároveň je chemicky inertný voči ocelovým konštrukčným materiálom, má podobné vlastnosti ako rezná keramika, ale je húževnatejší a má vyššiu odolnosť voči opotrebeniu. Vyrába sa ako monokryštalický (rôznych zrnitostí pre brúsne nástroje), polykryštalický pre rezné nástroje. Oblasti použitia polykryštalického nitridu bóru pre obrábanie tvrdých ocelových materiálov a sivej liatiny sú takmer zhodné ako u reznej keramiky a čiastočne spekaného karbidu. Je vhodný aj v inovačných technológiách HSC, v sústružení a frézovaní kalených materiálov (Hard machining – HM), v obrábaní bez použitia rezných kvapalín (Dry machining – DM).

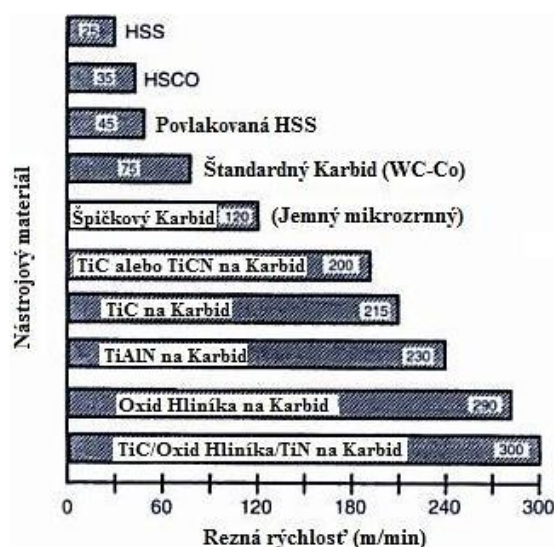
Je niekoľko tried platničiek a nástrojov z PCBN. Húževnatosť v lome a tepelná vodivosť rastie s rastúcim obsahom CBN. Akokoľvek, platničky s nízkym obsahom PCBN majú väčšiu pevnosť v tlaku.

PCBN je vhodný pre HSM železných materiálov s tvrdosťou medzi 45 a 65 R_C; také materiály zahŕňajú spekané (P/M) železo, perlitické liatiny, tvrdené ocele, HSS a niklové ocele. (Niekedy je spozorované nadmerné opotrebenie pri rezaní liatin s vysokým obsahom feritu, pravdepodobne kvôli chemickej interakcii so spojivom). PCBN môže byť použitý pre obrábanie tvrdých ocelí a superzliatin pri rýchlosti zhruba takej, ktorá je dosiahnuteľná konvenčnými nástrojmi pre obrábanie mäkkých materiálov. Vysoká húževnatosť v lome PCBN nástrojov ich robí vhodnými pre prerušované operácie rezania ako frézovanie.

Povlaky nástrojov

HSS, HSS-Co, WC a keramické nástroje sú často povlakované pre zvýšenie životnosti nástroja a povolených rezných rýchlostí. Väčšina platničiek používaných vo výrobe je povlakovaných.

Povlak účinkuje ako chemická a termálna bariéra medzi nástrojom a obrobkom; zvyšujú odolnosť nástroja voči opotrebeniu, zabraňujú chemickým reakciám medzi nástrojom a materiálom obrobku, redukujú vznik nánosu na hrane, znižujú trenie medzi nástrojom a trieskou alebo nástrojom a obrobkom, a zabraňujú deformácii reznej hrany kvôli nadmernému ohrevu. Preto môžu byť povlakované nástroje použité pri vyšších rezných rýchlostiach, poskytujú dlhšiu životnosť nástroja než nepovlakované nástroje a rozširujú aplikačný rozsah danej triedy. Kvalita povrchu obrobku môže byť tiež zdokonalená povlakovanými nástrojmi. Porovnanie aplikovateľných rozsahov rezných rýchlostí pre vzorky povlakovaných a nepovlakovaných nástrojov je zobrazené na obr. 7.5. Povlaky sú najefektívnejšie v situáciách, keď dominuje vylupovanie alebo bočné opotrebenie, ako je to obvyčajne pri obrábaní ocelí a liatin.



Obr. 7.5 Porovnanie rezných rýchlostí povlakovaných a nepovlakovaných nástrojov

Úžitkovosť povlakovania ovplyvňuje množstvo faktorov ako hrúbku povlaku, tvrdosť, chemickú kompatibilitu a medziplošnú priľnavosť so substrátom, kryštalickú štruktúru, chemickú a teplotnú stabilitu, elastický modul, húževnatosť v lome, odolnosť voči opotrebeniu, teplotnú vodivosť, difúziu stabilitu, trecie vlastnosti, geometriu nástroja, a zamýšľané použitie. Popovlakové spracovanie ovplyvňuje medziplošnú priľnavosť so substrátom a jemnosť povláknutých plôch.

Metódy povlakovania

Dva najbežnejšie procesy povlakovania sú chemická depozícia z plynnej fázy (CVD) a fyzikálna depozícia z plynnej fázy (PVD). Oba sú používané pre jedno- a multivrstvové povlaky. CVD povlaky sú vo všeobecnosti aplikované pri omnoho vyšších teplotách (obvyčajne 1000°C) ako tie, ktoré sú používané pre PVD povlaky (obvyčajne 500°C). CVD povlaky sú obvyčajne hrubé od 5 do 15 μm ; hrúbka PVD povlakov obvyčajne kolíše medzi 2 až 5 μm . Je tu trend smerovať k hrubším povlakom (>20 μm) na sústružnícke nástroje; frézovacie nástroje majú povlaky hrúbky do 7 μm .

Vo všeobecnosti, väzba medzi CVD povlakom a substrátom (nástroj) je metalurgická a silnejšia ako mechanická väzba vytvorená PVD. Ako výsledok, CVD povlaky sú tvrdšie ako PVD povlaky a poskytujú dlhšiu životnosť nástroja, keď sú správne aplikované. PVD povlaky sú v podstate bez tepelných prasklín, ktoré sú bežné pre CVD povlakovanie. Vo všeobecnosti, PVD povlaky

sú vhodnejšie pre presné HSS, HSS-Co, spájkované WC, alebo jednoliatie WC nástroje. V skutočnosti, PVD je jediná možná metóda pre spájkované nástroje pretože CVD metódy využívajú teploty, ktoré tavia spájkovaný spoj a zmäkčujú oceľové stopky. PVD povlaky sú jemnejšieho zrna (účinne sa prispôsobujú ostrým hranám dokončovacích nástrojov) a sú všeobecne jemnejšie a mazavejšie ako CVD povlaky, ktoré sa vytvoria na ostrých rohoch. PVD povlaky sú preferované pre platničky s kladným sklonom a drážkované, pretože vytvárajú tlakové napätia na povrchu, ktoré redukovú vznik a šírenie trhlín.

Metódy povlakovania a rôzne typy mechanizmov opotrebenia sú zobrazené v tabuľke 7.7.

Tabuľka 7.7 Indikácia ako rôzne povlaky odolávajú rôznym druhom opotrebenia

Povlak	Abrázívne opotrebenie	Adhezívne opotrebenie	Únavové opotrebenie	Plastická deformácia	Vylupovanie /Lom	Ostrosť hrany
PVD	-	+	+	-	+	+
CVD	+	0	0	+	0	-
MT-CVD	+	0	0	+	0	-
TiAlN	+	+	0	+	-	0
TiCN	+	0	0	0	0	0
TiN	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	++	+	-	+	-	-

kde „+“ pozitívny vplyv, „0“ neutrálny vplyv, „-“ negatívny vplyv

Súčasne je tu značný pokrok v nanovrstvových a nanokompozitných alebo adaptívnych nanokryštálových povlakoch. Nanokompozitné povlaky dokážu poskytnúť vysokú tvrdosť (4000 to 5000 HV (Vicker Hardness)) a vysokú odolnosť voči teplu (do 1100°C), práve tak ako húževnatosť a tvrdosť porovnateľnú s nanovrstvami.

Konvenčné povlakovacie materiály

Viac ako 50 kombinácií povlakov a substrátových materiálov sa používa pre rezné nástroje. Materiály použité pre jednovrstvové povlaky sú nitrid titánu, (TiN), karbid titánu (TiC), karbonitrid titánu (TiCN), nitrid hafnia (HfN), diborid titánu (TiB₂), karbid borónu (BC), a WC/C (amorfný diamant podobný uhlíku) lubrikant. Materiálové kombinácie použité vo viacvrstvových povlakoch zahŕňajú: Al₂O₃ na TiC alebo TiCN, TiN na TiC, TiN/TiC/TiN, TiN/TiCN/TiN, TiN/TiC/TiCN, Ti(C)N/Al₂O₃/TiN, Al₂O₃/TiC, TiN/TiC/Al₂O₃/TiN, a TiAlN+WC/C. Povlaky obsahujúce Al₂O₃ sú CVD tried. Stručné porovnanie vlastností povlakovacích materiálov je uvedené v tabuľke 7.8.

Tabuľka 7.8 Vlastnosti materiálov a povlakovacích materiálov

Materiál a PVD povlaky	Tvrdosť (kg/mm ²)	Koeficient trenia s oceľou	Max. prevádzková teplota (°C)	Hrúbka povlaku (μm)	Teplotná expanzia (m/m K)
HSS	900	0,3-0,4	500		10-14
Oxidy a nitridy	1500-3000	0,1-0,2	800		2,8-9,4
Karbidy a boridy	2000-3600	0,1-0,2	500		4,0-8,0
TiN	2200	0,4-0,5	600	1-4	
TiCN	3000	0,25-0,4	430	1-7	
TiAlN vrstvený	3300	0,3-0,65	800	2-5	
TiAlN jednovrstvý	4500	0,3-0,65	800	1-5	
AlTiN	3800	0,5-0,65	900	1-5	
WC/C	1000	0,1-0,2	300	1-4	
MoS ₂	20-50	0,05-0,15	800	1	
TiAlN + WC/C	3000	0,1-0,25	800	2-6	
CBN	4700	NA	1400		4,7
Diamant	7000-10000	0,05-0,1			1,5-4,8

Poznámka: Oxidové a nitridové materiály zahŕňajú Al, Si, Ti, Zr, Cr, Mo, Hf a TiAl

TiC poskytuje lepšiu odolnosť voči abrazívnemu (bočnému alebo vylupovaniu) opotrebeniu. TiN znižuje trenie a odoláva adhezívnemu opotrebeniu ako aj zvyšuje odolnosť voči oxidácii. Tiež účinkuje ako chemická bariéra proti difúznemu opotrebeniu pri rezaní železných materiálov karbidovým náradím. TiCN poskytuje nízke trenie a dobrú odolnosť na abrazívne opotrebenie. Al₂O₃ poskytuje vynikajúcu odolnosť voči tepelnému nahrievaniu a oxidácii ako aj abrazívnemu opotrebeniu a adhézii. TiAlN vykazuje vysokú tvrdosť za tepla, ťažnosť a odolnosť voči nárazom. PVD povlaky z TiN, TiCN, a TiAlN, a AlTiN (vysoko Al obsahový TiAlN) sú veľmi bežne používané pre rotačné náradie. Úžitkovosť týchto povlakov závisí na pracovnom materiáli, geometrii nástroja, a rezných podmienkach.

7.2 Typy rezných nástrojov

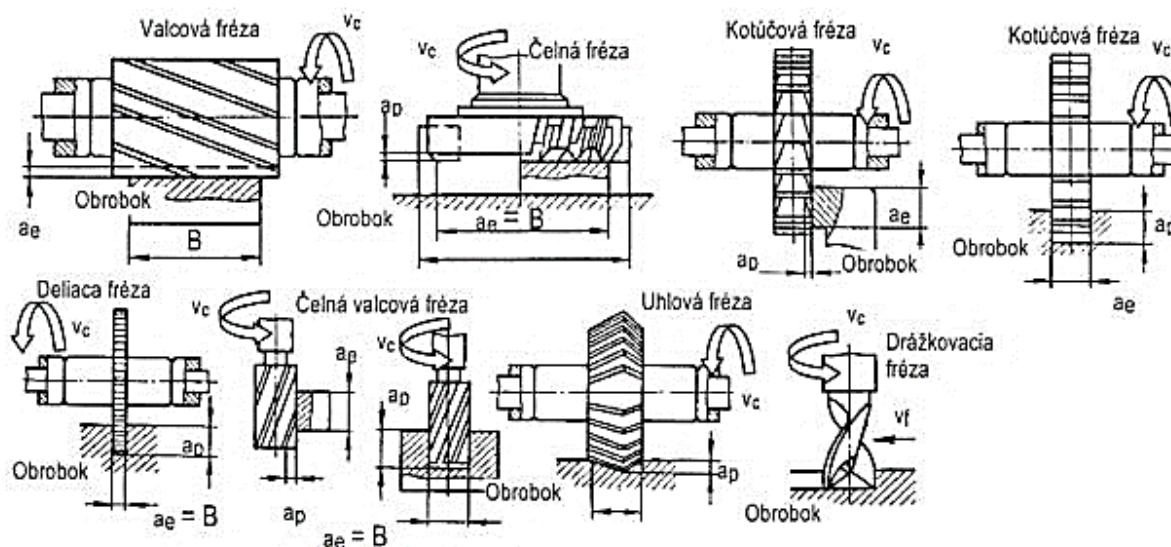
Nástroje pre frézovanie

Rezný nástroj používaný na frézkach je nazývaný frézou. Teleso frézy je obvykle valcové, otáčajúce sa okolo osi, ktoré má na obvodě rovnomerne rozložené zuby postupne zabierajúce do materiálu. Frézy sa vyrábajú v mnohých druhoch a veľkostiach pre frézovanie pravidelných aj nepravidelných povrchov. Možno ich rozdeliť podľa nasledujúcich vlastností:

- Frézy sú alebo celistvé (zuby tvoria s telesom frézy jeden celok) alebo s vymeniteľnými zubami (ktoré sú vsadené do príslušných zárezov alebo otvorov v telese frézy, v ktorých sú vhodným mechanickým spôsobom upevnené)
- Frézy majú rezné klíny s reznou hranou, ktorá je priama (rovnobežné s osou otáčania frézy), alebo skrutkovicová (rezné klíny sú sklonené pod uhlom sklonu reznej hrany zubu)
- Frézy sú nástrčné (upnuté na trň), stopkové (vsunuté do konca vretena frézky) so zapustenou dosadacou plochou (priamo sa priskrutkujú k vretenu)

- Pravorezné alebo ľavorezné s pravou alebo ľavou skrutkovicou
- Normované frézy (podľa štandardov) a špeciálne

Obr. 7.6 zobrazuje základné spôsoby frézovania rôznymi nástrojmi.



Obr. 7.6 Základné spôsoby frézovania rôznymi nástrojmi

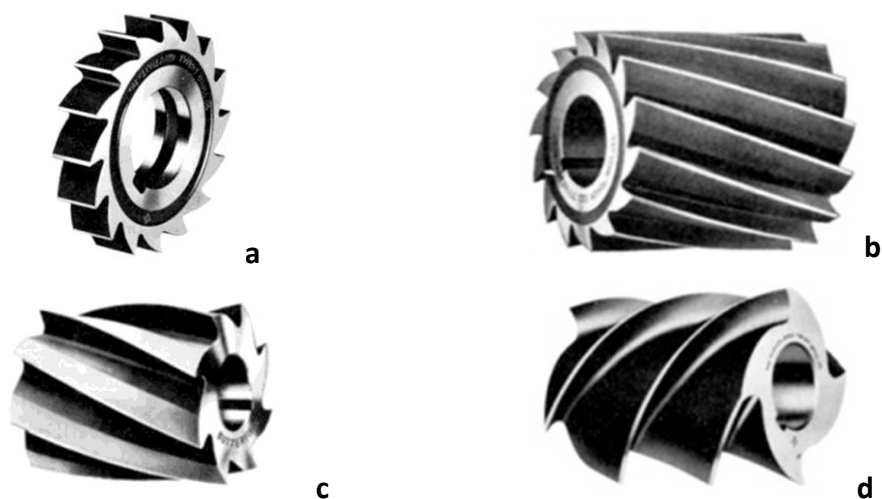
Normované frézy

Sú to frézy, ktoré rozmermi súhlasia a odpovedajú predpisom štandardizačnej spoločnosti, normalizované rozmery také ako priemer, šírka, hĺbka klinovej drážky a pod. boli prevzaté výrobcami.

Valcové frézy

Sú to frézy, ktorých zuby sú usporiadané len na obvodovej ploche, sú používané na frézovanie plôch rovnobežných s osou vretena. Valcové frézy so skrutkovicovými zubmi, ktorých uhol sklonu reznej hrany zuba je obvyčajne až do 45° , môžu byť ďalej rozdelené do týchto skupín (obr. 7.7):

- Ľahké valcové frézy – ak ich šírka nepresahuje 20mm, zuby sú rovné; pri šírke väčšej ako 20mm majú skrutkovicové zuby a sklon reznej hrany zuba okolo 25° , sú používané na ľahké rezy, nie sú však vhodné pre bežné frézovacie práce, pretože príliš vysoké množstvo zubov neumožňuje dostatočný priestor pre vývin triesky.
- Ťažké valcové frézy – vyrábajú sa vo väčších šírkach, uhol sklonu zubov majú v rozmedzí cca $25^\circ - 45^\circ$, majú menej zubov ako ľahké frézy. Sú určené pre veľký odber materiálu, širšia zubná medzera vďaka nižšiemu počtu zubov umožňuje lepšiu vývin triesky a lepšiu oporu reznej hrany.
- Špirálové frézy – valcové frézy s uhlom sklonu v intervale $45^\circ - 60^\circ$, alebo ešte väčším, sú buď nástrčné alebo stopkové a môžu byť úspešne použité pri profilovom frézovaní prerušovaných plôch, pozdĺžnych priechodných drážok a širokých plôch. Špirálová fréza je účinná pri odoberaní ľahkých triesok v mäkkej oceli alebo mosadzi, ale pri hlbokých rezoch plošného frézovania nedosahuje taký výkon ako obvyčajná valcová fréza, aj keď obrobený povrch je akostný. Dobré sa osvedčuje pri kopírovaní frézovaní.



Obr. 7.7 Valcové frézy:
a, b – ľahké, c – ťažká, d – špirálová

Čelné valcové frézy

Tieto frézy majú rezné hrany nielen na obvode valcovej plochy, ale tiež na jednej čelnej ploche. Okrem nástrčných, majú všetky tieto frézy stopku, ktorá okrem upnutia slúži aj k unášaniu frézy (obr. 7.8). Sú používané pre frézovanie plôch, profilov a zapúšťanie.

- Čelné valcové frézy zo stopkou – viacklinové nástroje s rovnými alebo skrutkovitými zubmi, sú využívané pre ľahké práce ako je frézovanie drážok profilov a úzkych plôch.
- Čelné valcové frézy dvojklínové – drážkovacie frézy s dvomi rovnými alebo skrutkovitými zubmi na obvode valcovej plochy a na čele siahajúce až do stredu čela.
- Nástrčné čelné valcové frézy – majú zuby na obvode valcovej plochy a na jednej čelnej ploche, namiesto stopky majú vŕtanie, ktorým sa upevňujú na krátky trň, alebo zvláštnu násadu. Účinnejší rez a lepšie výsledky dosahujú so skrutkovitými zubami, výhodné je tieto frézy použiť pri plošnom frézovaní dvoch navzájom kolmých rovín (obr. 7.9).



Obr. 7.8 Stopková fréza

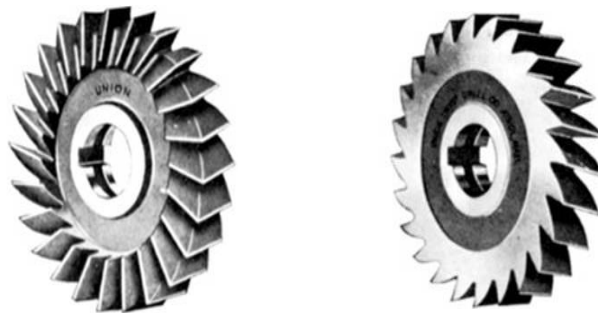


Obr. 7.9 Nástrčné čelné valcové frézy:
a – monolitná, b – s nástrčenými zubami

Kotúčové frézy

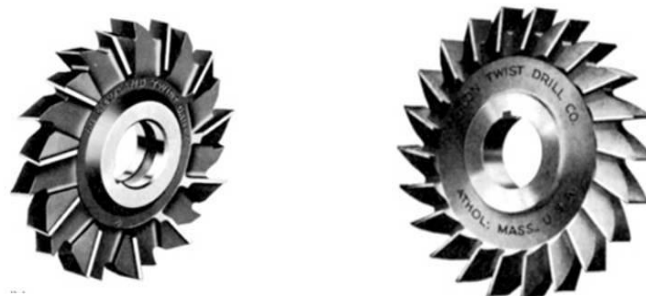
Kotúčové frézy majú zuby na obvode valcovej plochy a tiež na jednom, alebo oboch čelách. Nasadzujú sa na trň a vyrábajú sa v niekoľkých druhoch:

- Frézy jednostranné (obr. 7.10) – majú rezné hrany na obvode valcovej plochy a na jednom čele, hodia sa na plošné frézovanie v tých prípadoch, kde je potrebné, aby rezala len jedna čelná hrana frézy. Skutočný rez je vykonaný obvodovým reznou hranou, a rezná hrana na čele začisťuje a dokončuje ofrézovanú plochu. Tieto frézy sú zvlášť účinné pri ťažkých bočných rezoch.



Obr. 7.10 Jednostranné kotúčové frézy

- Frézy obojstranné (obr. 7.11) – sú pomerne úzke, zuby majú na obvode valcovej plochy a na oboch čelách. Sú používané pri frézovaní drážok a rôznych plošných frézovaniach.



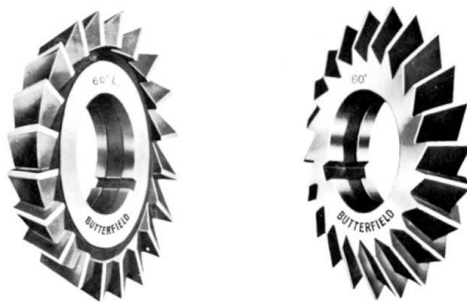
Obr. 7.11 Obojstranné kotúčové frézy

- Frézy so striedavými zubmi – sú úzke kotúčové frézy, ktorých zuby majú pravidelne striedaný smer skrutkovice, sú výhodné pri rezaní klinových a iných drážok, režu ľahko aj pri vysokých rýchlostiach a posuvoch, takže sú výhodné aj pre frézovanie hlbokých drážok.

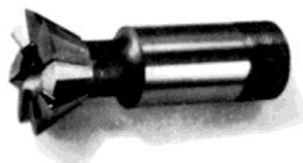
Uhlové frézy

Tieto frézy majú tvar kužeľového kotúča a sú používané k frézovaniu rybín, zárezov, drážok, jemných drážok, zubov výstružníkov a pod (obr. 7.12, 7.13). Sú vyrábané v dvoch typoch:

- Jednostranná uhlová fréza – zubové rezné hrany sú naklonené kužeľovito na jednu stranu k čelu frézy v intervale 45-60°, zuby sú obyčajne aj na čele frézy.
- Obojstranné uhlové frézy – zubové rezné hrany sú sklonené kužeľovito na obe strany do tvaru V, obvykle uhly kužeľov sú 45°, 60° a 90°.



Obr. 7.12 Uhlové frézy jednostranné



Obr. 7.13 Rybinová fréza (fréza na výrobu rybinových drážok)

Frézy na T drážky

Sú to špeciálne frézy so stopkou vhodné k frézovaniu rozšíreného dna T drážok, po predchádzajúcom frézovaní hornej úzkej časti drážky (drážkovacou alebo čelnou valcovou frézou). Majú priame alebo striedavé zuby na obvode a na oboch čelách (obr. 7.14).



Obr. 7.14 Fréza na T drážku

Frézy na drážky pre Woodruffove klíny

Sú to malé drážkovacie frézy podobného prevedenia ako valcové alebo kotúčové frézy. Do priemeru cca 50 mm sú vyhotovované obyčajne ako monolitné so stopkou, väčšie sa upínajú na trň. Frézy menších veľkostí majú priame zuby len na obvode, frézy väčšie majú striedavé zuby aj na čele (obr. 7.15).



Obr. 7.15 Fréza na drážku pre Woodruffove klíny

Tvarové frézy

Tvarové frézy majú obvykle zakrivený zubný obrys a sú používané k frézovaniu rozličných tvarov (obr. 7.16). Sú delené do dvoch skupín:

- Jednoduché tvarové frézy – majú nepravidelný tvar alebo profil zubov, ale inak sa podobajú valcovým frézam. Zhotovujú sa ako celistvé, alebo s vymeniteľnými zubmi, používajú sa na frézovanie jednoduchých tvarov.

- Podsústružené tvarové frézy – zuby majú buď radiálne alebo sklonené čelo, zuby sú buď priame alebo skrutkovité, uhol sklonu rezných hrany je obvyčajne od 5 - 10°. V niektorých prípadoch sa zhotovujú so šikmými zubami (na úzkych frézach). Frézy so skrutkovitými zubmi sú používané pri požiadavke vyššej akosti obrobeného povrchu a vyšších rezných rýchlostí.



Obr. 7.16 Tvarové frézy

Tvarové frézy sú používané pre presné frézovanie rozličných tvarov, umožňujú hospodárne frézovanie zložitých obrysov. Medzi podsústružené frézy patria aj frézy na ozubenie, konvexné a konkávne frézy, zaobľovacie frézy, frézy na drážky drážkových hriadeľov, závitové frézy, odvaľovacie frézy a mnoho iných vyrábaných s štandardizovaných rozmeroch pre široké použitie.

Letmé frézy

Letmá fréza (obr. 7.17), je nástroj nasadený na trň, ktorého rezné hrany je možné vybrúsiť na ľubovoľný tvar. Sú používané prevažne v skúšobných dielňach a nástrojárňach.



Obr. 7.17 Letmá fréza

Frézy s vymeniteľnými zubami

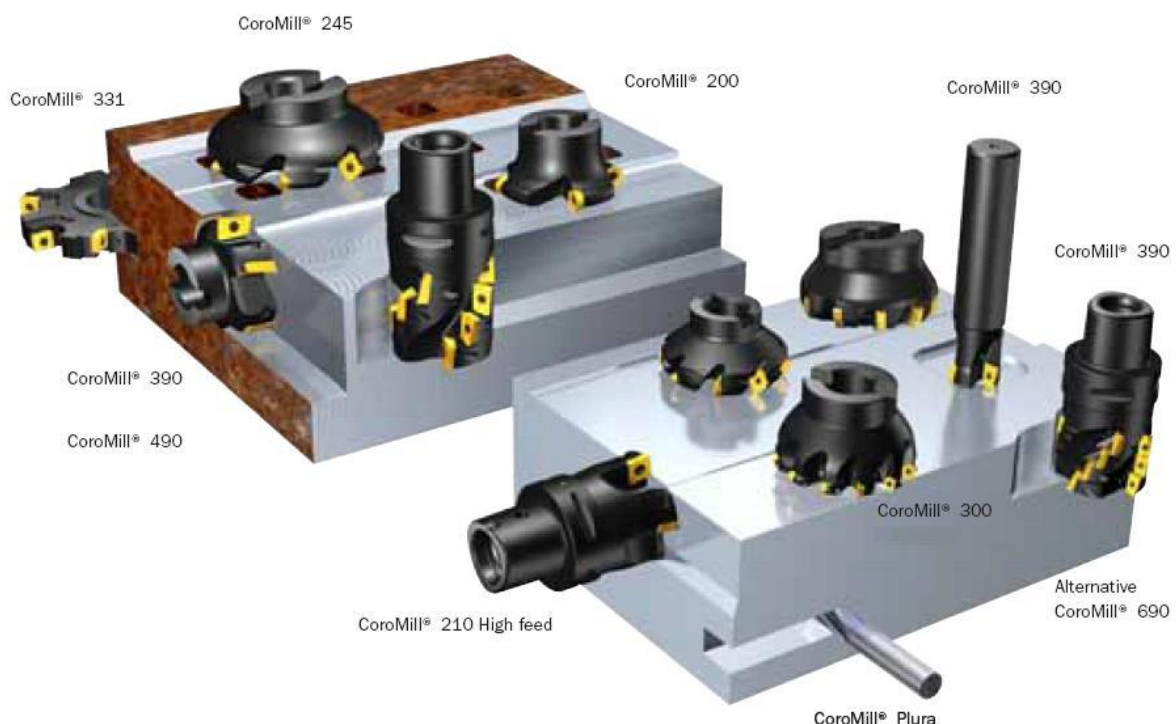
Takmer všetky frézy sú upraviteľné pre vkladanie zubov (nožov), či už valcové, čelné, kotúčové, frézovacie hlavy, čelné valcové frézy, alebo drážkovacie frézy. Pôvodne bol tento druh zvyčajný pre frézy veľkých rozmerov, v dnešnej dobe nie je problém vyhotoviť takto aj frézy menších rozmerov.

Účelom konštrukcie fréz s vymeniteľnými zubmi je zníženie nákladov. Zhotovujú sa s valcovým telesom z lacnejšieho materiálu, čo je dôležité hlavne u veľkých fréz. Do telesa sa vyrežú zárezy alebo drážky, do ktorých sa vsadia zuby (nože). Táto zostava umožňuje rýchlu výmenu zubov ako aj ich nastavenie po opotrebení. Tiež je možné použiť zuby z rozličných druhov materiálov podľa požiadaviek danej práce. Výhoda je tiež v tom, že nie je treba meniť celú frézu v prípade

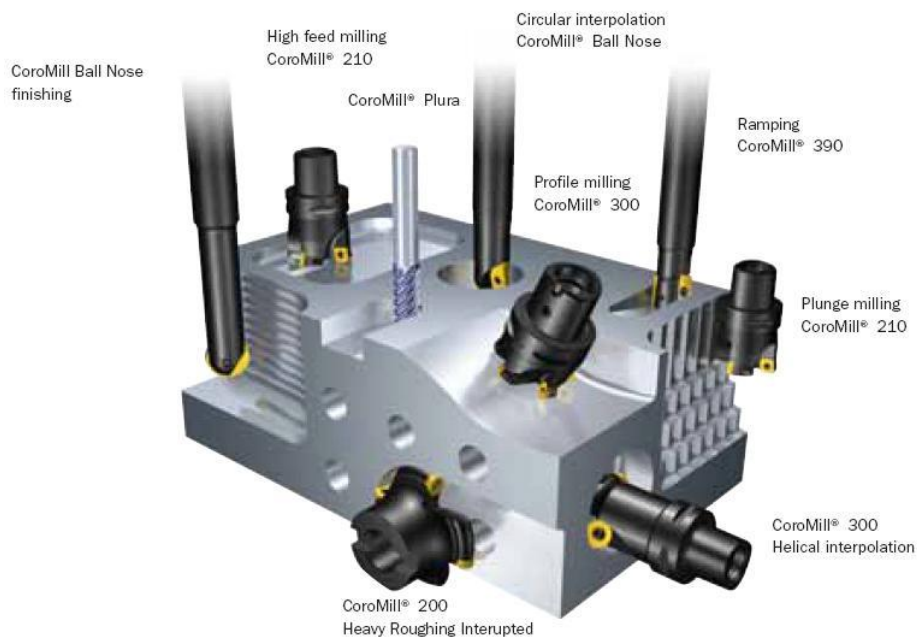
zlomenia alebo poškodenia zubu, zub je jednoducho vymeniteľný. Rozličné typy fréz s vymeniteľnými zubmi možno zaradiť do týchto skupín:

- Čelné frézy (frézovacie hlavy) – sú najpoužívanejšie frézy s vymeniteľnými zubmi, a sú veľmi účinné pri plošnom frézovaní širokých povrchov. Do priemeru 150mm sa obvyčajne nastrkujú na kužeľové stopky a nazývajú sa nástrčné, pri priemere väčšom ako 150mm sa upínajú priamo na koniec vretena frézky. Sú konštruované pre menšie alebo veľké výkony, frézy pre malé výkony majú ľahké teleso a väčší počet zubov; slúžia prevažne pre dokončovacie rezy. Frézy pre veľké výkony majú ťažké teleso a menší počet zubov; hodia sa pre ťažké, hrubovacie rezy. Vhodnou úpravou čelnej frézy s vymeniteľnými zubmi zo spekaného karbidu je možné niekedy spojiť hrubovaciu a dokončovaciu operáciu do jedného rezu. Hrubovacie a dokončovacie zuby sa vsadia do jedného telesa, pričom určitý počet dokončovacích zubov rozostavených na menšom priemere vyčnieva z čela hlavy viac ako hrubovacie zuby. Takéto frézy majú širšie čelo, kvôli účinnejšiemu začisteniu ofrézovaného povrchu.
- Valcové frézy s vymeniteľnými zubmi – sú dlhé valcové frézy veľkého priemeru. Zuby sú vsadené do skrutkovitých drážok vo valcovom telese frézy. Pre uľahčenie lámania sa triesky na menšie čiastočky, sú rezné hrany vybavené vrubmi vo vhodných vzdialenostiach.

V súčasnosti sú tieto nástroje veľmi rozšírené a ponúkajú množstvo výhod oproti monolitným, existuje viacero výrobcov s veľmi širokým sortimentom veľkosti, priemerov, reznej geometrie, tak aj rezných materiálov. Obr. 7.18 a 7.19 zobrazujú frézy pre všeobecné, čelné, bočné frézovanie a pre frézovanie drážok.



Obr. 7.18 Nástroje na všeobecné frézovanie (Sandvik Coromant)



Obr. 7.19 Frézy na tvarové frézovanie

Podľa niektorých firiem by mal byť postup užívateľa pri výbere nástroja a rezných podmienok nasledovný: (1) definovať typ operácie, (2) definovať typ materiálu (kde podľa ISO, P – oceľ, M – rýchlorezná oceľ, K – liatina, N – hliník, S – teplovzdorné a titánové zliatiny, H – kalené materiály), (3) vybrať frézu (zvoliť rozstup a držiak), (4) zvoliť typ reznej platničky (podľa geometrie, L – ľahké rezanie pri nízkych silách, M – stredné, H – ťažké, pre hrubovanie), (5) definovať rezné rýchlosti a posuvy, podľa odporúčajúcich tabuliek.

Rezné platničky sú podľa Sandvik Coromant označované kódom uvedeným v tabuľke 7.9.

Tabuľka 7.9: Kódovanie rezných platničiek podľa Sandvik Coromant

	R	390	-	11	T3	12	M	-	P	L	W	
	1	2		3	4	5	6		7	8	9	
1	Strana platničky, R – pravá, L – ľavá											
2	Hlavný kód, napr. 390 – CoroMill® 390											
3	Šírka platničky v mm											
4	Hrúbka platničky											
5	Zaoblenie hrotu											
6	Prevedenie reznej hrany, M – max. ochrana reznej hrany, E – max. ostrosť a presnosť, H – vysoká ostrosť a presnosť hrany, K – vysoká rezná ostrosť											
7	Hlavná aplikačná oblasť, P – oceľ, M – rýchlorezná oceľ, K – liatina, N – hliník, S – teplovzdorné a titánové zliatiny, H – kalené materiály											
8	Typ operácie, L – ľahké, M – stredné, H – ťažké, T – Sústruženie pri frézovaní											
9	W – wiper											

Možnosti výberu rezných platničiek podľa Sandvik Coromant sú uvedené na obr. 7.20.



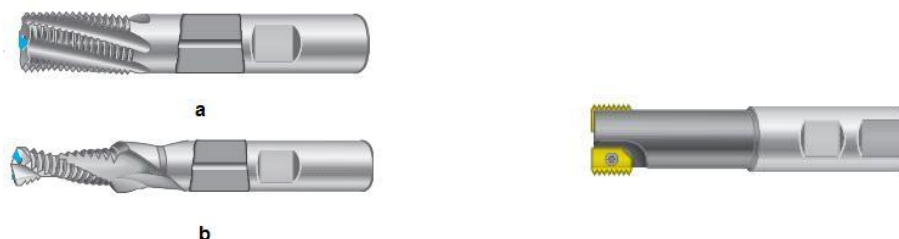
Obr. 7.20 Rezné platničky podľa Sandvik Coromant

Čelné frézy (frézovacie hlavy) celistvé s platničkami na tvrdo spájkovanými

Frézovacie hlavy sa vyrábajú aj tak, že na zuby frézy, ktoré sú v jednom celku s telesom nástroja sa na tvrdo prispájajú rezné platničky. Obyčajne majú menší počet zubov ako frézy z rýchlořeznej ocele. Sú tuhšie, úspornejšie a majú lepší rezný účinok.

Fréza na frézovanie závitov

Táto technológia je v niektorých prípadoch uprednostňovaná pred rezaním závitú závitníkom, keďže závitník musí vniknúť do predvŕtaného otvoru po celej rezanej dĺžke závitú a nábehu a potom aj späť. Pri frézovaní závitú, obzvlášť jemného, môže vzniknúť značná úspora strojového času, pretože závitová fréza jednou otáčkou po obvode závitovej diery a súčasným vystúpaním v ose o jedno stúpanie závitú vyrobí kompletný závit. Výhody sú nasledovné: vznikajú len krátke triesky, nie sú axiálne rozdiely závitú, malý rezný odpor, možnosť použiť jeden nástroj pre priechodné aj nepriechodné závitú. Tieto frézy môžu byť rôzne, monolitné, monolitné vŕtacie, s vymeniteľnými platničkami, pre vnútorné aj vonkajšie závitú (obr. 7.21).



Obr. 7.21 Závitová fréza

a – monolitná, b – vŕtacia

s vymeniteľnými platničkami

Špeciálne frézy

Vo všeobecnosti platí pravidlo, že všade, kde je to možné, je potrebné radšej použiť frézu normalizovaných parametrov, ktoré sú lacnejšie a jednoduchšie dostupné. Niekedy je však potrebné konštruovať špeciálne frézy prispôsobené obrobníku a spôsobu obrábania.

Prevedenie špeciálnej frézy môže byť ľubovoľné, zuby môžu byť normálne alebo podsústružené a sú s telesom frézy v jednom celku, alebo sa do telesa frézy vsadzujú. Pri konštrukcii špeciálnych fréz je nutné dbať nato, aby ich cena bola čo najnižšia, pri nezníženom výkone a trvanlivosti. Konštrukčné parametre, ktoré najviac ovplyvňujú špeciálnu frézu sú: počet zubov, zubové drážky, uhly čela, sklon reznej hrany zubov a materiál, z ktorého bude fréza zhotovená. Špeciálna fréza sa používa v prípade, ak môže výrazne zhosťdárniť výrobu.

Nástroje pre obrábanie dier

K obrábaniu dier sú používané nasledovné nástroje:

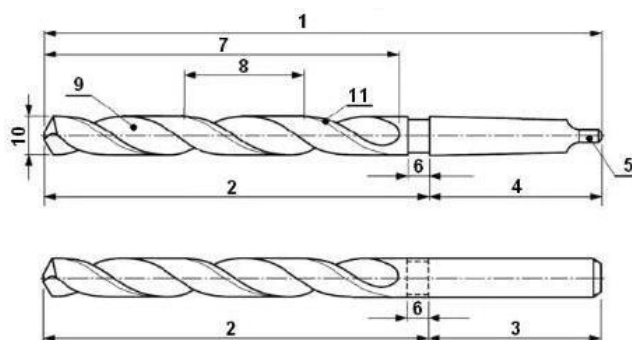
- vrtáky – ktoré sú používané na obrábanie dier v plnom materiáli, alebo predliatych a predkovaných otvorov
- výhrubníky a výstružníky – ktorými sa otvory rozširujú, zvyšuje sa ich presnosť a zahľadzuje povrch
- závitníky – ktorými sa režu závit
- záhlbníky – ktorými sa robia jamky pre zapustené hlavičky skrutiek a čapov

Vrtáky

Podľa konštrukcie možno vrtáky rozdeliť na: skrutkovité, vrtáky s priamymi drážkami, navrtávacie, vrtáky pre hlboké vrtanie – kopijovité a delové.

Skrutkovicový vrták

Skrutkovicový vrták je veľmi často používaný nástroj pre obrábanie dier. Skladá sa z valcovej alebo kužeľovej stopky, krčku a pracovnej časti (obr. 7.22).



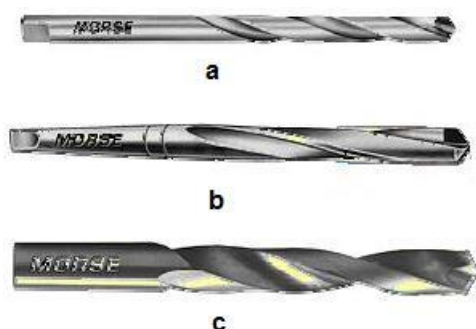
Obr. 7.22 Skrutkovicový vrták s kužeľovou a valcovou stopkou:

- 1 – celková dĺžka, 2 – telo, 3 – valcová stopka, 4 – kužeľová stopka, 5 – unášač, 6 – krčok,
7 – dĺžka skrutkovitej drážky, 8 – stúpanie skrutkovitej drážky, 9 – skrutkovitá drážka,
10 – menovitý priemer vrtáka, 11 – fazetka

Pracovná časť vrtáka má dve skrutkovité drážky položené proti sebe, kvôli dobrému odchádzaniu triesky pri vrtaní diery. Vedenie vrtáka správnym smerom a znižovanie jeho trenia o steny otvoru je zabezpečené vodiacimi plôškami pozdĺž drážok. Šírku plošiek a iné parametre predpisujú normy. Rovnako k zníženiu trenia o steny diery slúži aj kužeľovité zúženie pracovnej časti vrtáka od špičky k stopke. Priemer vrtáku je pri reznej časti väčší ako

pri stopke. Rozdiel priemerov je 0,03 – 0,1 mm na každých 100 mm dĺžky vrtáku. Špička vrtáku má dve priamočiare rezné hrany, ktoré zvierajú s osou vrtáku uhol cca 58-60°. Rezné hrany sú vzájomne spojené tzv. priečnou reznou hranou, ktorá uzatvára s reznými hranami uhol 50° (do priemeru vrtáka 15mm), alebo 55° (priemer vrtáka nad 15mm).

Na dosiahnutie primeranej pevnosti vrtáka je mu ponechané jadro, ktorého hrúbka je závislá na priemere vrtáka. U vrtákov s priemerom pod 10 mm je hrúbka jadra 0,2 - 0,25 priemeru vrtáka, u väčších vrtákov je hrúbka jadra 0,135 - 0,15 priemeru vrtáka. Hrúbka jadra sa zvyšuje po celej dĺžke pracovnej časti vrtáku od špičky k stopke. Vrcholový uhol vrtáku z rýchloreznej ocele je obvyčajne v rozmedzí 116-118°, u vrtákov z iných nástrojových materiálov je volený podľa typov materiálu nástroja a materiálu obrobku (obr. 7.23).



a – pre vrtanie liatin a neželezných materiálov

b – pre vrtanie liatin, plastov a neželezných materiálov

c – s pravidelnou skrutkovicou a leštenými drážkami, pre rýchly úber triesky, ocele, liatiny a neželezné materiály

Obr. 7.23 Vrtáky

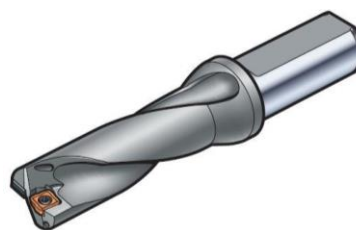
Vrtáky s reznými platničkami

Výkon týchto vrtákov prevyšuje výkon vrtákov z rýchloreznej ocele, sú odporúčané napr. pre obrábanie liatin, farebných kovov a ich zliatin, a vysoko legovaných alebo tepelne spracovaných ocelí. Pomerne značne sú rozšírené vrtáky s priamymi drážkami, pretože to umožňuje rezať rôznymi spôsobmi, v prípade dostatočne pevného spojenia platničky s telom vrtáku. Okrem toho, priame drážky zabraňujú tomu, že sa vrták v diere zadrie. Použitie vrtáka s priamymi drážkami je účelné pre menej hlboké diery. Ich výroba je omnoho jednoduchšia a lacnejšia ako vrtákov so skrutkovitými drážkami. Základný typ vrtáka s reznými platničkami pre vrtanie liatin, farebných kovov a ich zliatin má veľmi jednoduchý tvar, priame drážky a plochú prednú hranu. Hĺbka drážok postačuje pre zaistenie pevnosti vrtáka a spoľahlivé upevnenie platničiek. Okrem toho, drážky jednoducho a voľne odvádzajú triesku. Po celej dĺžke drážok majú vrtáky vodiace fazetky zaručujúce správne vedenie vrtáku a tým aj presnejšie otvory. Pre rôzne priemery sú určené rôzne šírky fazetiek (obr. 7.24).



a – dve rezné hrany

b – štyri rezné hrany



Obr. 7.24 Vrták s reznou platničkou [9]

Pre zvýšenie pevnosti a výkonu vrtáku a zmenšenie rezných síl je rezné hrany z oboch strán podbrúsené. Taktiež výška platničky je oproti normálnemu rozmeru znížená pre dosiahnutie vyššej pevnosti vrtáka. Od rezných platničiek sú drážky mierne rozšírené kvôli lepšiemu odvodu triesky. Telo vrtáka je vo svojom priemere o niečo slabšie ako platničky, pretože teplo uvoľnené pri obrábaní zväčšuje objem tela vrtáku za tepla.

Skrutkovité vrtáky s reznými platničkami sú používané pri výrobe otvorov do hĺbky, ktoré značne presahujú priemer otvoru. Skrutkovitými drážkami lepšie odchádza trieska, preto sú vrtáky so skrutkovitými drážkami výkonnejšie ako tie s drážkami priamymi.

Špeciálne vrtáky

Okrem vrtákov skrutkovitého tvaru je potrebné niekedy použiť aj iné typy vrtákov. Kopijovitý vrták má tvar lopatky a býva jednostranný alebo dvojstranný. Je používaný pomerne zriedka hlavne k rozširovaniu hlbokých dier.

Vrták s priamymi drážkami slúži k vŕtaniu dier v slabom tabuľovom materiáli. Pretože má dve pozdĺžne drážky, dobre odvádza triesku a nezavŕtava sa ako skrutkovité vrtáky.

Delové vrtáky sú používané na vŕtanie hlbokých otvorov o veľkých priemeroch. Pred prácou s týmito vrtákmi sa diery obyčajne predvŕtávajú kopijovitými alebo skrutkovitými vrtákmi na diery menšieho priemeru a až následne je použitý delový vrták. Pri vŕtaní diery priamo delovým vrtákom, je potrebné kvôli správne vedeniu delového vrtáka predvŕtať diery do hĺbky polovice priemeru delového vrtáka. Delové vrtáky majú jednu reznú hranu a pri rezaní dávajú hladký a presne obrobený povrch.

Strediacie vrtáky sú používané k vŕtaniu strediacich otvorov v čelných plochách výkovkov a odliatkov určených pre obrábanie na sústruhoch (obr. 7.25).

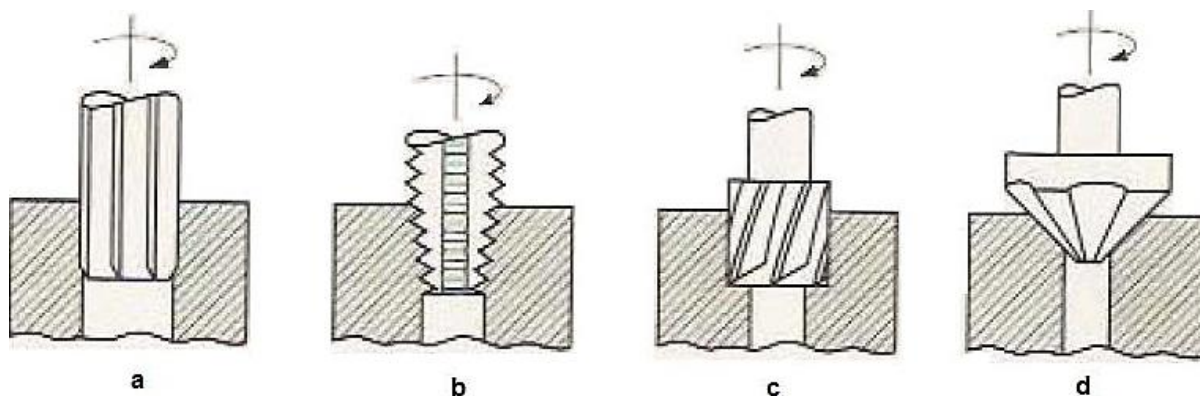


Obr. 7.25 Strediacie vrtáky

Strediaci vrták je kombinácia vrtáku so záhlbníkom.

Nástroje pre obrábanie predhotovených dier

Okrem vŕtania, ktoré je pre obrábanie dier základnou operáciou, možno vykonávať ešte operácie zapúšťania, vyhrubovania a vystružovania. Pre tieto operácie boli navrhnuté nástroje, ktoré sa líšia od vrtákom ako konštrukčne, tak aj spôsobom práce (obr. 7.26).

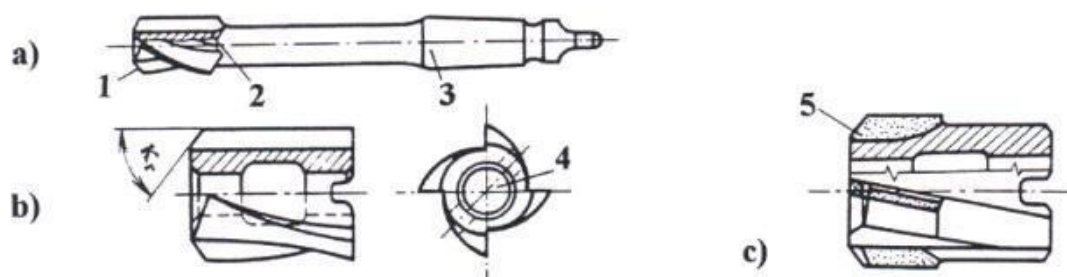


Obr. 7.26 Obrábanie predhotovených dier:

a – vyhrubovanie, b – rezanie závitníkom, c – zahlbovanie, d – zapustenie

Výhrubníky

Výhrubníky sú používané pre obrábanie predliatych, predkovaných a vyvrtaných dier, pre rozširovanie otvorov pre zapúšťané hlavice čapov a skrutiek, pre obrábanie čelných plôch, pre vytvorenie kužeľových plôch dier a pod (obr. 7.27). Výhrubníky pripravujú otvor pre výstružníky a zväčšujú priemer diery o cca 0,7-5mm. Výhrubník je podobný skrutkovitému vrtáku, ale má tri alebo štyri drážky a príslušný počet rezných hrán. S ohľadom na to je výhrubník v otvore lepšie vedený o obrába ho presnejšie.

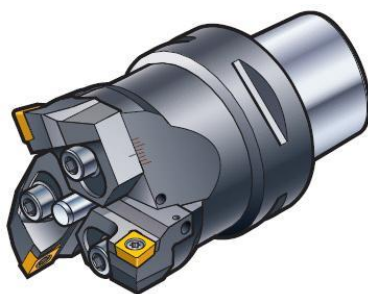


Obr. 7.27 Výhrubník

a) – s kužeľovou stopkou, b) – nástrčný, c) – so spájkovanými reznými platničkami, 1 – rezný kužeľ, 2 – teleso, 3 – upínacia stopka, 4 – upínací otvor, 5 – rezná platnička)

Nástrčné vyhrubníky majú oproti výhrubníkom z rýchloreznej ocele vyšší výkon (až 5 násobne oproti rýchloreznej oceli) a súčasne vyššiu trvanlivosť. Veľmi dobré výsledky sú dosahované výhrubníkmi zo spekaného karbidu, ktoré sú používané pre liatinu, farebné kovy a ich zliatiny, nekalenú aj vysokolegovanú a kalenú oceľ. Ich konštrukcia je odlišná od monolitných výhrubníkov, lôžko pre platničky je možné frézovať v priamke nie v skrutkovi ako u monolitných, čo podstatne uľahčuje ich ostrenie. Dĺžka prednej časti kužeľového otvoru je predĺžená o 50% oproti monolitným.

Skladané výhrubníky majú telo, do ktorého rýh sa upevňujú rezné platničky. Pevné výhrubníky s platničkami najčastejšie zo spekaného karbidu, alebo cermetu natvrdo spájkovanými, alebo inak pripevnenými k telu výhrubníka sú trojdrážkové, alebo štvordrážkové s priamymi alebo skrutkovitými zubami. Dĺžka pracovnej časti tohto výhrubníka je znížená, aby sa znížilo chvenie, ktoré by spôsobilo vydrolenie platničiek (obr. 7.28).



Obr. 7.28 Výhružník s tromi reznými platničkami [9]

Záhlbník

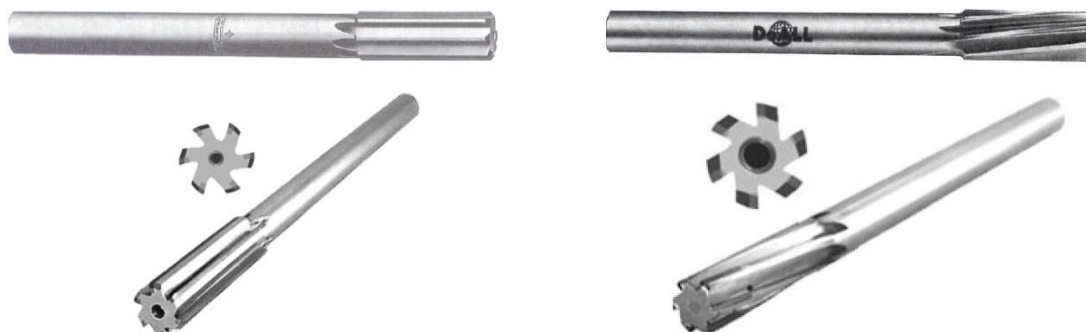
Záhlbník rozširuje otvory pre valcové hlavičky skrutiek, alebo obrába čelné plochy (obr. 7.29).



Obr. 7.29 Záhľbovanie a zapustenie

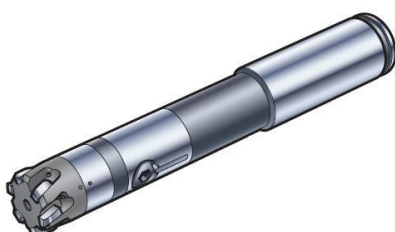
Výstružníky

Výstružníky sa používajú pri konečnom obrábaní presných otvorov a zostružujú veľmi tenké triesky. Pred vystružovaním sú diery najprv vyvrtané a obrobené výhružníkom. Rezným článkom výstružníka sú zuby. Zub výstružníka je po dĺžke rozdelený na tri časti, zaberajúcu, valcovú a spätný kužeľ, chrániaci otvor pred poškodením. Výstružníky majú priame, alebo skrutkovité zuby (obr. 7.30). Výstružníky so skrutkovitými zubami obrábajú veľmi hladko a ľahko, preto sa nimi dobre obrábajú húževnaté materiály. Skrutkovitý zub sa zarezáva postupne a preto sa nezasekáva a nekazí diery. Najúčelnejšie sú výstružníky s ľavou skrutkovicou, pretože takto je zub z otvoru vytlačovaný a nie vťahovaný, čo dáva hladší a presnejší otvor. V súčasnosti sú rozšírené nastaviteľné výstružníky so vsadenými a nastaviteľnými zubami.



Obr. 7.30 Výstružník:
a – s priamymi zubami, b – so skrutkovitými zubami

V súčasnosti sú používané výstružníky s reznými platničkami, pretože umožňujú zvýšiť reznú rýchlosť a predĺžujú trvanlivosť nástroja oproti monolitným výstružníkom z rýchloreznej ocele (obr. 7.31). Trvanlivosť výstružníka je veľmi dôležitá, pretože takto je možné obrobiť veľké množstvo otvorov rovnakého priemeru. Sú používané pre obrábanie všetkých kovov. V porovnaní s výstružníkmi z rýchloreznej ocele majú menší počet zubov kvôli zvýšeniu trvanlivosti. Pre ochranu zubov a platničiek je na konci kužeľa nábehový kužeľ v uhle 45° k prednému čelu výstružníka.



Obr. 7.31 Výstružník s reznými platničkami

Nástroje pre rezanie závitov v dierach

Nástroj pre rezanie závitov v dierach je nazývaný závitník (obr. 7.32). Závitník je opatrený niekoľkými pozdĺžnymi alebo skrutkovitými drážkami, aby vytvoril rezné hrany.

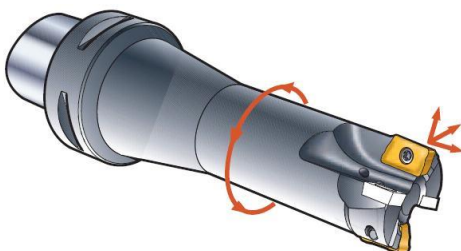


Obr. 7.32 Závitník

Skladá sa z pracovnej časti a násady. Pracovná časť závitníka je celá narezaná a zahŕňa rezný kužeľ, kalibrujúcu časť drážky, rezné perá a jadro. Zaberajúci rezný kužeľ závitníka vykonáva hlavnú prácu a kalibrujúca časť ho vedie v diere a uhladzuje závit. Pozdĺžne drážky tvoria rezné hrany, hromadia a odvádzajú triesku. Rezné perá sú rezné časti závitníka medzi jednotlivými drážkami.

Multifunkčné nástroje

Obr. 7.33 zobrazuje multifunkčný nástroj s reznými platničkami, ktorý je možné použiť pre frézovanie aj pre sústruženie.



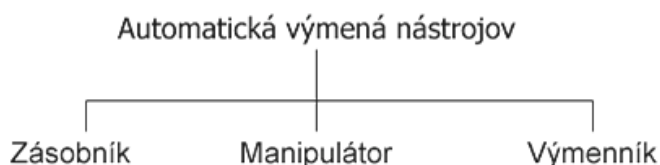
Obr. 7.33 Multifunkčný nástroj

Je aplikovateľný v rotačnom obrábaní ako efektívny nástroj pre frézovanie, alebo môže byť upevnený v optimálnej polohe ako sústružnícky nôž s využitím dvoch druhov rezných

platničiek. Umožňuje neobmedzené použitie v takmer akejkolvek polohe. Bol vyvinutý predovšetkým pre viacúčelové obrábanie, dá sa jednoducho použiť aj na starších obrábacích strojoch s programovou kapacitou limitovanou pre štandardné obrábacie cykly. Umožňuje dokončovacie operácie pri jednom strojovom nastavení, čo výrazne znižuje neefektívne prestoje obrábacieho stroja.

8. SYSTÉM AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV

Úlohou systémov používaných na automatickú výmenu nástrojov je zabezpečiť prísun a výmenu potrebných nástrojov a tiež výmenu poškodených a opotrebovaných nástrojov. K výmene nástrojov nedochádza len pri rôznych technologických operáciách vykonávaných na jednom type súčiastky, ale tiež pri zmene typu vyrábanej súčiastky. Systém musí v čo najkratšom čase odobrať nástroj, ktorým sa práve dokončila technologická operácia a nastaviť nový nástroj do požadovanej polohy. Automatická výmena nástrojov je realizovaná nasledovnými spôsobmi (obr. 8.1).



Obr. 8.1 Typy automatickej výmeny nástrojov

Systém automatickej výmeny nástrojov musí spĺňať nasledovné požiadavky:

- čas cyklu výmeny nástroja musí byť čo najkratší,
- opakovaná vysoká presnosť výmeny nástroja,
- upínač nástroja musí byť dostatočne tuhý a to hlavne v čase opracovávania súčiastky,
- dostatočná kapacita zásobníka nástrojov,
- nástroje práve nezúčastňujúce sa pracovného procesu nesmú obmedzovať pracovný priestor stroja,
- odolnosť voči nepriaznivým vplyvom rezného prostredia,
- dlhá životnosť a maximálna spoľahlivosť,
- prevádzková bezpečnosť.

8.1 Zásobník nástrojov

Slúži na bezpečné uloženie nástrojových jednotiek v blízkosti pracovného priestoru a pre dopravu požadovanej nástrojovej jednotky do polohy pre výmenu. Výmena nástrojov zo zásobníka sa najčastejšie používa spolu so strojmi, ktoré pracujú s nástrojmi upnutými vo vretene, pri sústružníckych strojoch tam, kde obrobienie polotovaru vyžaduje použitie väčšieho množstva rozličných nástrojov. Nástroje sú v zásobníku uchytené mechanicky, alebo pomocou držiakov s plastovými čeľuštami, ktoré svojou pružnosťou držia nástroj. Na otáčanie zásobníka sa používajú elektropohony. Poznáme tieto základné skupiny zásobníkov (obr. 8.2).



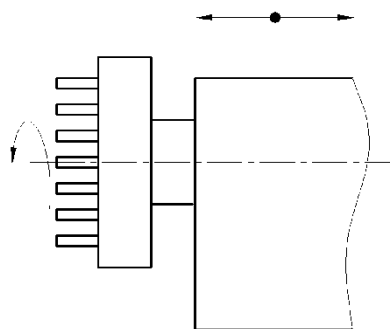
Obr. 8.2 Základné skupiny zásobníkov

Nosné zásobníky

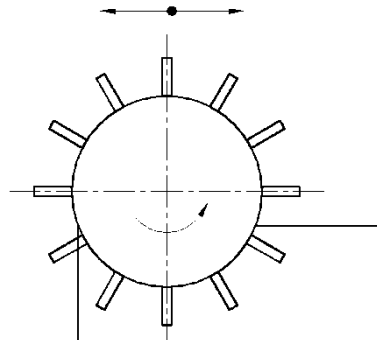
Tento typ zásobníkov sa vyznačuje hlavne tým, že umožňuje prenášať rezné sily, no ich nevýhodou je, uloženie malého množstva nástrojov. Zásobník má malé rozmery, preto býva umiestnený priamo v pracovnom priestore stroja, čím nezväčšuje jeho pôdorysnú plochu.

Najčastejšie sa používajú v CNC sústruhoch s vodorovnou, ale aj so zvislou osou otáčania v podobe revolverových hláv.

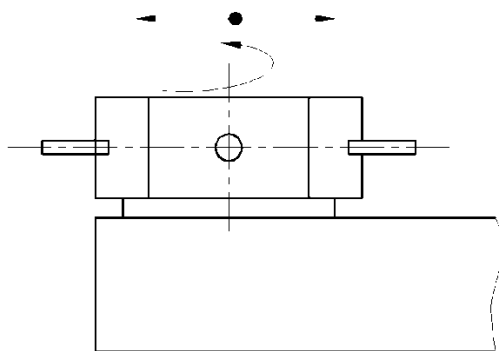
Revolverová hlava môže byť konštruovaná so šikmou, zvislou a vodorovnou pozdĺžnou alebo priečnou osou otáčania (obr. 8.3).



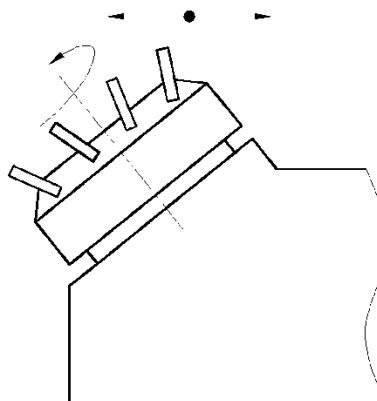
Revolverová hlava s vodorovnou osou pozdĺžnou



Revolverová hlava s vodorovnou osou priečnou



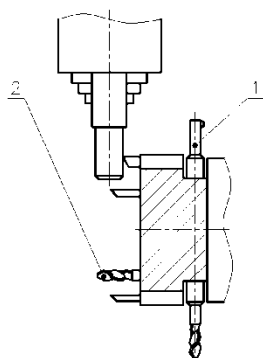
Revolverová hlava so zvislou osou



Revolverová hlava so šikmou osou

Obr. 8.3 Rozdelenie revolverových hláv podľa osi uloženia

Jej základnou konštrukčnou časťou je n-boký hranol, kde počet bokov hranola závisí od počtu nástrojov. Najviac používané sú revolverové hlavy s možnosťou upnutia ôsmich až dvanástich nástrojov. Nástroje sa môžu upínať priamo, alebo pomocou univerzálnych držiakov, ktorých použitie je výhodné, pretože umožňujú zoradenie nástrojov mimo stroja. Každá pozícia pre upnutie rezného nástroja nesie číselné označenie, na základe ktorého v programe privoláme potrebný nástroj. Ten sa postupným pootočením revolverovej hlavy dostane do požadovanej polohy a až potom je zapojený do rezného procesu. Do revolverovej hlavy môžeme súčasne upnúť nástroje ako na vnútorné, tak aj na vonkajšie obrábanie, pričom musí byť zaručená vysoká presnosť upnutia nástroja. Na obvode hlavy sú v axiálnom smere upnuté nástroje na obrábanie vonkajších plôch, v smere radiálnom sú upnuté nástroje na obrábanie vnútorných plôch (obr. 8.4).



Obr. 8.4 Upnutie nástrojov v revolverovej hlave pre obrábanie vonkajších a vnútorných plôch
1 – radiálne upnutý nástroj, 2 – axiálne upnutý nástroj

Nástroje upnuté v revolverovej hlave si v žiadnom prípade nemôžu navzájom prekážať, preto musíme program zostaviť tak, aby v procese obrábania nedošlo ku kolízii nepracujúceho nástroja s obrobkom alebo s niektorou časťou stroja.

Skladové zásobníky

Tento typ zásobníkov neprenáša žiadne rezné sily a slúži iba k skladovaniu nástrojov. Pomocou tohto systému sa nástroj ustaví do pracovnej polohy, to znamená, že nástroj sa premiestni na také miesto a do takej polohy, aby mohol prenášať reznú silu. Pre identifikáciu každého nástroja sa vyžaduje ich kódovanie. Použitie skladového zásobníka vyžaduje prídavné zariadenie, napríklad výmenník, pre výmenu nástrojov.

Podľa konštrukcie a množstva nástrojov rozlišujeme skladové zásobníky na nasledujúce dve skupiny (obr. 8.5).

Typ zásobníka	Maloobjemový zásobník	Veľkoobjemový zásobník
Tanierový		
Doskový		
Kotúčový		
Reťazový		
Bubnový		

Obr. 8.5 Konštrukčné riešenie zásobníkov

- a) maloobjemové zásobníky sú konštrukčne jednoduchšie riešené a priestorovo nenáročné, preto nezväčšujú pôdorysnú plochu stroja. S jednoduchou konštrukciou vyplýva malá poruchovosť, jednoduchá údržba a nízke obstarávacie a prevádzkové náklady. Spravidla maloobjemové zásobníky obsahujú 25 až 40 nástrojových miest,
- b) veľkoobjemové zásobníky sú konštrukčne zložitejšie, majú veľkú hmotnosť a veľké rozmery, preto sa umiestňujú mimo obrábací stroj, čím zväčšujú jeho pôdorysnú plochu. Obsahujú viac ako 40 nástrojových miest, v súčasnosti sú také typy zásobníkov do ktorých možno uložiť až 150 a viac nástrojov.

Kombinované zásobníky

Kombinované zásobníky sú založené na vhodnej kombinácii nosných a skladových zásobníkov. Najčastejšie sa skladajú z jedného alebo viacerých zásobníkov, ktoré plnia funkciu skladu nástrojov a z jednej alebo niekoľkých nástrojových hláv.

Vzájomné porovnanie nosných a skladových zásobníkov je zobrazené na obr. 8.6.

	Nosný zásobník	Skladový zásobník
+	- umiestnenie v pracovnom priestore stroja, - rýchla výmena nástrojov, - jednoduchá údržba a obsluha.	- možnosť uloženia nástroja na ktorékoľvek nástrojové miesto, - neobmedzená kapacita nástrojov, - jednoduchšia zmena nástrojov pri zmene výroby.
-	- malý počet nástrojových miest, - obmedzená kapacita nástrojov, - konštrukcia musí byť prispôbena na prenos síl, - riziko vzniku kolízie nepoužívaného nástroja s obrobkom.	- nutnosť použitia prídavného zariadenia, - vyžaduje sa kódovanie nástrojov, - nároky na priestor, - náročná údržba, oprava a obsluha, - vyššie prevádzkové a obstarávacie náklady, - jednotnosť držiakov nástrojov.

Obr. 8.6 Výhody a nevýhody nosných a skladových zásobníkov

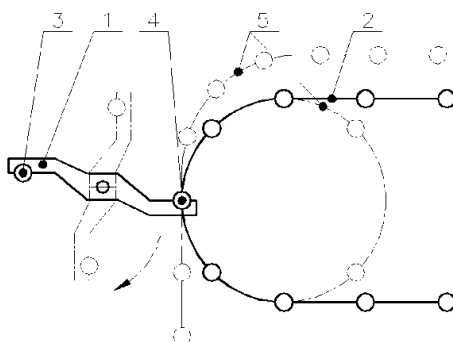
8.2 Výmenník

Používa sa ako prostriedok umiestnený medzi zásobníkom a vretenom CNC sústružníckeho stroja s vertikálnou osou pracovného vretena, ktorý odoberá nový nástroj zo zásobníka a starý nástroj z vretena (obr. 8.7).

Základnou konštrukčnou časťou výmenníka je dvojramenná páka s uhlom otočenia o 180°, 90° alebo iným. Otočením páky výmenníka sa starý nástroj dostane k zásobníku a nový pred vreteno. Pozdĺžnym posuvom sa zabezpečí zasunutie nového nástroja do vretena a súčasne starého nástroja do zásobníka. Na pohon výmenníka sa používajú elektrické, hydraulické, mechanické (najčastejšie pružiny) a kombinované mechanizmy náhonu.

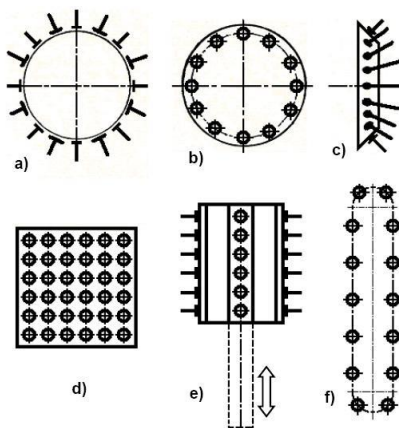
Výmena nástrojov sa môže uskutočňovať aj priamou výmenou, ktorá spočíva v tom, že medzi zásobníkom a vretenom nepoužívame výmenník. Vreteno najskôr odloží pôvodný nástroj,

potom dochádza k pootočeniu zásobníka tak, aby sa do osi vretena dostal požadovaný nástroj a následne si vreteno vlastnými posuvovými a uchopovacími mechanizmami odoberie a upne nový nástroj. Takáto výmena nástrojov prebieha v pomerne krátkom čase.



Obr. 8.7 Výmena nástroja uskutočňovaná výmenníkom
1 – výmenník, 2 – reťazový zásobník, 3 – starý nástroj, 4 – nový požadovaný nástroj,
5 – možné tvary reťazového zásobníka

Systémy AVN (automatická výmena nástroja) s maloobjemovými zásobníkmi bývajú obvykle jednoduchšie. Zásobníky týchto systémov majú kapacitu do 40 nástrojových miest, v ktorých sú nástroje usporiadané buď podobne ako v revolverových hlavách – teda radiálne (obr. 8.8a), rovnobežné (obr. 8.8b), alebo rôznobežné (obr. 8.8c) voči osi otáčania zásobníka, alebo sú riešené ako zásobníky regálové (obr. 8.8d), segmentové (obr. 8.8e), prípadne malé reťazové (obr. 8.8f). Rozmery takýchto zásobníkov nie sú veľké, preto sa tieto systémy AVN najčastejšie umiestňujú priamo na pracovnom vretenníku, na stojane či stole stroja.



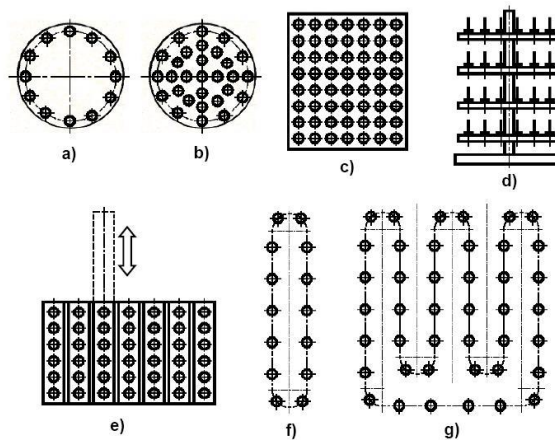
Obr. 8.8 Maloobjemové zásobníky

Systémy AVN s veľkoobjemovými zásobníkmi majú kapacitu 60 až 500 i viac nástrojov. Zásobníky bývajú riešené ako bubnové (pozri obr. 8.9a), kotúčové (obr. 8.9b), regálové (obr. 8.9c,d), segmentové (obr. 8.9e), prípadne reťazové (obr. 8.9f,g). Pretože tieto veľkoobjemové zásobníky majú relatívne veľkú hmotnosť a rozmery, umiestňujú sa najčastejšie mimo stroja na zvláštnom stojane, takže zväčšujú pôdorysnú plochu stroja .

Podľa spôsobu realizácie manipulačného cyklu s nástrojmi medzi ich pozíciou v zásobníku a pracovnou pozíciou na stroji (tzv. cesty nástroja) rozdeľujeme systémy pre výmenu jednotlivých nástrojov zo zásobníka do troch podskupín:

- systém zásobník-upínač,

- systém zásobník-podávač-upínač,
- systém zásobník-dopravný manipulátor-podávač-upínač.



Obr. 8.9 Veľkoobjemové zásobníky

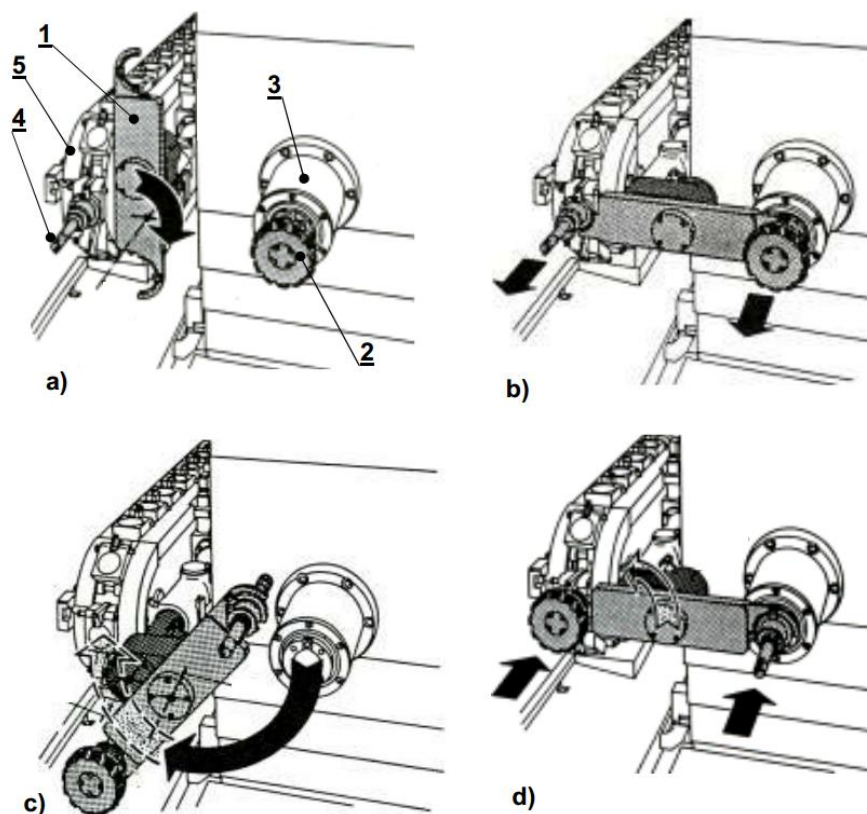
8.3 Manipulátor

Automatická výmena nástrojov je realizovaná nielen pomocou zásobníka a výmenníka, ale často sa uskutočňuje aj pomocou manipulátora. Manipulátor, využívaný pri automatickej výmene nástrojov sa nazýva nástrojový manipulátor a je jednoúčelovým podávacím zariadením, ktoré môže, ale nemusí, byť súčasťou obsluhovaného stroja. Manipulátor je konštrukčným prevedením podriadený stroju, je riadený od stroja a poháňaný vlastným pohonom alebo pohonom odvodeným od stroja. Každý nástroj, s ktorým sa bude manipulovať musí byť podaný na určitom mieste a s určitou orientáciou.

Manipulátor, využívaný pri automatickej výmene nástrojov sa často nazýva aj nástrojový manipulátor a je jednoúčelovým podávacím zariadením, ktoré môže, ale nemusí, byť súčasťou obsluhovaného stroja. Manipulátor je konštrukčným prevedením podriadený stroju, je riadený od stroja a poháňaný vlastným pohonom alebo pohonom odvodeným od stroja. Každý nástroj, s ktorým sa bude manipulovať musí byť podaný na určitom mieste a s určitou orientáciou.

Na obr. 8.10 je znázornený priebeh manipulačného cyklu pri výmene nástroja „zásobník – podávač – upínač“.

Na obr. 8.10a je zobrazený podávač 1 v základnej polohe počas práce stroja. Po skončení činnosti nástroja 2 upnutého vo vretene 3 nasleduje natočenie ramena podávača o 90° a súčasné uchopenie použitého nástroja vo vretene a nového nástroja 4 v prípravnej pozícii reťazového zásobníka 5. Za tým nasleduje vysunutie nástroja 2 z vretena a nástroja 4 zo zásobníka pohybom ramena podávača v zmysle naznačenom šípkami (pozri obr. 8.10b). Na obr. 8.10c je zobrazená fáza otáčania ramena podávača o 180°, pričom sa oba nástroje dostávajú do nových polôh. Definitívne polohy nástrojov sa dosiahnu až zasunutím ramena s nástrojmi v zmysle šípk na obr. 8.10d – použitý nástroj sa dostal do prázdnej upínacej pozície v zásobníku a nový do upínacej dutiny vretena. Za tým nasleduje pootočenie ramena o 90° do kludovej polohy. Pohybom reťaze zásobníka sa do prípravnej pozície dostane ďalší nástroj.

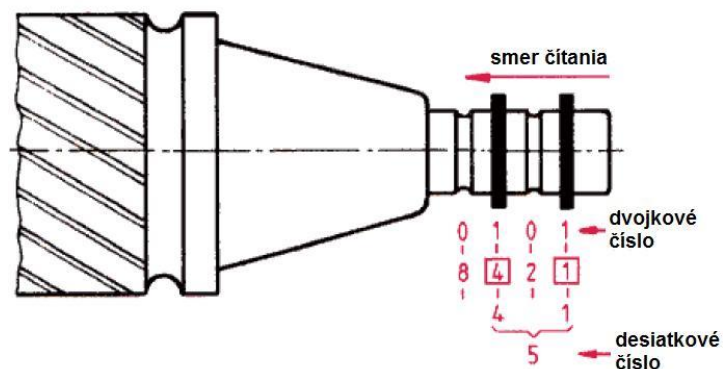


Obr. 8.10 Priebeh manipulačného cyklu pri výmene nástroja systémom „zásobník-podávač-upínač“

8.4 Kódovanie nástrojov

Systémy správy nástrojov na CNC strojoch sú konštrukčne rozmanité, ale v zásade používajú dva základné princípy. Nástroje sú v zásobníku na danom mieste a stále sa vracajú na to isté miesto. Miesto má priradenú svoju stálu adresu v riadiacom systéme. Pri druhom spôsobe je adresa priradená nástroju, ktorý je ukladaný na ľubovoľné miesto zásobníka. Riadiaci systém ukladá do pamäte posledné umiestnenie daného nástroja.

Nástroje sú označené napr. kódovacími krúžkami alebo čipmi, ktoré nesú všetky potrebné informácie o nástroji. Príklad kódovania nástroja je zobrazený na obr. 8.11.



Obr. 8.11 Označenie nástroja kódovacími krúžkami

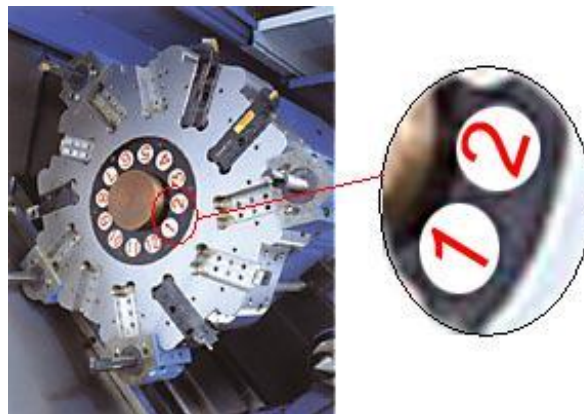
Aby bolo možné naprogramovať postupnosť nástrojov v procese obrábania, vyžaduje sa ich kódovanie, ktoré rozlišujeme na:

- pevné kódovanie,
- variabilné kódovanie.

Pri kódovaní nástrojov uložených v skladovom zásobníku nezáleží na ich umiestnení a poradí v tomto zásobníku, pretože vyhľadávanie nástroja je možné v ľubovoľnej postupnosti. Ďalšou výhodou je využitie kódovania nástrojov pri skladovaní a údržbe.

Pevné kódovanie

Najčastejšie sa vyskytuje na revolverových hlavách. Kódovanie nástrojov týmto spôsobom je v porovnaní s variabilným kódovaním finančne menej náročné. Nositeľom kódu nie je nástrojový držiak, ale nástrojové miesto v zásobníku nástrojov (obr. 8.12). Nástroje musíme v zásobníku ukladať na také miesta, ktoré presne nadefinujeme v programe. V prípade vloženia nástroja do nesprávneho nástrojového miesta, ako je naprogramované v programe, a následné privolanie tohto nástroja do pracovného cyklu, spôsobí kolíziu nástroja s obrobkom a poškodenie nielen nástroja a obrobku, ale aj pracovného stroja.



Obr. 8.12 Pevné kódovanie nástrojov na revolverovej hlave

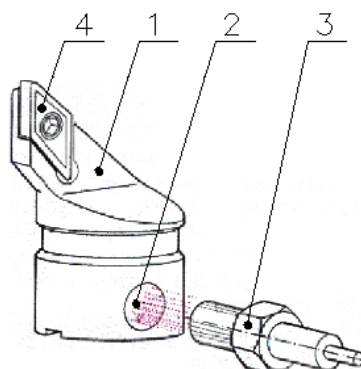
Variabilné kódovanie

Nositeľom kódu je nástrojový držiak, v ktorom je nástroj upnutý. Pri tomto spôsobe kódovania nástrojov nezáleží na poradí, v ktorom sú nástroje vkladané do nástrojového miesta v zásobníku a tým sa môžeme vyhnúť vloženiu nástroja do nesprávneho nástrojového miesta, ako je naprogramované v programe. Výhodou tohto kódovania nástrojov je tiež to, že nástroj je nositeľom kódu aj vtedy, keď sa nachádza mimo zásobníka. Variabilné kódovanie môže byť uskutočňované:

- a) bezkontaktným spôsobom:
 - kódovanie pomocou čipov – elektronické kódovanie,
 - kódovaním pomocou čiarových kódov,
- b) mechanickým spôsobom:
 - pomocou kódovacích krúžkov – binárne kódovanie,
 - plastovým diernym štítkom.

Kódovanie pomocou čipov

Je najmodernejší spôsob kódovania nástrojov. Nástroj je upevnený v nástrojovom držiaku, ktorý obsahuje pamäťový modul, kde je zaznamenaný číselný kód (obr. 8.13).



Obr. 8.13 Kódovanie nástrojov pomocou čipov
 1 – nástrojový držiak, 2 – pamäťový modul, 3 – snímacia/zapisovacia hlava,
 4 – vymeniteľná rezná platnička

Pamäťový modul každého nástroja je pri otáčaní zásobníka bezkontaktne snímaný snímacou hlavou, ktorá sa nachádza napríklad na chápadle pre manipuláciu s nástrojom. Pretože pamäťový modul neobsahuje len číselný kód nástroja, ale aj informácie o trvanlivosti nástroja a jeho dobe používania, snímacia hlava plní funkciu aj hlavy zapisovacej, ktorá prepisuje údaje o dobe používania nástroja. Výhodou tohoto spôsobu kódovania nástrojov je možnosť umiestnenia nástroja na ktorékoľvek nástrojové miesto v zásobníku a nedovolenie použiť ten nástroj v procese obrábania, ktorého trvanlivosť je vyčerpaná.

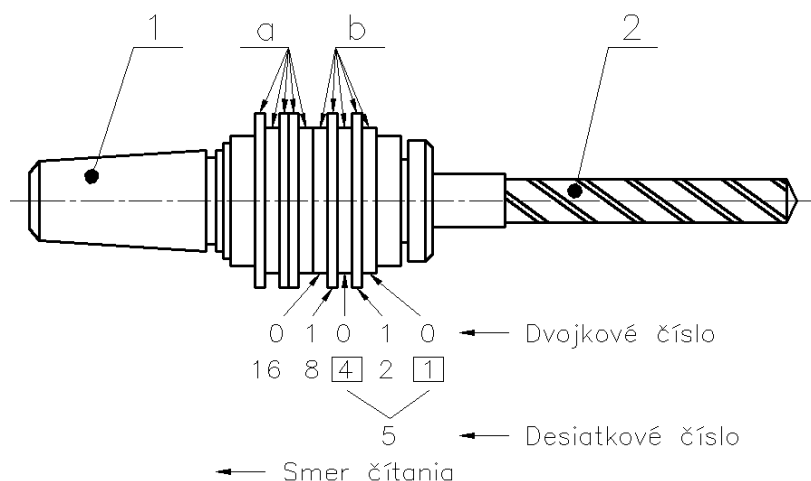
Kódovanie pomocou čiarových kódov

Nástrojový držiak, v ktorom je upevnený potrebný nástroj je označený čiarovým kódom, ktorý je snímaný snímacou hlavou. Pretože nástrojový držiak neobsahuje čip, ktorý umožňuje čítanie a zapisovanie údajov, takýto spôsob kódovania nástrojov neumožňuje ukladať informácie o trvanlivosti nástroja. Podobne ako v predchádzajúcom spôsobe kódovania nástrojov, nástroj môže byť umiestnený v ktoromkoľvek nástrojovom mieste zásobníka.

Binárne kódovanie nástrojov

Pri tomto type kódovania nástrojov slúžia ako identifikátory kódovacie krúžky, ktoré sú uložené na príslušnom mieste držiaku nástroja (obr. 8.14). Kódovacie krúžky sú rovnako široké s rôznym vonkajším polomerom. Proti posunutiu sú na okraji držiaka zabezpečené ochranným krúžkom s vnútorným závitom. Kóduje sa tak, že sa identifikačné číslo rozloží podľa dvojkovej sústavy. Súbor „a“ piatich kódovacích krúžkov predstavuje päť dvojkových miest k rozlíšeniu špeciálneho čísla nástroja, súbor „b“ piatich kódovacích krúžkov predstavuje päť dvojkových miest k označeniu skupinového čísla nástroja. Súčiniteľ 0 je vyjadrený pomocou kódovacieho krúžku s menším vonkajším priemerom a súčiniteľ 1 je vyjadrený pomocou kódovacieho krúžku s väčším vonkajším priemerom.

Tento spôsob kódovania nástrojov môže byť rôzne modifikovaný a to tak, že kódovacie krúžky sa na držiak nástroja nenasadzujú, ale sú vyrobené priamo na nástroji, alebo sa na nástroji robia zahĺbenia rôzneho tvaru.

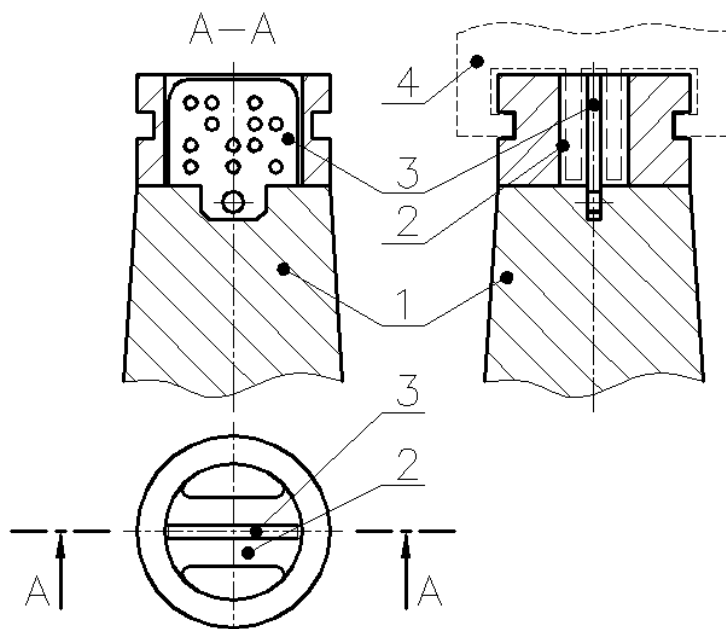


Obr. 8.14 Binárne kódovanie nástrojov pomocou kódovacích krúžkov

1 – normalizovaný držiak nástroja, MORSE kužeľ, 2 – nástroj, ktorý umožňuje predbežné zoradenie mimo pracovného stroja

Kódovanie plastovým diernym štítkom

Na kódovanie nástrojov sa používajú štítky z plastu, do ktorých je kód nástroja vyznačený otvormi. Kódovací prvok je umiestnený v drážke stopky držiaku nástroja a pri pohybe zásobníka prechádza cez snímač, ktorý je vstavaný v dvoch paralelných doskách nachádzajúcich sa na snímačej hlave (obr. 8.15). Tento spôsob kódovania neumožňuje zapisovanie a prepisovanie informácií o nástroji a nástroj môže byť umiestnený v ktoromkoľvek nástrojovom mieste zásobníka.



Obr. 8.15 Kódovanie nástrojov plastovým diernym štítkom

1 – držiak nástroja, 2 – drážka stopky, 3 – plastový kódovací prvok, 4 – snímacia hlava

V súčasnosti sa binárne kódovanie nástrojov a kódovanie nástrojov plastovým diernym štítkom nepoužíva, alebo sa používa len veľmi zriedka a to na zásobníkoch nástrojov staršieho typu.

9. PROGRAMOVANIE NC STROJOV

Dané technologické operácie CNC stroj vykonáva na základe programovaných informácií, ktoré užívateľ zadáva do CNC programu. Príprava a spracovanie tohto programu môže prebiehať mimo pracovný stroj, čo nám umožňuje nepretržitú prevádzku výrobného stroja. Jednotlivé príkazy zadané v CNC programe sú realizované činnosťou číslicovo riadeného stroja, pretože riadiaci systém v programe zadané informácie dekóduje, prevedie ich na jednotlivé typy riadiacich impulzov, následne ich vysiela jednotlivým servomechanizmom a spracovaním informácií zo spätnej väzby dosahuje požadované stavy. Užívateľ môže CNC program vytvoriť niekoľkými spôsobmi:

- ručným programovaním,
- automatizovaným programovaním.

9.1 Ručné programovanie

Je príprava CNC programov ručným spôsobom na úrovni strojového kódu. Pri takomto spôsobe programovania technolog pôčíta súradnice potrebných bodov. Program môže byť pripravovaný na externom počítači v textovom editore, alebo priamo z panelu obrábacieho stroja, kedy sa používa jednoducho ovládateľný programový editor. Chová sa podobne ako textový editor na počítači, má funkciu vyňatia, kopírovania, vloženia a užívateľ môže listovať už existujúcim programom, vykonávať požadované zmeny alebo písať svoje vlastné programy. Tento typ programovania sa používa na vytváranie CNC programov jednoduchých súčiastok a dnes by už nemal patriť k bežným spôsobom programovania.

Príprava CNC programu ručným programovaním pozostáva z nasledujúcich krokov:

- Po preštudovaní výrobného výkresu technolog rozhodne o prípadných zmenách tvaru súčiastky, prípadne navrhne inú technológiu výroby tejto súčiastky.
- Zvolí sa spôsob upnutia súčiastky do stroja. Vždy treba dbať na to, aby súčiastka bola vyrobená na čo najmenší počet upnutí, pretože každé nové upnutie spôsobuje minimálnu odchýlku od predchádzajúceho upnutia. Tiež berieme do úvahy súradnicový systém stroja, do ktorého vyrábanú súčiastku musíme umiestniť, alebo jej môžeme priradiť samostatný súradnicový systém. Pri symetrických súčiastkach by mal byť súradnicový systém umiestnený tak, aby jeho osi boli totožné s osami symetrie vyrábanej súčiastky. V tomto kroku technolog tiež hľadá najvhodnejšie nástroje, ktoré budú použité na výrobu súčiastky.
- Z hľadiska programovania sú pre nás dôležité body, kde sa mení priamočiary úsek na krivočiary, to znamená, že je potrebné vypočítať súradnice všetkých prechodových bodov krivosti.
- Výrobný výkres upravíme pre uvažovaný spôsob programovania, pri ktorom môžeme použiť nasledovné možnosti kótovania:
 - kótovanie od spoločnej základne, ktoré uľahčuje absolútne programovanie,
 - reťazovým kótovaním si uľahčíme prírastkové programovanie,
 - v prípade použitia oboch predchádzajúcich typov programovania je možné použiť zmiešané kótovanie.
- Taktiež nemôžeme zabudnúť na vyznačenie potrebných vzťažných bodov (nulový bod obrobku, koncový bod a pod.).
- Zvolíme rezné podmienky pre jednotlivé úseky technologických operácií.
- Zostavíme programový list a dáta, ktoré obsahuje prevedieme do programového kódu. Súčasťou programového listu je technologický náčrt so zakresleným spôsobom upnutia,

vyznačenými vzťahnými bodmi, množstvo odobratého materiálu a potrebné technologické informácie.

- Nasleduje fáza simulácie, pomocou ktorej minimalizujeme chyby v programe.
- V poslednej fáze dochádza k overeniu programu na stroji, kde overujeme vhodnosť použitých nástrojov, rezných podmienok, optimalizujeme program z hľadiska upnutia, pohybu nástroja, pomocných funkcií a podobne.

9.2 Automatizované programovanie

Toto programovanie tiež nazývame strojové a jeho podstata spočíva v tom, že sa vypracuje zápis riešeného problému v symbolickom jazyku, ktorý patrí medzi vyššie problémovo orientované jazyky a následná transformácia tohto zápisu do interpretovateľnej podoby CNC programu pre konkrétny číslicovo riadený stroj. Medzi automatizované programovanie tiež zaraďujeme *dielenské programovanie*, ktoré môžeme uskutočňovať na základe grafickej podpory obsluhy obrábacieho stroja alebo ručným ovládacím panelom.

Pri programovaní na základe grafickej podpory obsluhy obrábacieho stroja nie je písaný CNC program, ale pracovné technologické postupy jednotlivých operácií (napríklad vyvrtávanie, frézovanie a pod.). Postupným vyplňovaním tabuľky technologických operácií vytvoríme pevný cyklus pracovných operácií, ale nie G – kódov. Pri programovaní tiež môžeme využiť podprogramy uložené v pamäti riadiaceho systému (napr. podprogram pre vŕtanie), ktoré adaptujeme na naše rozmery. Dielenské programovanie vykonávame priamo na ovládacom paneli stroja, alebo pomocou softvéru, ktorý umožňuje programovať aj na externom počítači. Dielenské programovanie (pre sústruženie) umožňuje napr. Shopturn od firmy Siemens, Manual Guide od firmy GE Fanuc alebo Mazatrol od firmy Mazak.

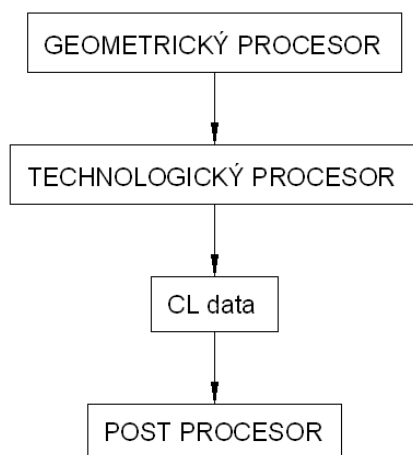
Dielenské programovanie ručným ovládacím panelom spočíva v nadefinovaní dráhy pomocou tohto ovládacieho panela. CNC stroj si do pamäti zaznamenáva pohyby nástroja, ktorým pohybujeme pomocou joistiku, alebo ovládacích smerových kláves. Následne je možné zaznamenaný program z pamäti stroja vyvolať a opakovane ho spúšťať. Nasledujúca tabuľka (tabuľka 9.1) poukazuje na výhody a nevýhody dielenského programovania.

Tabuľka 9.1 Výhody a nevýhody dielenského programovania

+	-
- nie sú potrebné hlboké znalosti programovania v CNC kóde, - prehľadné zobrazenie skutočných hodnôt a činnosti programu počas obrábania 3D simuláciou, - grafické zobrazenie v mierke, - zobrazenie dráhy, - zobrazenie pracovného postupu.	- nemôžeme definovať polotovary, ktorý vo všetkých prípadoch nie je len tyčový (keď sa jedná o opracovanie odliatkov alebo výkovkov aj zložitejších tvarov). V niektorých systémoch je možné polotovary importovať z CAD systému, ale následne dochádza ku skomplikovaniu dielenského programovania, - nie je možné voliť začiatok a koniec obrábania, to znamená že nemôžeme nadefinovať nabehnutie a vybehnutie z rezu.

S rozvojom výpočtovej techniky a veľkým výberom programového vybavenia pre komplexnú automatizáciu technickej prípravy výroby, počítačom podporovanú konštrukciu a výrobu,

možno pre vytvorenie CNC programu využiť CAD/CAM softvér. Takýto softvér na základe technológom zadaných informácií umožňuje odladiť, odsimulovať a vygenerovať celý program, čím zjednodušíme programovanie tvarovo zložitých súčiastok, ktorých ručné programovanie niekedy ani nie je možné a tiež predídeme vzniku možných kolízií. Takto vygenerovaný program preniesieme do riadiaceho systému pomocou diskety, USB kľúča, pamäťovej karty alebo prepojením počítača a stroja optickým káblom, ktorý zabezpečuje ultra vysokú rýchlosť sériového prenosu dát a spoľahlivosť aj v najnáročnejších podmienkach výroby. V súčasnosti sa na trhu nachádza veľké množstvo CAD/CAM softvérov, ako napríklad CATIA, Pro/ENGINEER, SOLIDCAM a podobne. Všetky tieto programy majú rovnakú štruktúru (obrázok 9.1). Nevýhodou je potreba postprocesora, ktorý pretransformuje dáta do takého tvaru, ktoré sú vhodné a zrozumiteľné pre daný typ riadiaceho systému a obrábacieho stroja.



Obr. 9.1 Bloková schéma softvéru pre počítačom podporovanú výrobu

Geometrický procesor vypočíta súradnice bodov, ktoré treba dosadiť do programu. Vychádza napríklad z dxf súboru, v ktorom je už súčiastka nakreslená.

Technologický procesor požaduje informácie týkajúce sa technológie obrábania z normatívov rezných podmienok, katalógov, strojníckych tabuliek a podobne.

CL data zabezpečuje kódovanie programu nezávislé na type obrábacieho stroja a jeho riadiaceho systému.

Postprocesor pretransformuje kódovanie programu do takého tvaru, aby bol zrozumiteľný pre daný obrábací stroj a jeho riadiaci systém.

O systéme automatizovaného programovania CNC výrobných strojov bude pojednávať zvláštna kapitola, kde bude opísaná automatizovaná tvorba programov v systéme NX6.

10. ZÁKLADY PROGRAMOVANIA NC VÝROBNÝCH STROJOV RUČNÝM SPÔSOBOM

Pod pojmom NC program rozumieme taký sekvenčne usporiadaný súbor informácií vo formáte jazyka číslcového riadenia, ktorý je formou vyjadrenia technologického postupu realizovaného činnosťou číslcovo riadeného stroja. Základným prvkom je slovo, určená postupnosť slov tvorí vetu (blok), sekvenčne usporiadaná postupnosť viet tvorí NC program. Prvá veta programu musí obsahovať znak „štart programu“, posledná veta obsahuje znak „stop programu“. Podľa formálneho usporiadania a štruktúry slov, rozdeľujeme NC programy na podľa toho, ako sú zapísané:

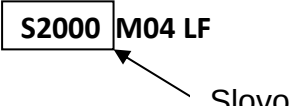
- vo formáte vety s pevnou dĺžkou,
- vo formáte vety s premennou dĺžkou.

Podstatne rozšírenejšou formou je zápis NC programu s premennou dĺžkou. Formát vety s pevnou dĺžkou je skôr výnimočný a je používaný v súčasnosti len niektorými výrobcami.

10.1 Štruktúra NC programu

Pri tvorbe programu je základom norma DIN 66025. Základným prvkom NC programu je slovo. Príklad niekoľkých slov programu:

```
%1489
N0001 G01 X30 Z90 F0.1 T1 D2 S2000 M04 LF
...
N0600 M30 LF
```



Slovo sa skladá z dvoch častí:

- adresa (vyjadrená písmenom, je symbolickou adresou odpovedajúcej časti pamäti systému)
- číselný údaj – je tvorený jednou či viacerými dekadickými číslicami a môže obsahovať aj znamienko. Základný význam číselného údaj každého slova je určený jeho adresou.

Slová v zápise viet programu delíme na:

- *bezrozmerné slová* (špecifikujú technologické a doplňujúce údaje),

Patria sem:

- číslo vety *N (Number)*
 - prípravná funkcia *G (Go)*,
 - funkcia posuvu *F (Feed)*,
 - funkcia otáčok vretena *S (Speed)*,
 - funkcia nástroja *T (Tool)*,
 - funkcia pre korekciu nástroja *D (Difference)*,
 - pomocná funkcia *M (Make)*.
- *rozmerné slová* (slúžia na určenie relatívnej dráhy nástroja vzhľadom k obrobku).

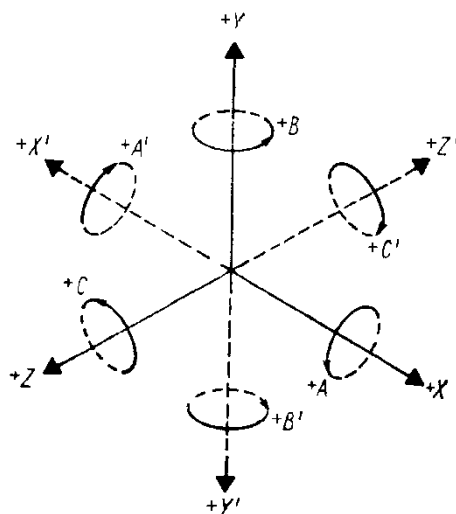
Patrí sem:

- pre pohyb priamočiary: *X, Y, Z, príp. U, V, W, príp. aj P, Q, R.*

- pre pohyb kruhový: *A, B, C a ďalej D, E.*
- pre interpoláciu: *I, J, K (resp. interpolačné parametre).*

10.2 Nomenklatúra osí a pohybov

Na zjednodušenie programovania je predpísaná nomenklatúra osí a pohybov pre NC obrábacie stroje, ktoré stanovuje hlavné zásady na určenie strojných pohybov pomocou normálnej (kartézskej) súradnicovej sústavy (obr. 10.1). Osí priestorovej pravouhlej sústavy sú rovnobežné s hlavnými vodiacími plochami. Sústava udáva súradnice pohybujúceho sa nástroja vzhľadom k nehybnému obrobku. Názvoslovie osí je dané normou ISO 841.



Obr. 10.1 Orientácia osí a pohybov NC stroja

Kladný zmysel pohybu spôsobuje narastanie rozmerov obrobku v kladnom zmysle jeho súradnicovej sústavy. Pohyby nástrojov označujú písmená bez čiarky (napr. X), pohyby obrobkov sa označujú písmenami s čiarkou.

Aby bolo možné jedným riadiť jedným a tým istým programom konštrukčne odlišné druhy strojov, bolo dohodnuté na naprogramovanie želaného pohybu pravidlo relatívneho pohybu nástroja:

„Obrobok je v pokoji – pohybuje sa iba nástroj.“

Tento prístup sa nazýva relatívny pohyb nástroja. Model relatívneho pohybu nástroja uľahčuje programovanie, nakoľko netreba neustále rozmýšľať, ktorá časť číslicovo riadeného stroja je v pohybe.

Niektoré informácie o sústružení na stránke:

<https://www.youtube.com/watch?v=DKxtQ2tzq5U#t=7.171854>

10.3 Spôsoby programovania

Podľa toho, ako zapíšeme želanú polohu nástroja v programe, rozoznávame dva spôsoby programovania, a to:

- absolútne programovanie,
- prírastkové (inkrementálne) programovanie.

Absolútne programovanie

Pri tomto spôsobe programovania je koncová poloha bodu zadaná vzhľadom na nulový bod programu (resp. nulový bod obrobku, stroja) a je nezávislá od momentálnej (aktuálnej, poslednej) polohy nástroja.

Nasledovný zápis vety v NC programe využíva absolútne zadanie koncového bodu „P“. Podľa obr. 11.2 platí:

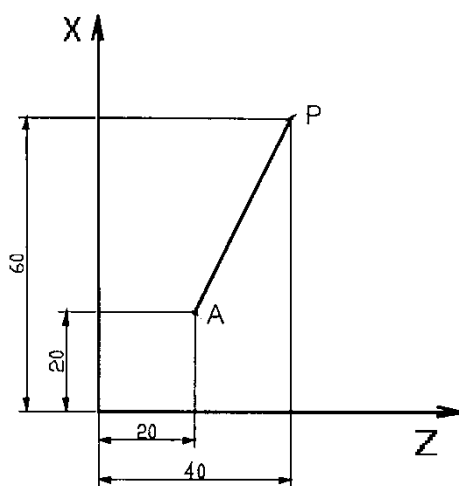
N0030 G1 G90 X60 Z40

Prírastkové programovanie

Riadeniu možno zadať, do akej vzdialenosti a akým smerom treba nástroj presunúť. tieto údaje sa vzťahujú vždy na momentálnu (aktuálnu, poslednú) polohu nástroja. riadenie rozpozná inkrementálnu formu zadania polohy príkazom „G91“.

Zápis programu potom bude:

N0030 G1 G91 X40 Z20



Obr. 11.2 Okótovanie aktuálneho a konečného bodu na výpočet absolútneho a relatívneho programovania

Význam jednotlivých adries a znakov je v tabuľkách 11.1 a 11.2.

Tab. 11.1 Význam adresných znakov podľa ON 200671

Znak	Význam
A,B,C	Uhlový rozmer pohybu okolo osi X,Y,Z
D	Uhlový rozmer pohybu okolo špeciálnej osi, alebo – tretia posuvová funkcia alebo – funkcia pre voľbu korekcie nástroja
E	Uhlový rozmer pohybu okolo špeciálnej osi, alebo – druhá posuvová funkcia
F	Posuvová funkcia
G	Prípravné funkcie
H	Neurčené, používa sa na špecifikáciu korekčných prepínačov
I,J,K	Interpoláčné parametre, alebo stúpanie závitu rovnobežné s X,Y,Z
L	Neurčené, alebo číslo podprogramu
M	Pomocné funkcie
N	Číslo vety (bloku)
O	Nepoužívať
P	Rozmer terciálneho pohybu rovnobežne s Y, alebo parameter korekcie nástroja
Q	Rozmer terciálneho pohybu rovnobežne s Y, alebo parameter korekcie nástroja
R	Rozmer pohybu rýchloposuvom rovnobežne s Z, alebo rozmer terciálneho pohybu rovnobežne s Z, alebo parameter korekcie nástroja
S	Funkcia otáčok vretena
T	Nástrojová funkcia
U,V,W	Rozmer sekundárneho pohybu rovnobežne s X,Y,Z
X,Y,Z	Rozmer primárneho pohybu X,Y,Z

Tab. 11.2 Význam pomocných znakov podľa ON 200671

Znak	Význam
+	Symbol pre kladný zmysel pohybu
-	Symbol pre záporný zmysel pohybu
tab	tabulátor (tento znak sa netlačí)
/	Voliteľné vynechania vety (bloku)
%	Začiatok programu
LF	Koniec vety (bloku) – Line Feed
HT	Koniec slova
(	Začiatok poznámky (riadenie vypnuté)
)	Koniec poznámky (riadenie zapnuté)

11. PROGRAMOVANIE CNC SÚSTRUHU EMCO PC TURN 120

11.1 Technické parametre stroja

CNC sústruh EMCO PC TURN 120 s riadiacim systémom Sinumerik 820 T a integrovaným personálnym počítačom spĺňa všetky znaky moderného CNC obrábania (obr. 11.1).



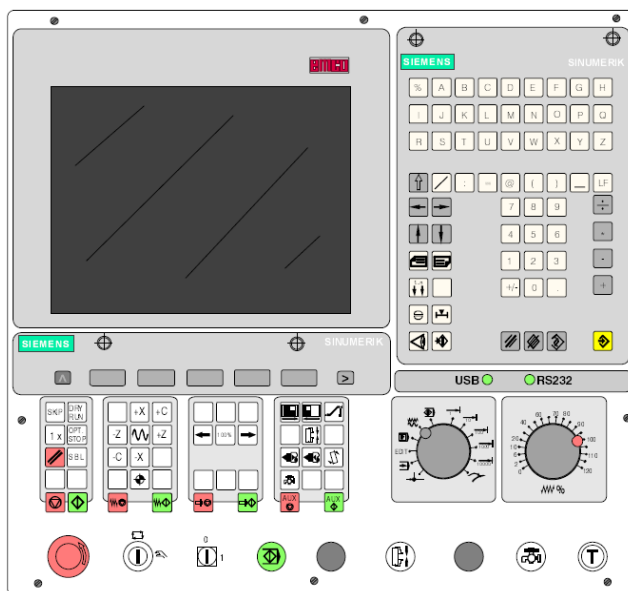
Obr. 11.1 Pohľad na EMCO PC Turn 120 s riadiacim systémom Sinumerik 820 T

Má napr. 8 nástrojov v automatickej výmene pre vonkajšie a vnútorné obrábanie. Programové vybavenie obsahuje aj program na grafickú simuláciu obrábania, kde sa dajú vytvorené programy vopred verifikovať v 2D resp. 3D grafickom zobrazení. Súčasťou výbavy stroja sú aj dve trenažérske programátorské konzoly, ktoré sa skladajú z riadiaceho systému a počítača a možno na nich tvoriť CNC programy oddelene od výrobného stroja. Základné technické parametra stroja sú:

- | | |
|---|------------------|
| - maximálny priemer vyrábanej súčiastky: | 75 mm |
| - maximálna dĺžka sústruženej súčiastky upnutej v koníku: | 121 mm |
| - otáčky vretena: | 150-4000 ot/min |
| - príkon stroja: | 2,8 kW |
| - zmena otáčok vretena: | plynulá |
| - rýchlosť posuvu v X – ovej a Z – ovej súradnici: | 0-2 m/min |
| - rýchloposuv v X – ovej a Z – ovej súradnici: | 3 m/min |
| - počet nástrojov vo výmenníku nástrojov: | 8 |
| - rozmer nástrojového držiaka: | 12 x 12 mm |
| - rozmery stroja (dĺžka-šírka-výška): | 1730-875-1620 mm |
| - hmotnosť stroja: | 530 kg |

11.2 Opis klávesnice

Na klávesnici (obr. 11.2), sú niektoré významné tlačidlá, ktoré je potrebné identifikovať vzhľadom na celkovú obsluhu stroja (tab. 11.1).

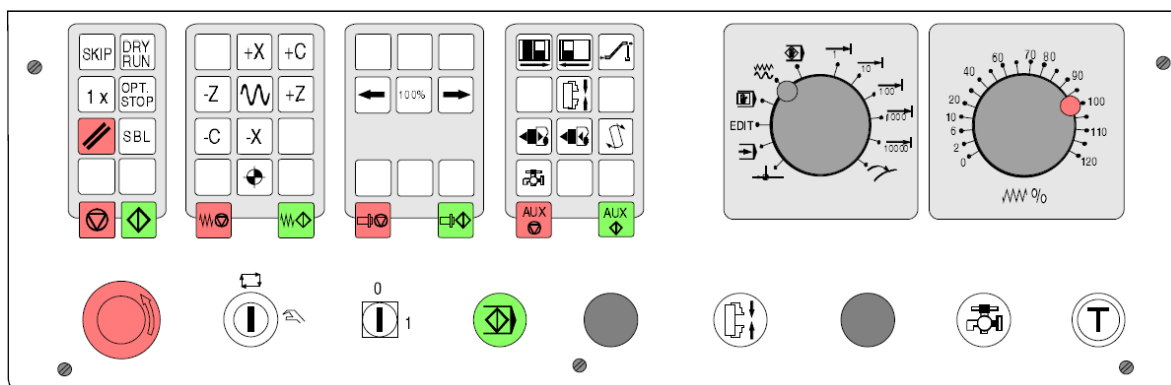


Obr. 11.2 Klávesnica riadiaceho systému Sinumerik 820 T

Tab. 11.1 Význam kláves na riadiacom systéme Sinumerik 820 T

	Tlačidlo vkladania, vstup
	Vymazanie zadávaného údaj a alebo poznámky obsluhy
	Vymazanie slova alebo vety
	Zmena slova
	Vyhľadanie adresy, vety alebo slova
	Posun kurzora nahor a nadol
	Posun kurzora vľavo a vpravo
	Posun o celú stranu dozadu a dopredu
	Potvrdenie poplachového hlásenia
	Ukázanie skutočnej polohy v dvojnásobnej veľkosti

Výrobný stroj sa priamo obsluhuje prostredníctvom kláves, ktoré sa nachádzajú v dolnej časti klávesnice riadiaceho systému (obr. 11.3). Nie všetky funkcie sú aktívne, čo závisí od konkrétnej realizácie riadeného stroja.



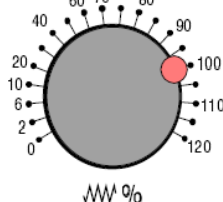
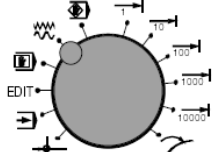
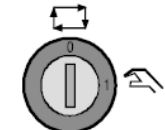
Obr. 11.3 Panel riadenia stroja ECOM série C - Turn

Identifikujme niektoré klávesy, ktoré sú potrebné pri ladení a behu samotného riadiaceho programu obrábania (obr. 11.4, 11.5).

	Nevyznačené vety nebudú vykonané
	Test behu programu
	Zastavenie na podmienený stop programu M01
	RESET
	Beh programu po jednotlivých vetách
	Štart a stop programu
	Ručný pohyb v jednotlivých osiach v príslušných smeroch
	Nabehnutie do referenčných bodov vo všetkých osiach
	Stop a štart posuvu
	Zmenšovanie a zväčšovanie otáčok vretena
	Stop a štart otáčania vretena. Štart vretena je v režime JOG a INC1...INC10000. V smere hodinových ručičiek stlačiť krátko, proti smeru hodinových ručičiek stlačiť min 1 sek.

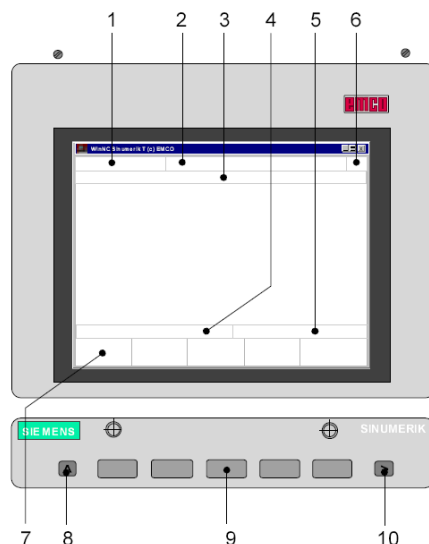
	Otváranie a zatváranie dverí
	Zatváranie a otváranie čeľustí skľučovadla
	Vysúvanie a zasúvanie pinoly na koníku
	Otáčanie revolverovej nástrojovej hlavy
	Zapnutie a vypnutie reznej kvapaliny
	AUX OFF / AUX ON – vypnutie a zapnutie pomocných pohonov

Obr. 11.4 Význam kláves na paneli riadenia stroja EMCO série PC – Turn

	Redukcia rýchlosti posuvu 0 – 120% naprogramovanej hodnoty
	Prepínač režimov činnosti výrobného stroja
	Tlačidlo CENTRAL STOP na zabránenie havárie
	Prepínač kľúčom na ručné a automatické ovládanie
	Dodatočné NC štart tlačidlo
	Dodatočné tlačidlo na upínanie súčiastky
	Tlačidlo na odblokovanie zatvorených dverí
	Tlačidlo bez funkcie

Obr. 11.5 Význam kláves na paneli riadenia stroja EMCO série PC – Turn (dokončenie)

Ďalšie tlačidlá na riadiacom paneli stroja úzko súvisia s informáciami na obrazovke. Zobrazenie na obrazovke možno prepínať tlačidlami na paneli priamo pod obrazovkou a nahradzujú tzv. funkčné klávesy na klávesnici počítača. V jednotlivých častiach obrazovky sú pevne umiestnené polia s informáciami, ktoré súvisia s programovaním a režimom práce stroja (obr. 11.6).

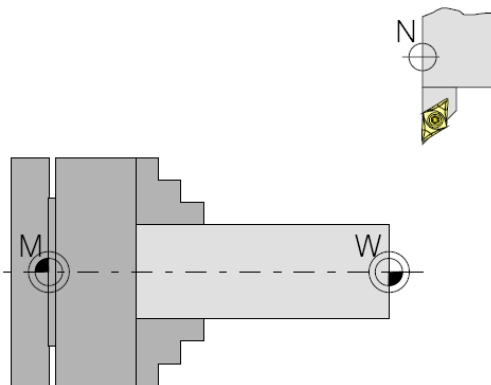


*Obr. 11.6 Umiestnenie informačných polí a funkčných kláves na zobrazenie informácií
1 – správa o režime činnosti stroja, 2 – správa o stave činnosti, 3 – oznam o prekročení parametrov (otáčky, pracovný priestor, ...) a varovania, 4 – upozornenia pre obsluhu, 5 – riadok so vstupnými parametrami(riadok vkladania) , 6 – správa o čísle kanála, 7 – riadok funkčných kláves, ktoré sa ovládajú príslušnými tlačidlami pod monitorom, 8 – tlačidlo „späť“ na predchádzajúce zobrazenie, 9 – funkčné tlačidlá na prepínanie zobrazenie (F3 až F7 na klávesnici počítača), 10 – tlačidlo „ďalej“ na ďalšie zobrazenie*

Funkčné klávesy (9) majú význam na zobrazenie informácií na monitore. Podľa rôznych zobrazení možno zadávať potrebné informácie do riadiaceho systému stroja, ako sú korekcie nástrojov, posunutia nulového bodu stroja, editácia programu, simulácia programu atď. Ich význam a pôsob zadávania budeme v ďalšom texte objasňovať.

11.3 Význačné body obrobku a obrábacieho stroja

Na zjednodušenie opísania dráh pohybu nástroja je výhodné požiť konštrukčný výkres súčiastky (obr. 11.7). Preto je vhodné zaviesť:



Obr. 11.7 Významné body v pracovnom priestore stroja

Nulový bod stroja (M)

Je určený výrobcom stroja a je to nemenný vzťažný bod a všetky merania na stroji vychádzajú z tohto bodu. Nachádza sa v priesečníku osi Z a čelnej plochy vretena stroja. Od tohto bodu vychádzajú aj ďalšie body, ktoré sa definujú v riadiacom systéme stroja alebo v programe, aby uľahčili obsluhu a programovanie stroja.

Referenčný bod (R)

Je pevne určený koncovými spínačmi v pracovnom priestore stroja. Po nabehnutí na tieto spínače dostane riadiaci systém informáciu o presnej polohe saní vzhľadom k nulovému bodu stroja. Po zapnutí stroja musí obsluha stroja nabehnúť na tieto body v oboch súradniciach.

Nulový bod obrobku (W)

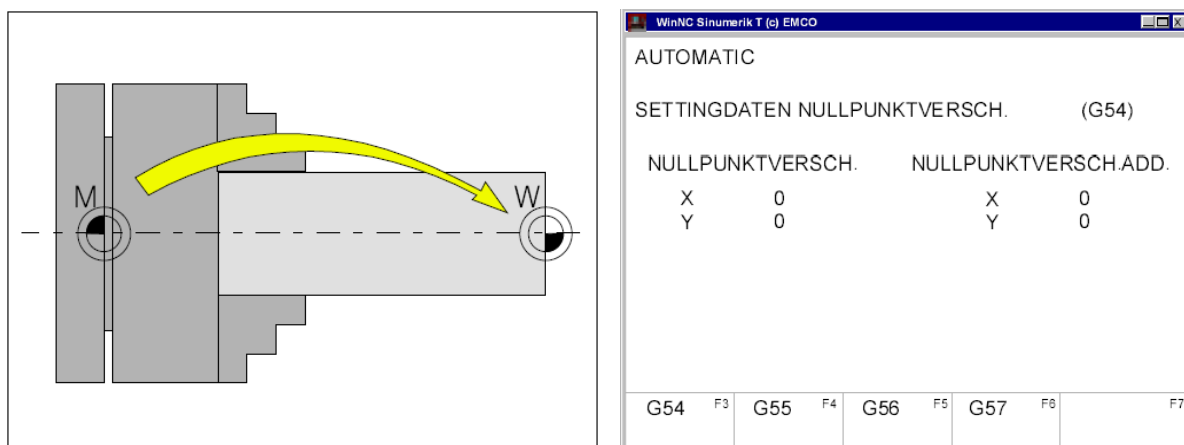
Je definovaný ako východiskový bod súradnicového systému obrobku. Od tohto bodu sú často kótované ďalšie body tvaru (obrysu) súčiastky a možno ho podľa potrieb presúvať v rámci programu. Zjednodušuje sa zápis a kontrola programu.

Vzťažný bod nástroja (N)

Bod, ktorý je daný upnutím nástroja tak, že hodnoty od tohto bodu dávajú priamo rozmery nástroja po jeho upnutí do držiaku nástroja. Je pevne určený výrobcom stroja.

11.4 Posunutie nulového bodu stroja

Ako už bolo spomenuté, že nulový bod stroja leží na osi rotácie vretena a jeho čelnej ploche. Ako východiskový bod pre programovanie je táto poloha nevhodná. Preto je tento bod potrebné presunúť napr. do bodu, odkiaľ sú kótované súradnice vyrábanej súčiastky (W). V údajoch SETTINGDATEN NULLPUNKTVERSCH. možno nastaviť 4 posunutia nulového bodu stroja (G54 – G57). Na tieto posunutia sa možno v programe odvolať, napr. G54 a nulový bod sa presunie z M do W podľa nastavenej hodnoty obsluhou stroja (obr. 11.8).



Obr. 11.8 Posunutie nulového bodu stroja

Posúvať nulový bod možno aj funkciami G58 a G59, keď sa priamo udáva hodnota posunutia v osi Z. Hovoríme tomu programovateľné presúvanie nulového bodu. Ďalšie informácie budú v opise G funkcií.

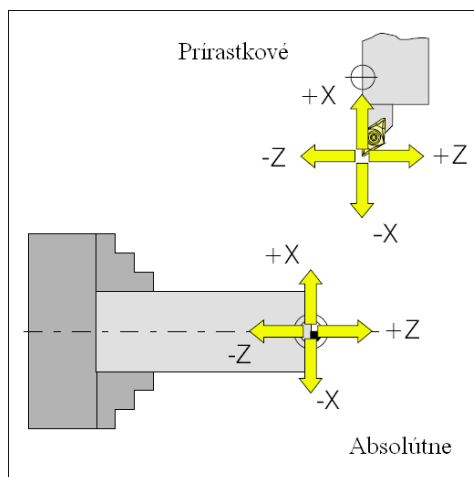
11.5 Súradnicový systém stroja

Súradnica X leží v smere priečných saní a súradnica Z v smere pozdĺžnych saní. Označenie smeru pohybu „-“ (mínus) opisujú pohyby nástroja smerom k obrobku, označenie pohybovej osi znamienkom „+“ (plus) znamená, ako keby sa nástroj vzdďaľoval od obrobku.

Súradnicový systém pre programovanie v absolútnych hodnotách (absolútne programovanie)
Počiatok súradnicového systému stroja leží v nulovom bode stroja „M“ príp. po programovom posunutí môže ležať v nulovom bode obrobku „W“. Cieľové body pohyby nástroja sa potom zadávajú ako príslušné vzdialenosti v osiach X a Z . Vzdialenosti v osi X sa zadávajú ako priemery obrobku (hovor. súčiastka sa programuje na priemer).

Súradnicový systém pre programovanie v prírastkových hodnotách (prírastkové programovanie)

Počiatok súradnicového systému leží vo vzťažnom bode nástroja „N“ príp. po výbere nástroja podľa programu môže tento bod byť aj hrot nástroja. Pri prírastkovom programovaní sa budú programovať skutočné polohy nástroja (z bodu do bodu), ktoré má nástroj zaujať k predchádzajúcej polohe. V tomto prípade sa bude X – ová hodnota zadávať ako polomer (obr. 11.9).



Obr. 11.9 Absolútne súradnice sa vzťahujú na pevnú polohu počiatku súradnicového systému, prírastkové hodnoty na aktuálnu polohu nástroja

11.6 Vkládanie posunutia nulového bodu

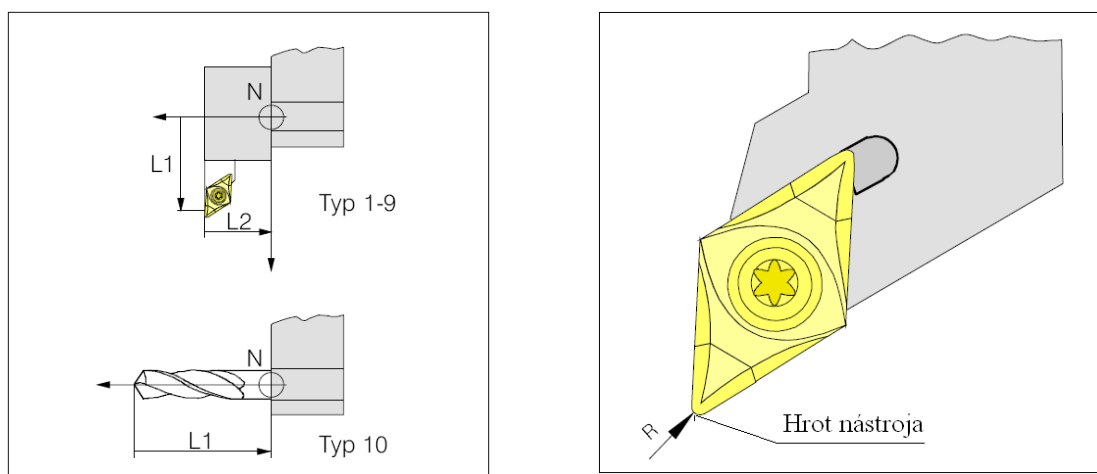
Riadiaci systém stroja umožňuje zadávať 4 možné posunutia nulového bodu stroja, napr. ak použijeme rôzne upnutia súčiastky (obr. 11.8). Postup pri vkladaní:

- Stlačte pri ľubovoľnom režime prevádzky stroja funkčný kláves „SETTINGDATEN“.
- Stlačte potom funkčný kláves „NULLPKT. VERSCH.“,
- Na obrazovke sa objaví menu na vkladanie posunutia nulového bodu G54. Jednotlivé posunutia G54 – G57 možno zvoliť príslušnými funkčnými klávesmi.
- Ako posunutie nulového bodu NULLPUNKTVERSCH. sa môžu použiť napr. hodnoty $X = 0$, $Z =$ dĺžka skľučovadla.
- Korekcie k týmto hodnotám sa môžu vložiť pod NULLPUNKTVERSCH. ADD. Tieto parametre sa pripočítajú k hodnotám posunutia nulového bodu.

- Na pohyb kurzora používajte príslušné tlačidlá. 
- Na vloženie novej hodnoty sa používa tlačidlo .

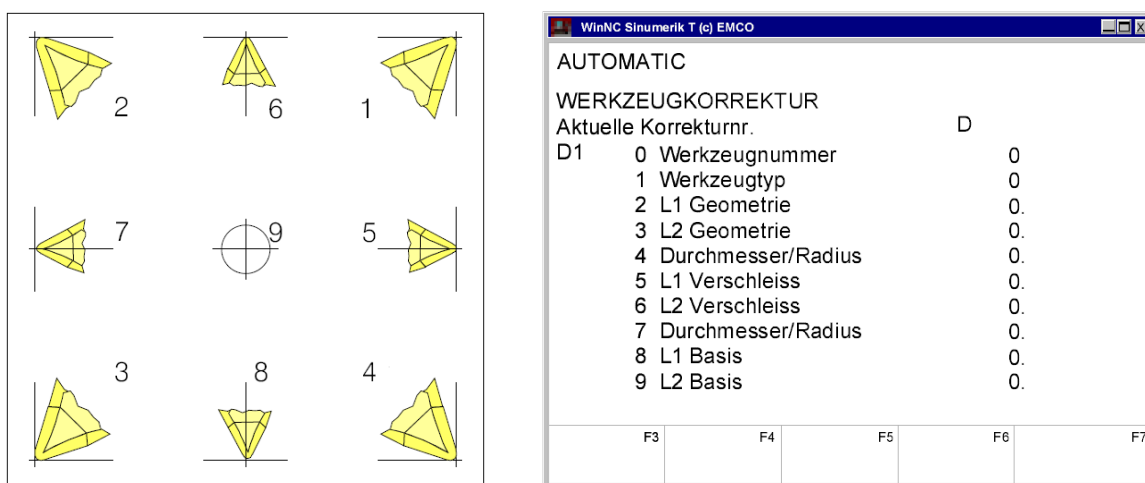
11.7 Zistenie rozmerových parametrov nástrojov

Zmysel a význam rozmerov nástrojov tkvie v tom, že program používa hrot nástroja alebo iný bod na určenie jeho rozmerov a nie vzťažný bod nástroja. Každý nástroj, ktorý sa používa na obrábanie, sa musí odmerať. V našom prípade to znamená, že sa zistí vzdialenosť vzťažného bodu nástroja od hrotu nástroja, príp. iného bodu vzťahujúceho sa na rozmer nástroja (obr. 11.10).



Obr. 11.10 Charakteristické rozmery nástrojov – sústružnícky nôž a vrták na zadávanie rozmerov nástrojov. R – polomer hrotu nástroja

Charakteristické rozmery nástrojov sa ukladajú do riadiaceho systému ako tzv. rozmerové korekcie nástrojov ako aj polomer hrotu a orientácia hlavnej reznej hrany (obr. 11.11). Každé korekčné číslo D1 – D99 odpovedá jedného nástroju.



Obr. 11.11 Polohy hrotov nástrojov podľa orientácie hlavných rezných hrán (typy nástrojov) a dialógové okno na vkladanie parametrov korekcií nástrojov

Voľba korekčného čísla je ľubovoľná, musí sa ale pri kompenzácii údajov o rozmeroch nástroja uviesť s príslušným nástrojom, ktorý je v zásobníku nástrojov na stroji ($T1 - T8$).

Príklad. Dĺžkové korekcie nástrojov sú zapamätané pod korekčným číslom 41. Nástroj je upnutý vo výmenníku nástrojov na mieste č. 4. Vyvolanie korekcie v programe je **T4 D41**. Adresa T označuje polohu nástroja v zásobníku a adresa D príslušné parametre korekcií.

Korekcie dĺžok nástrojov sa môžu zisťovať poloautomaticky, poloha reznej hrany a polomer hrotu nástroja musí vložiť obsluha stroja.

Poloha hlavnej reznej hrany musí byť zadaná vždy a určíme ju tak, ako je nástroj umiestnený v pracovnom priestore stroja po upnutí do nožovej hlavy. Hodnota polomeru hrotu nástroja je potrebná iba vtedy, ak pre daný nástroj sa v programe používa príkaz na kompenzáciu polomeru hrotu nástroja ($G41, G42$).

Podľa obr. 11.10 možno pre typy nástrojov od 1 - 9 určiť tieto hlavné rozmery:

$L1$ – rozmer nástroja v X – vej osi z bodu „N“ k polomeru hrotu nástroja (absolútne),

$L2$ – rozmer nástroja v Z – vej osi z bodu „N“ k polomeru hrotu nástroja (absolútne),

R – polomer hrotu nástroja.

Pre typ nástroja 10 (napr. vrták, strojový závitník, vnútorný sústružnícky nôž a pod.) sa zadáva:

$L1$ – dĺžka nástroja v Z – vej osi z bodu „N“ k polomeru hrotu nástroja (absolútne).

Pod pojmom „*Verschleiß*“ rozumieme rozmerové opotrebenie nástroja po viacnásobnom použití. Zadaním hodnôt môžeme zároveň opraviť aj chybné zadanie korekcií, čo zistíme po výrobe prvého kusa vo výrobnej dávke. Vložené hodnoty dĺžok a polomeru hrotu sa k pôvodným pripočítajú alebo odpočítajú.

X +/-prírastkovo (inkrementálne) v priemere

Z +/-prírastkovo

R +/-prírastkovo.

Príklad. Podľa programu sa mala vyrobiť vonkajšia rotačná plocha s priemerom 20 mm. Vyrobila sa ale s priemerom 20,12 mm. Do $L1$ *Verschleiß* zadáme nameranú odchýlku 0,12.

11.8 Vkládanie údajov o nástroji

Pri každom spôsobe prevádzky stroja môžeme stlačiť funkčný kláves WERKZ.KORR. Objaví sa dialógové okno podľa obr. 11.11, v ktorom môžeme zadávať parametre o nástroji. Postup pri zadávaní:

- Zvoľte si požadované číslo korekcie nástroja tlačidlami  a  na riadiacom paneli alebo priamo vložte číslo korekcie následne stlačte tlačidlo „Hl'adat“ (napr.  ).
- Umiestnite kurzor tlačidlami    a  na požadovaný parameter, ktorý chcete vložiť a napíšte požadovanú hodnotu korekcie numerickou časťou klávesnice. Zadané hodnoty sa objavujú na obrazovke.
- Zadané hodnoty korekcií sa zadávajú do pamäti korekcií tlačidlom . Kurzor sa presunie na nasledujúcu pozíciu na zadávanie a po zadaní poslednej hodnoty na sa objaví okno na zadávanie korekcií pre ďalší nástroj. Opravu zdaných údajov možno

urobiť výmenou za iné stlačením tlačidla , prípadne zadané údaje vymazať tlačidlom .

Zisťovanie rozmerov nástroja metódou zaškrabnutia pomocou papiera

Ručný výpočet

Postup:

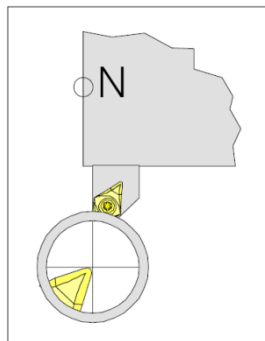
- Upnite obrobok s presne odmeraným priemerom do skľučovadla.
- Nastavte na paneli riadiaceho systému spôsob prevádzky stroja JOG.
- Nabehnite s čelnou plochou nožovej hlavy (je to prakticky vzťažný bod nástroja N v osi Z) na čelo upnutého obrobku (vreteno sa neotáča) tak, aby papier medzi obrobkom a hlavou ostal zachytený. Aby nedošlo k nárazu, redukujte rýchlosť posuvu na 1%.
- Odčítajte aktuálnu a zaznamenajte sa polohu saní v osi Z z obrazovky, odíďte od obrobku a natočte nožovú hlavu na prvý meraný nástroj.
- Nabehnite nástrojom na čelnú plochu obrobku tak, že vložený papier sa zachytí. Rýchlosť posuvu pritom redukujte na 1%.
- Rozdiel medzi teraz získanou aktuálnou polohou saní $Z1$ a predchádzajúcou hodnotou udáva hodnotu korekcie nástroja v osi Z : $L2 = Z1 - Z$.
- Týmto nástrojom sa teraz priblížite k rotačnej ploche obrobku tak, že sa hárok papiera, ktorý je vložený medzi obrobok a nástroj zachytí.
- Odčítajte aktuálnu polohu saní z obrazovky v X -ovej osi a zaznamenajte si ju: $X1$.
- Rozdiel medzi polohou saní $X1$ a a priemerom obrobku D určuje korekciu nástroja v osi X a platí: $L1 = \frac{X1 - D}{2}$.
- Vložte hodnoty $L1$ a $L2$ ako aj typ nástroja (poloha hlavných rezných hrán) pod odpovedajúce číslo korekcie.
- Otočte nožovú hlavu na nasledujúci upnutý nástroj a činnosť opakujte.

Automatický výpočet

- Upnite obrobok s presne odmeraným priemerom do skľučovadla.
- Nastavte na paneli riadiaceho systému spôsob prevádzky stroja JOG.
- Nabehnite s čelnou plochou nožovej hlavy (je to prakticky vzťažný bod nástroja N v osi Z) na čelo upnutého obrobku (vreteno sa neotáča) tak, aby papier ostal zachytený medzi obrobkom a nožovou hlavou. Aby nedošlo k nárazu, redukujte rýchlosť posuvu na 1%.
- Odčítajte a zaznamenajte si aktuálnu polohu saní v osi Z z obrazovky a zapíšte ju do riadku vkladania.
- Stlačte funkčný kláves AUTOM WZK.
- Kurzor presuňte na riadok vkladania „Referenz Z “ a aktuálnu polohu Z , ktorá je napísaná v riadku vkladania, vložte ako referenciu tlačidlom .
- Vložte priemer obrobku ako „Referenz X “.
- Odíďte nožovou hlavou od obrobku a otočte ju na prvý nástroj do pracovnej polohy.
- Nástrojom nabehnite na čelnú plochu obrobku, vložte papier a redukovaným posuvom zachyťte papier medzi nástrojom a obrobkom.

- Vložte typ nástroja (podľa polohy reznej hrany) do dialógového okna na vkladanie korekcií nástrojov.
- Stlačte funkčný kláves AUTOM WZK.
- Vložte číslo korekcie nástroja, vložte NV-Nr.=53 a stlačte funkčný kláves SPEICH Z-ACHSE.
- Nástrojom 1 sa priblížite k vonkajšej rotačnej ploche, vložte papier medzi nástroj o obrobok a redukovaným posuvom sa približujte, kým sa papier nezachytí.
- Stlačte funkčný kláves SPEICH X-ACHSE.
- Otočte nožovú hlavu a ďalším upnutým nástrojom postup opakujte.

Poznámka: Pri osových nástrojoch (vrták, strojový závitník a pod.) predstavuje $L1$ dĺžku nástroja v osi Z (obr. 11.12).



Obr. 11.12 Nabehnutie nástrojom na nitkový kríž optického meracieho prístroja

Zisťovanie rozmerov nástroja optickým prístrojom

Zisťovanie rozmerov nástroja optickým prístrojom je v princípe rovnaké ako zaškrabnutím s využitím papiera. Optická metóda je presnejšia, vylúčia sa dotyky a nástroj sa v optickom prístroji zväčšene zobrazí.

Ručný výpočet

- Upnite optický prístroj na teleso skľučovadla.
- Zvoľte druh prevádzky stroja na paneli riadiaceho systému JOG.
- Vložte tzv. referenčný nástroj do nožovej hlavy na pozíciu 1 a upnite ho.
- Otočte nástrojovou hlavou na pozíciu 1 tak, aby bola v pracovnej polohe.
- Hrotom referenčného nástroja nabehnite tak, aby bol viditeľný na nitkovom kríži optického prístroja. Vzhľadom na konštrukčné riešenie optického prístroja, bude hrot nástroja zobrazený zrkadlovo.
- Odčítajte okamžitú polohu saní z obrazovky, odčítajte ju a zaznamenajte.
- Hrot referenčného nástroja leží v osi X a v osi Z je vyloženie 20 mm + 2 mm vyčnieva zo samotného držiaka. Platí potom: $X_N = X$ a $Z_N = Z - 22$.
- Otočte nožovú hlavu s meraným rezným nástrojom do pracovnej polohy a nabehnite s ním na nitkový kríž optického prístroja a polohu si zaznamenajte.
- Rozdiel predtým nabehnutej polohy saní s referenčným nástrojom (X_N, Z_N) a polohy saní s rezným nástrojom udáva hodnoty korekcií $L1$ a $L2$. Odčítané hodnoty v osi X sú hodnoty priemeru, preto je potrebné vypočítanú hodnotu deliť 2, pretože $L1$ sa musí zadať v absolútnych dĺžkach a riadiaci systém ukazuje hodnoty priemerov.
- Otočte ďalší rezný nástroj do pracovnej polohy a postup opakujte.

Automatický výpočet

- Nabehnite referenčným nástrojom na nitkový kríž rovnako ako v predchádzajúcom prípade.
- Hrot referenčného nástroja leží v osi X a v osi z je vyloženie 20 mm + 2 mm vyčnieva zo samotného držiaka. Platí potom: $X_N = X$ a $Z_N = Z - 22$.
- Súradnice Z_N a X_N uložte do jednej z funkcií (G54 – G57).
- Stlačte funkčný kláves AUTOM WZK.
- Otočte nožovú hlavu s meraným rezným nástrojom do pracovnej polohy a nabehnite s ním na nitkový kríž optického prístroja.
- V dialógovom okne vložte polohu hrotov nástroja podľa reznej hrany.
- Stlačte funkčný kláves AUTOM WZK.
- Vložte číslo korekcie nástroja, vložte odpovedajúce NV-Nr.=(54 – 57) (nie G53) a stlačte funkčný kláves SPEICH Z-ACHSE a SPEICH X-ACHSE.
- Otočte ďalším nástrojom do pracovnej polohy, nabehnite ním na nitkový kríž a postup opakujte.

Poznámka: Pri osových nástrojoch (vrták, strojový závitníka pod.) predstavuje L1 dĺžku nástroja (obr. 11.10).

11.9 Obsluha stroja

Prehľad druhov prevádzky

AUTOMATIC 	Pri tomto režime prevádzky sú vety programu na opracovanie súčiastky vyvolávané riadiacim systémom stroja postupne jedna za druhou a následne vyhodnocované. Všetky korekcie rezných nástrojov sú započítavané pri behu programu.
JOG 	V tomto režime možno manuálne pohybovať pozdĺžnymi a priečnymi saňami (nástrojovou hlavou). V pomocnom druhu prevádzky ÜBERSPEICHERN (stlačením funkčného tlačidla) možno zapnúť vreteno a otáčať nožovou hlavou.
MDI-AUTOMATIC 	V tomto režime možno vkladať vety programu do medzipamäte. Riadiaci systém spracuje vkladané vety a potom je informácia z medzipamäte odstránená pre nové vkladanie.
REFPOINT 	V tomto spôsobe prevádzky nabehnú pohyblivé časti stroja na referenčný bod. Po dosiahnutí referenčného bodu sa hodnota v pamäti nastaví na hodnotu súradníc referenčného bodu. Riadiaci systém týmto spôsobom pozná polohu nástroja v pracovnom priestore stroja. Na referenčné body je nutné nabehnúť po nasledujúcich situáciach: - po zapnutí stroja, - po prerušení dodávky prúdu, - po výzve „Referenzpunkt anfahren" alebo "Ref.-punkt nicht erreicht", - po kolízii alebo keď sa sane zastavia po preťažení (veľký programovaný posuv, veľká hĺbka rezu a pod.).

	Pri tomto režime sa môžu sane pohybovať pomocou smerových kláves o zvolený prírastok (1 10 000 v µm). Zvolený prírastok musí byť väčší, ako je najmenší programovateľný prírastok, ináč sa pohyb neuskutoční.
--	--

Nabehnutie na referenčný bod

Nabehnutím na referenčný bod sa synchronizuje riadiaci systém stroja so samotným strojom.

Postup pre nabehnutí na referenčný bod:

- Vyberte režim prevádzky stroja *REFPOINT*.
- Stlačte ľubovoľne jedno zo smerových tlačidiel na nabehnutie do referenčného bodu v príslušnom smere pohybových osí.
- Po dosiahnutí referenčného bodu bude poloha saní s nožovou hlavou zobrazená na monitore ako ich skutočná poloha v súradnicovom systéme stroja, t.j. ako poloha vzťažného bodu nástroja od nulového bodu stroja.
- Pri nabíehaní na referenčné body je potrebné venovať zvýšenú pozornosť na možnosť kolízie upnutých nástrojov v pracovnom priestore stroja.

Zložky s programami

Vytvorené programy na výrobu súčiastok (CNC programy) sa ukladajú do podzložky v zložke, do ktorej bol program inštalovaný (našom prípade PRG).

11.10 Vkládanie a editácia programu

Programy na výrobu súčiastok alebo podprogramy možno vkladať v režimoch prevádzky ako sú *JOG*, *AUTOMATIC*, *INC 1 ... INC 10 000* alebo *REFPOINT*.

Vyvolanie existujúceho alebo nového programu

Ak vyvoláte program, ktorý je uložený na pevnom disku v príslušnej zložke, program sa zobrazí na obrazovke a možno ho editovať. Ak program s daným menom neexistuje, obrazovka bude prázdna a možno zadávať nový program. Postup:

- Stlačte funkčný kláves *TEILEPROGRAMM* a následne funkčný kláves *EDIT*.
- Vložte znak % (číslo programu) alebo L(číslo podprogramu).
- Stlačte funkčný kláves *PROGR. WAEHLEN*. Zobrazia sa vety existujúceho programu.

Vkládanie vety

Príklad vkladania vety programu:

Vloženie čísla vety:

Vloženie prvého slova:

Vloženie druhého slova a ďalšieho slova:

Vloženie konca vety (LineFeed): alebo tlačidlo *ENTER* na klávesnici.

Vsunutie vety

Nastavte sa s kurzorom pred vetu, ktorá má nasledovať po vsunutej vete a vložte vetu, ktorá má byť vsunutá vyššie opísaným postupom.

Odstránenie vety

Nastavte kurzor pred vymazávanú vetu, napíšte číslo vety a stlačte tlačidlo .

Vsunutie slova

nastavte kurzor pred slovo vety, ktoré má nasledovať po vsunutom slove, vložte slovo (adresu a hodnotu) a stlačte tlačidlo vkladania .

Zmena slova

Nastavte sa kurzorom pred slovo, ktoré chcete zmeniť, napíšte slovo a stlačte tlačidlo .

Odstránenie slova

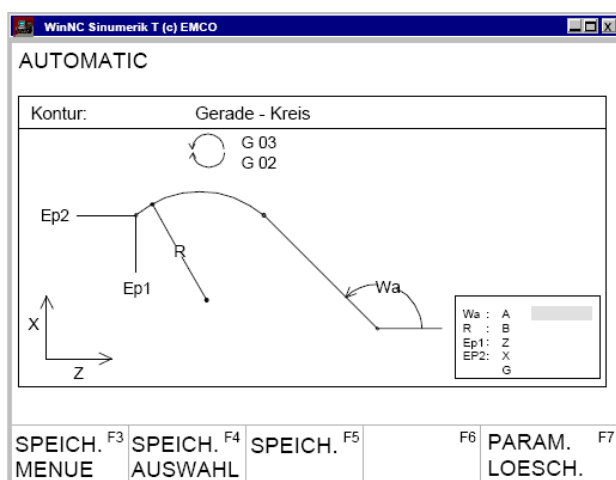
nastavte sa kurzorom pred slovo, ktoré chcete vymazať, napíšte adresu slova (napr. X) a stlačte tlačidlo na odstraňovanie .

Tvorba programu s podporou dialógového systému

V otvorenom programe možno vytvárať vety, prostredníctvom dialógového okna. Najčastejšie sa používajú G – funkcie, M – funkcie, opis kontúry, pracovné cykly a pod. Je možné programovať viacbodové obrysy bez toho, aby sme vedeli súradnice všetkých bodov vo vnútri obrysu.

Príklad. Programovanie kontúry (obrysu) priamka – kružnica.

- Stlačte funkčný kláves UNTERSTÜTZUNG.
- Stlačte funkčný kláves KONTUR.
- Stlačte funkčný kláves GERADE-KREIS.
- Zobrazí sa dialógové okno s grafickým názorným zobrazením obrysu priamka – kružnica (obr. 11.13).



Obr. 11.13 Dialógové okno na zadávanie obrysu priamka – kružnica

- Vkladajte hodnoty pomocou klávesnice v dialógovom okne.
- Ak vložíte viac ako jednu hodnotu do jednotlivých polí, môžete ich odstrániť funkčným klávesom PARAM. LOESCH.
- Stlačte funkčný kláves SPEICH, SPEICH MENÜ alebo SPEICH AUSWAHL, ak ste ukončili vkladanie údajov.
- Obrys so všetkými geometrickými údajmi sa uloží ako veta v programe súčiastky. Program automaticky pridá znak „koniec vety“ (LF) a zobrazí vloženú vetu.

Vloženie programu pomocou CAD/CAM systému

Riadiaci systém umožňuje preberať programy z CAD/CAM systémov. Možno to uskutočniť za týchto predpokladov:

- NC program musí byť napísaný vo formáte pre riadiaci systém, t.j. SINUMERIK 820.
- Názov súboru musí byť premenovaný. NC programy budú programom EMCO WinNC takto uložené:

%MPFxxxxhlavný program

%SPFxxxxpodprogram, kde je xxxx číslo programu). Napr. Premenujte pomocou Windows *TEIL1.81M* na *%MPF123*. Importujte program pomocou príkazu DATEN IMPORT (pozri príkaz Daten Eingabe/Ausgabe)

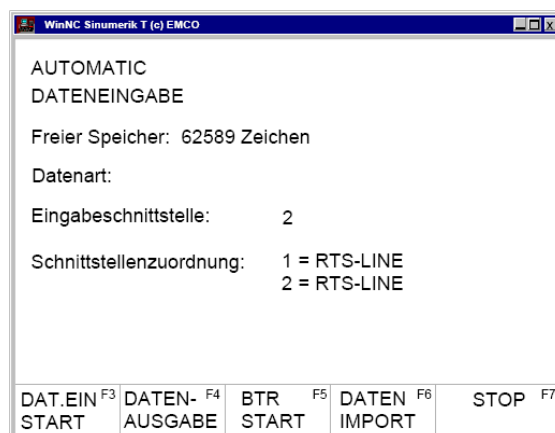
Činnosti s programom

- Stlačte funkčný kláves TEILE- PROGR.
- Stlačte funkčný kláves PROGR.- HANDHAB.
- V lište funkčných kláves sa zjavia príkazy COPY, RENAME a DELETE.

Ukážeme si príklad kopírovania existujúceho programu %88 pod iným názvom napr. %5. Najprv vložíme prostredníctvom klávesnice %88=%5 a stlačíme funkčný kláves COPY. Vytvorí sa kópia programu %88 pod menom %5. Program %88 sa zachová. Analogicky budeme postupovať pri premenovaní resp. odstraňovaní súborov.

11.11 Vstup a výstup údajov

Dialógové okno na vstup a výstup údajov je zobrazené na obr. 11.14.



Obr. 11.14 Dialógové okno na vstup údajov

Postup:

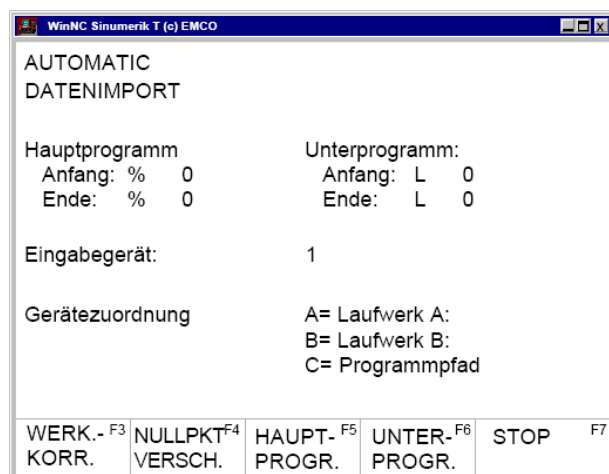
- Stlačte funkčný kláves DATEN EIN-AUS.
- Zobrazí sa dialógové okno podľa obr.6.14.
- Za príkazom „Eingabeschnittstelle“ môžeme uviesť sériové rozhranie 1 (COM1), alebo 2 (COM2), A (disketová jednotka A), B (disketová jednotka B), C (pevný disk) so zložkou programov na obrábanie súčiastok.

Vstup údajov cez COM1 / COM2

- Stlačte funkčný kláves DAT.EIN START, čím sa umožní vstup údajov.
- Na obrazovke sa vpravo hore objaví DIO (Data Input/Output). Pod „Datenart“ sa rozlíšia údaje podľa toho odkiaľ prichádzajú.
- Funkčným klávesom STOP sa môže načítavanie údajov prerušiť, stlačením DAT.EIN START sa načítavanie údajov obnoví.

Import údajov

Funkčným klávesom DATENIMPORT možno údaje načítať z diskových jednotiek A, B alebo C. Dialógové okno na uskutočnenie tejto činnosti je na obr. 11.15.

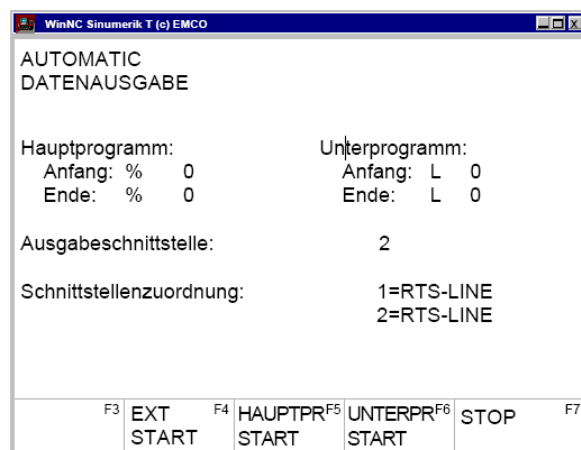


Obr. 11.15 Dialógové okno na import údajov

- Stlačte funkčný kláves DATENIMPORT.
- Vložte označenie diskovej jednotky (Eingabegerät).
- Prenos programov na výrobu súčiastok vykonáme potom nasledovne: V okne pod príkazmi *Hauptprogramm* resp. *Unterprogramm* pod položkou *Anfang* vložíme názov prvého programu, ktorý sa má načítať a pod položkou *Ende* číslo posledného programu, ktorý má byť ešte načítaný. Potom stlačíme funkčný kláves HAUPTPROGR. resp. UNTERPROGR, čím sa začne načítavanie údajov.

Výstup údajov

Dialógové okno na výstup (export) údajov je na obr. 11.16.



Obr. 11.16 Dialógové okno na výstup údajov

Postup pri exportovaní údajov.

- Stlačte funkčný kláves DATEN AUSGABE a zobrazí sa dialógové okno podľa obr.
- Pod položkou „Ausgabeschnittstelle“ možno zadať sériové rozhranie alebo názov diskovej jednotky.
- Ak sú údaje na disketu odosielané, budú údaje odoslané v rovnakom formáte ako na sériové rozhranie. Tieto údaje musia byť načítavané cez DATENIMPORT a nesmú byť kopírované priamo do programovej zložky.

11.12 Beh programu

Štart programu obrábania súčiastky

Pred samotným štartom programu súčiastky sa musí najprv riadiaci systém stroja nastaviť na samotné spustenie programu. Postup:

- Zvoľte si režim prevádzky AUTOMATIC.
- Zadajte postupne číslo programu stláčaním príslušných tlačidiel na paneli systému, napr. ak je číslo programu %79, potom postupujeme: [%] [↩] [7] [9] [↩].
- Na záver stlačte tlačidlo na paneli [↩].

Hlásenia počas behu programu

V hornom riadku obrazovky sa objavia vedľa spôsobu prevádzky AUTOMATIC tieto hlásenia:

HALT: AUTO unterbrochen

Spôsob prevádzky sa zmenil alebo sa stlačilo tlačidlo [⏏].

HALT: Einzelsatz

V režime prevádzky, keď program beží po jednotlivých vetách, možno v programe po jednotlivých vetách pokračovať stláčaním tlačidla [↩].

HALT: Pr. Halt M00, M01

Riadiaci systém reaguje na programované zastavenie behu programu (otvorenie dverí, upnutie súčiastky a pod.). V programe možno pokračovať stlačením tlačidla [↩].

HALT: Einlesefrei

Jedná sa o výstupný signál PLC. Aktuálna veta ešte celkom nevykonala napr. pri výmene nástroja. Ďalšia veta programu sa spracuje až po vykonaní predchádzajúcej.

HALT: Verweilzeit

Priebeh programu sa preruší na čas naprogramovaného času (tzv. časová výdrž).

FST

Toto sa zobrazí, keď PLC zastaví program pri určitých operáciach (výmena nástroja).

Ovplyvnenie priebehu programu

Ak stlačíte nižšie opísané funkčné klávesy, môžete bežiacie programy ovplyvňovať.

- Stlačte funkčný kláves PROGR.- BEEINFL v režime prevádzky AUTOMATIK alebo MDI-AUTOMATIC.
- V riadku menu sa objavia nasledovné funkčné klávesy:
- AUSBL. JA-NEIN (preskočiť vetu)
- PROBEL. JA-NEIN (skúšobný beh)
- PR.HALT. JA-NEIN (programované zastavenie)
- DEK-ES. JA-NEIN (dekódovanie jednotlivých viet).
- Voľba týchto funkcií sa aktivuje stlačením príslušných funkčných kláves, deaktivovanie opätovným stlačením.

Preskočiť vetu (AUSBL. JA-NEIN)

Ak sa bude pred číslom vety vyskytovať znak / (lomítko), taká veta sa pri behu programu nevykoná.

Skúšobný beh (PROBEL. JA-NEIN)

Pri odladzovaní programu sa môže táto funkcia aktivovať. Vo všetkých vetách, v ktorých je programovaný posuv (*G01, G02, G03, G33, ...*), sa bude realizovať posuv naprogramovaný pre skúšobný beh programu. Vretno sa neotáča. Skúšobný posuv sa môže nastaviť v SETTING DATEN.

Programované zastavenie (PR.HALT. JA-NEIN)

Ak je v programe funkcia M01, tak sa program nezastaví. Ak funkčným tlačidlom nastavíme hodnotu JA, tak sa program vo vete s funkciou M01 zastaví.

Dekódovanie jednotlivých viet (DEK-ES)

Táto funkcia pôsobí podobne, ako funkcia režimu prevádzky programu po jednotlivých vetách (*Einzelsatz*). Ak túto funkciu aktivujeme (JA), bežiaci program sa po každej vete, v ktorom dekodovanie prebieha, sa zastaví. Stlačením tlačidla  program môže pokračovať. Na rozdiel od režimu po vetách (*Einzelsatz*) sa program zastaví aj pri výpočtových vetách. Použitie: Od testov k cyklom.

Prepísanie záznamu

Funkciou ÜBERSPEICHERN môžeme jednu alebo viacero hodnôt meniť v medzipamäti. Na prepísanie záznamu sa musí program zastaviť. Postup:

- Stlačte tlačidlo .

- Rozšírite riadok menu tlačidlom  a stlačte funkčný kláves UEBER- SPEICH.
- Teraz môžete vkladať nové hodnoty na určenie polohy nástroja *T*, počet otáčok vretena *S* a pomocné funkcie *M*.
- Potvrďte stlačením tlačidla  aktivizáciu zmien a program pokračuje ďalej.
- Program teraz beží s novými hodnotami alebo sa opätovným použitím ÜBERSPEICHERN znova môžu zmeniť.

Predbehnutie vety

Touto funkciou môžeme vstúpiť na ľubovoľné miesto programu. Pri použití tejto funkcie (*Satzvorlauf*) sa vykonávajú rovnaké výpočty ako pri normálnom behu programu, akurát sance sa nepohybujú.

- Stlačte tlačidlo RESET .
- Zvoľte režim prevádzky AUTOMATIC
- Rozšírite riadok menu tlačidlom  a stlačte funkčný kláves SATZ- VORLAUF.
- Vložte % pre hlavný program príp. L pre podprogram a stlačte tlačidlo .
- Vložte číslo programu pomocou klávesnice resp. číslo podprogramu a stlačte tlačidlo .
- Vložte číslo vety, do ktorej chcete vstúpiť a stlačte tlačidlo .
- Stlačte funkčný kláves START.
- Tlačidlom na paneli systému  aktivujte beh programu.

Prerušenie programu

1. Spôsob

Zmeňte spôsob prevádzky na režim prevádzky JOG alebo INC 1 ... INC 10 000. Po tejto zmene nemožno použiť RESET programu. Pohony sa zastavia po dosiahnutí programovaných polôh. Na obrazovke je poznámka: HALT: AUTO *unterbrochen* (prerušené).

2. Spôsob

Stlačte tlačidlo . Pohony sa zastavia po dosiahnutí programovaných polôh. Na obrazovke je poznámka: HALT: AUTO *unterbrochen* (prerušené).

Zobrazenie stavu programu

- Stlačte funkčný kláves DIAGNOSE.
- Stlačte funkčný kláves SW-STAND.

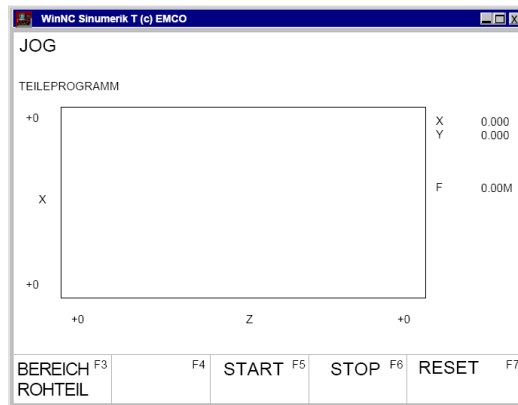
Zobrazí sa stav softvéru WinNC príp. pripojení užívateľa cez RS485.

11.13 Grafická simulácia behu programu

NC program môžeme graficky simulovať. Postup pri spustení simulácie:

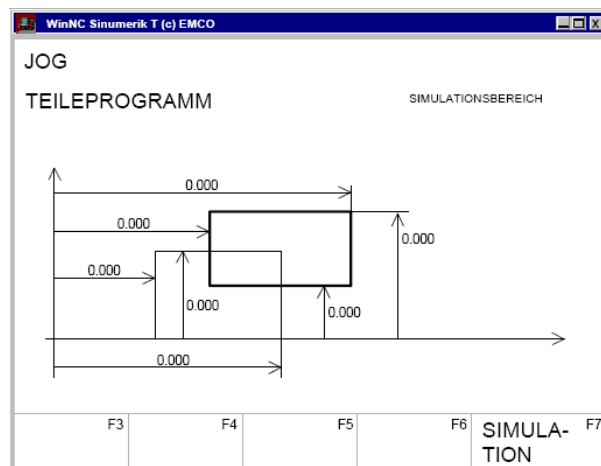
- Stlačte funkčný kláves TEILEPROGR. a potom EDIT.
- Ak nie je program už zobrazený na obrazovke, vložíme číslo programu a stlačíme funkčný kláves PROGR. WAEHLEN.
- Stlačením funkčného tlačidla SIMULATION sa spustí grafická simulácia programu v 2D zobrazení.
- Funkčné tlačidlo 3 DVIEW naštartuje 3D grafickú simuláciu Win 3D View. Táto možnosť nie je v základnom programovom vybavení.

- Na obrazovke sa pred 2D simuláciou zobrazí okno podľa obr. 11.17.



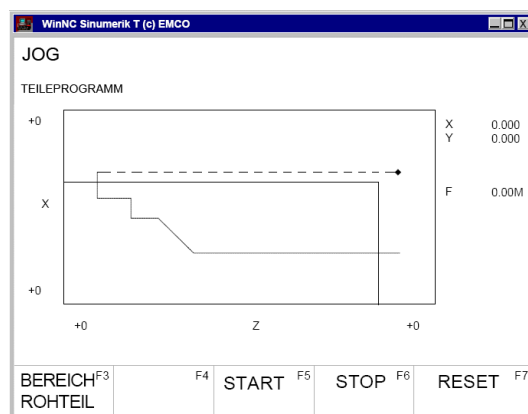
Obr. 11.17 Dialógové okno pred spustením 2 D simulácie

- Ak stlačíme tlačidlo BEREICH ROHTEIL, môžeme nastaviť veľkosť polovýrobok alebo výrez obrazovky na zobrazenie simulácie (obr. 11.18).
- Tenkou čiarou zobrazený pravouholník predstavuje polovýrobok, hrubou čiarou zobrazený pravouholník predstavuje obdĺžnik, v ktorom sa simulácia zobrazí. V dialógovom riadku bude zobrazený význam jednotlivých označených parametrov.
- Vložte rozmery pre polovýrobok a výrezu na zobrazenie simulácie.



Obr. 11.18 Dialógové okno pre rozmery polovýrobku a výrezu na zobrazenie simulácie

- Stlačením tlačidla funkčného tlačidla START sa spustí simulácia obrábania.
- Rýchloposuv je zobrazený čiarkovanou čiarou a pracovný posuv plnou čiarou.
- Stlačením STOP možno simuláciu zastaviť.
- Stlačením RESET možno simuláciu ukončiť.
- Pohyb rýchloposuvom je zobrazený čiarkovanou čiarou a pracovné pohyby plnou čiarou (obr. 11.19).



Obr. 11.19 Zobrazenie rýchloposuvu a pracovného posuvu pri grafickej simulácii obrábania

11.14 Programovanie

Zostavenie programu

Pre tvorbu programu platia zásady normy DIN 66025. Riadiaci systém postupne spracováva vety programu. Vety programu sa riadiacim systémom kontrolujú postupne sa vykonávajú. Ako už bolo uvedené, program sa skladá z viet, ktoré sa členia na slová. Slová obsahujú adresu (písmená) a kombináciu čísiel.

Adresy

%	číslo hlavného programu od 1 do 9999
L	číslo podprogramu od 1 do 9999
N	číslo vety programu od 1 do 9999
G	prípravná funkcia
D	korekcia nástroja od 1 do 49
F	funkcia posuvu
S	otáčky vretena, rezná rýchlosť
T	výmena nástroja otočením nožovej hlavy do pracovnej polohy
M	pomocná funkcia
A	uhol
B	polomer (so znamienkom +), zrazenie (so znamienkom -), polomer kružnice
I, K	parameter kružnice, stúpanie závitu
P	počet opakovaní podprogramu, faktor mierky
R	parameter pre cyklus
X, Z	súradnice polohy nástroja (X aj čas výdrže)
LF	koniec vety

Prehľad G – funkcií

G00	rýchloposuv
G01	lineárna interpolácia ¹
G02	kružová interpolácia v smere pohybu hodinových ručičiek
G03	kružová interpolácia proti smeru pohybu hodinových ručičiek
G04	čas výdrže ²

G09	presné zastavenie po vetách ²
G10	interpolácia v polárnych súradniciach, rýchloposuv
G11	interpolácia v polárnych súradniciach, lineárna interpolácia
G12	interpolácia v polárnych súradniciach, kruhová interpolácia v smere pohybu hodinových ručičiek
G13	interpolácia v polárnych súradniciach, kruhová interpolácia proti smeru pohybu hodinových ručičiek
G33	rezanie závitov
G40	zrušenie korekcie polomeru hrotu ¹
G41	korekcia polomeru hrotu nástroja vľavo
G42	korekcia polomeru hrotu nástroja vpravo
G48	opustenie obrysu v smere nábehu
G50	zrušenie mierky ¹
G51	zmena mierky
G53	zrušenie nulového bodu vo vete ²
G54	posunutie nulového bodu 1 ¹
G55	posunutie nulového bodu 2
G56	posunutie nulového bodu 3
G57	posunutie nulového bodu 4
G58	programovateľné presunutie nulového bodu 1
G59	programovateľné presunutie nulového bodu 2
G60	spôsob presného zastavenia
G62	zrušenie spôsobu presného zastavenia
G64	zrušenie spôsobu presného zastavenia ¹
G70	zadávanie rozmerov v palcoch
G71	zadávanie rozmerov v milimetroch
G90	programovanie v absolútnych súradniciach ¹
G91	prírastkové programovanie
G92	obmedzenie počtu otáčok ²
G94	posuv z minútu
G95	posuv v mm na otáčku ¹
G96	konštantná rezná rýchlosť, posuv v mm na otáčku
G97	konštantné otáčky ²
G147	mäkké nabehnutie na obrys lineárne ²
G148	mäkké opustenie obrysu lineárne ²
G247	mäkké nabehnutie na obrys v štvrtkruhu ²
G248	mäkké opustenie obrysu v štvrtkruhu ²
G347	mäkké nabehnutie na obrys v polkruhu ²
G348	mäkké opustenie obrysu v polkruhu ²

Poznámka: ¹stav po zapnutí stroja, ²pôsobí iba v danej vete

Prehľad M – funkcií

M00	prerušenie programu
M01	voliteľné prerušenie programu
M02	koniec hlavného programu

M03	spustenie otáčania vretena v smere hodinových ručičiek – doprava
M04	spustenie otáčania vretena proti smeru hodinových ručičiek – doľava
M05	zastavenie vretena ¹
M08	zapnutie prívodu reznej kvapaliny
M09	vypnutie prívodu reznej kvapaliny ¹
M17	koniec podprogramu
M20	pinola koníka dozadu
M21	pinola koníka dopredu
M25	upínač uvoľniť
M26	upínač zavrieť
M30	koniec hlavného programu
M52	zapnutie pohonu ďalšej osi
M53	vypnutie pohonu ďalšej osi
M71	zapnúť vyfukovanie
M72	vypnúť vyfukovanie ¹

Poznámka: ¹stav po zapnutí stroja, M – funkcie môžu byť vo vete maximálne 3 krát

Prehľad cyklov

L93	zapichovací cyklus
L94	cyklus odľahčovacieho zápichu
L95	cyklus sústruženia s tvorbou opačných kužeľov
L96	cyklus sústruženia bez opačných kužeľov
L97	cyklus sústruženia závitov
L98	cyklus vŕtania hlbokej diery
L99	cyklus sústruženia závitov
L971	cyklus sústruženia dlhých závitov

11.15 Opis prípravných G – funkcií

G00 – rýchloposuv

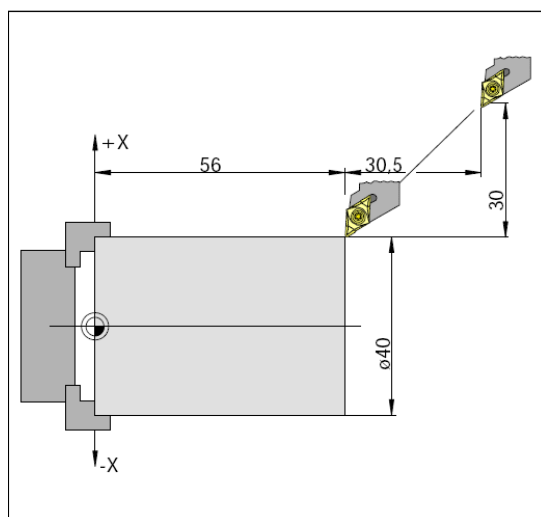
Formát: N... G00 X... Z...

Sane sa pohybujú maximálnou rýchlosťou do cieľového bodu. Môže to byť poloha na výmenu nástroja, východiskový bod na obrábanie a pod. Programovaný posuv zadaný pri adrese F bude po G00 ignorovaný. Rýchlosť posuvu možno korigovať prepínačom na riadom systému stroja.

Príklad (obr. 11.20):

Absolútne programovanie: (G90): N50 G00 X40 Z56

Prírastkové programovanie: (G91): N50 G00 X-30 Z-30.5



Obr. 11.20 Programovanie G00 – rýchloposuv

G01 – lineárna interpolácia

Formát: N... G01 X... Z... F...

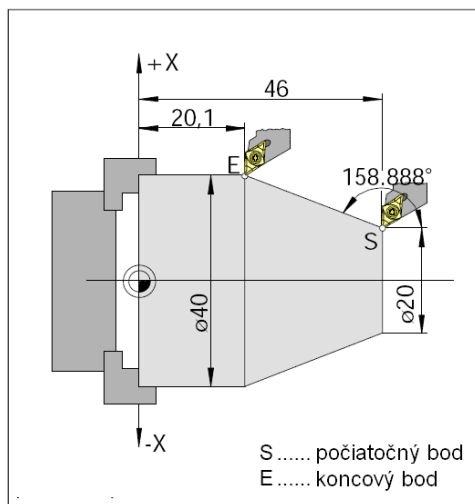
Nástroj sa pohybuje po priamke (čelné, pozdĺžne sústruženie, sústruženie kužeľov) programovanou rýchlosťou v [mm/ot] (stav po zapnutí stroja).

Príklad (obr. 11.21):

Absolútne programovanie (G90): N20 G01 X40 Z20.1 F0.1

alebo: N20 G01 X40 A158.888 F0.1

Prírastkové programovanie: (G91): N20 G01 X10 Z-25.9 F0.1



Obr. 11.21 Príklad na lineárnu interpoláciu G01

G02 – kruhová interpolácia v smere pohybu hodinových ručičiek

G03 – kruhová interpolácia proti smeru pohybu hodinových ručičiek

Formát: N... G02/G03 X... Z... I... K... F...

alebo

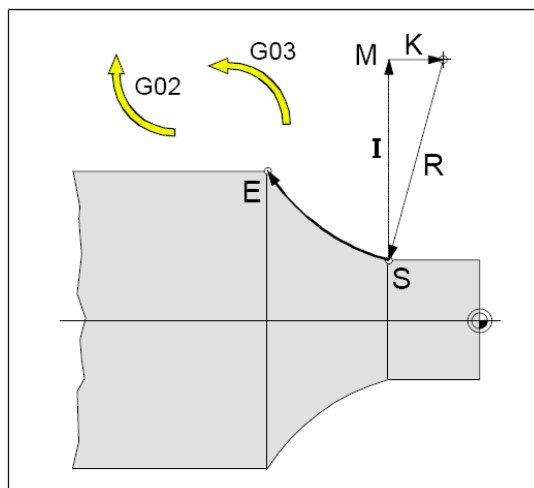
N... G02/G03 X... Z... B... F...

kde:

X, Z – koncový bod kruhového oblúka

I, K – prírástkové parametre oblúka (vzdialenosť počiatočného bodu oblúka k stredu kružnice, I v osi X, K v Z –ovej osi)

B – polomer oblúka (ak oblúk menší ako polkružnica, zadáva sa +B, ak je väčší ako polkružnica, tak potom – B), môže sa zadať namiesto parametrov I, K (obr. 11.22).



Obr. 11.22 Kruhová interpolácia G02 a G03.

Nástroj sa pohybuje po oblúku programovaným posuvom F z počiatočného bodu S do koncového bodu E. Poloha koncového bodu oblúka sa kontroluje, tolerancia je 100 µm (chyba výpočtu alebo zaokrúhľovania). Podľa normy DIN 66025 sa určovanie pohybu nástroja (G02, G03) sa uskutočňuje akoby za osou otáčania bez ohľadu na to, ako sa obrábanie uskutočňuje.

G04 – časová výdrž

Formát: N... G04 X/F... [sek]

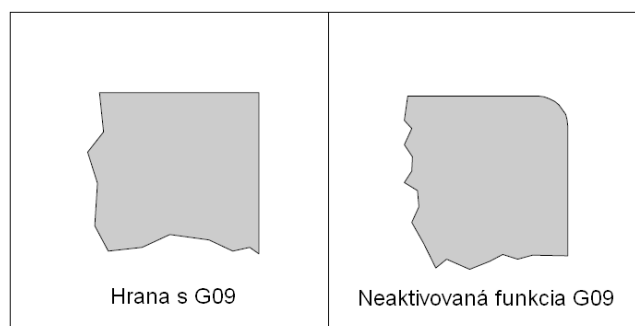
Nástroj sa zastaví po dobu programovanej časovej výdrže v poslednej dosiahnutej polohe. Programuje sa z technologických dôvodov ako napr. vyčistenie zápichu, presné zastavenie, prechody hrán a pod.

Príklad: N75 G04 X2.5 (čas výdrže = 2,5 sek)

G09 – presné zastavenie po vetách

Formát: N... G09

Nasledujúca veta programu sa spracuje až potom, keď je veta s G09 spracovaná a sane sú ubrzdzené (obr. 11.23). Tým sa dosiahne, že hrany na prechodoch plôch sa nezaoblia ale budú presne vyrobené. Funkcia pôsobí iba v danej vete.



Obr. 11.23 Tvary prechodových hrán s použitím a bez použitia funkcie G09

G10, G11, G12, G13 – interpolácia v polárnych súradniciach

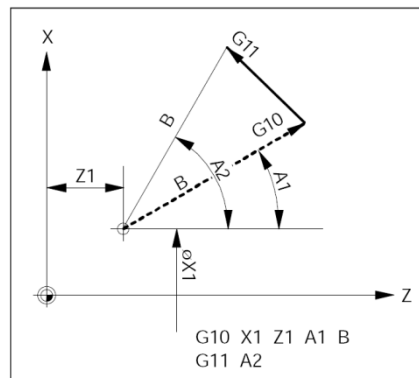
G10 - rýchloposuv

G11 - lineárna interpolácia

G12 - kruhová interpolácia v smere pohybu hodinových ručičiek

G13 - kruhová interpolácia proti smeru pohybu hodinových ručičiek

Ak sú oblúky na súčiastke zakótované uhlom a polomerom, môžeme ich potom programovať pomocou polárnych súradníc. Na určenie pohybu dráhy nástroja sa je potrebné zadať súradnice stredu oblúka, polomer a uhol (obr. 11.24). Stred oblúka sa zadáva v pravouhlých súradniciach (X, Z) a najprv sa musí zadať v absolútnych súradniciach. Potom možno použiť prírastkové hodnoty (G91), ktoré sa vzťahujú na posledný programovaný stred.



Obr. 11.24 Pohyby, ktoré sú zadané pomocou polárnych súradníc

Polomer sa programuje v adrese B. Uhol sa programuje v adrese A. Uhol 0° je + v smere tej osi, ktorá sa programovala pri zadávaní stredu. Uhol sa zadáva so znamienkom + (proti smeru pohybu hodinových ručičiek).

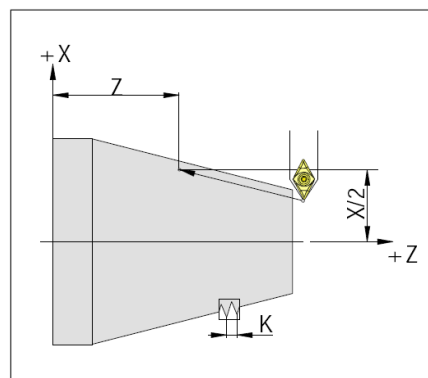
G33 – rezanie závitov

Formát: N... G33 X... Z... I/K...

kde: X, Z - súradnice koncového bodu závit

I/K - stúpanie závit, I v smere osi X, K v smere osi Z.

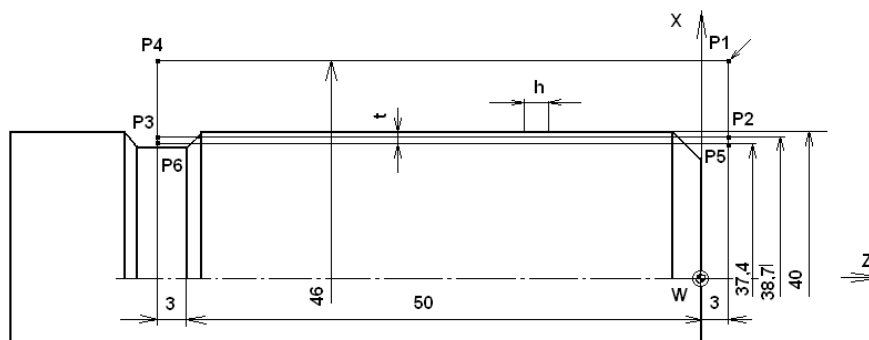
Pomocou tejto funkcie možno rezať závit pozdĺžne, kužeľové alebo priečne (na čelnej ploche) (obr. 11.25). Musíme vždy zadať stúpanie závit (I alebo K), ktoré odpovedá hlavného smeru závit (X alebo Z). Sklon závit je daný súradnicami koncového bodu závit. Pri vrúbkovaní možno použiť túto funkciu. Vzájomné ovplyvnenie posuvu a otáčok vretena je počas G33 neúčinné. Nábeh a výbeh závit je potrebné vyrobiť pred samotným rezaním závit.



Obr. 11.25 Parametre na rezanie závit

Príklad výroby závitů na vonkajšej valcovej ploche (obr. 11.26).

Stúpanie závitů: $h = 2 \text{ mm}$ (v programe parameter K), hĺbka závitů 1,3 mm, otáčky 800 ot/min.

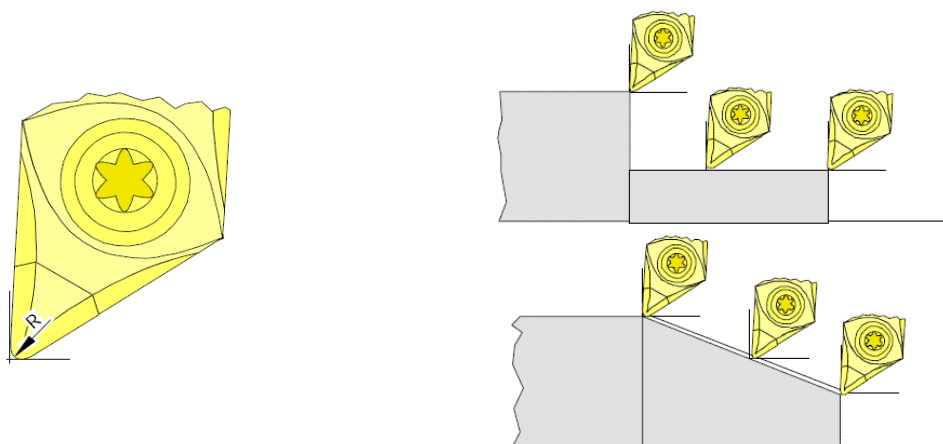


Obr. 11.26 Príklad na rezanie vonkajšieho závitů s využitím funkcie G33

Absolútne programovanie:		Prírastkové programovanie:	
N20	G90 S800 LF	N20	G91 S800 LF
N25	G00 X46 Z3 LF (P1)	N25	G00 X-... Z... LF (P1)
N30	X38.7 LF (P2)	N30	X-3.65 LF (P2)
N35	G33 Z-53 K2 LF (P3)	N35	G33 Z-56 K2 LF (P3)
N40	G00 X46 (P4)	N40	G00 X3.65 LF (P4)
N45	Z3 LF (P1)	N45	Z56 LF (P1)
N50	X37.4 LF (P5)	N50	X-4.3 LF (P5)
N55	G33 Z-53 K2 LF (P6)	N55	G33 Z-56 K2 LF (P6)
N60	G00 X46 LF (P4)	N60	G00 X4.3 (P4)

Korekcia polomeru hrotu nástroja

Pri zisťovaní rozmerov nástroja sa osovým krížom v mikroskope dotýkame hlavnej a vedľajšej reznej hrany (hodnoty v osi X a Z). Korekciu nástroja je ale potrebné opísať aj polomerom hrotu nástroja. Pri výrobe rotačných valcových alebo čelných plôch nevplýva polomer hrotu na rozmer súčiastky. Ale pri súčasnom pohybe v oboch osiach nesúhlasí poloha teoreticky získaného hrotu reznej hrany (polomer hrotu je rovný nule) so skutočnou polohou hrotu. Tým vzniknú na súčiastke odchýlky tvaru a rozmeru. Riadiaci systém automaticky kompenzuje veľkosť polomeru hrotu korekciou dráhy nástroja podľa nasledovného obrázka (obr. 11.27).



Obr. 11.27 Polomer hrotu nástroja a korekcie polomeru hrotu pri rôznych dráhach nástroja

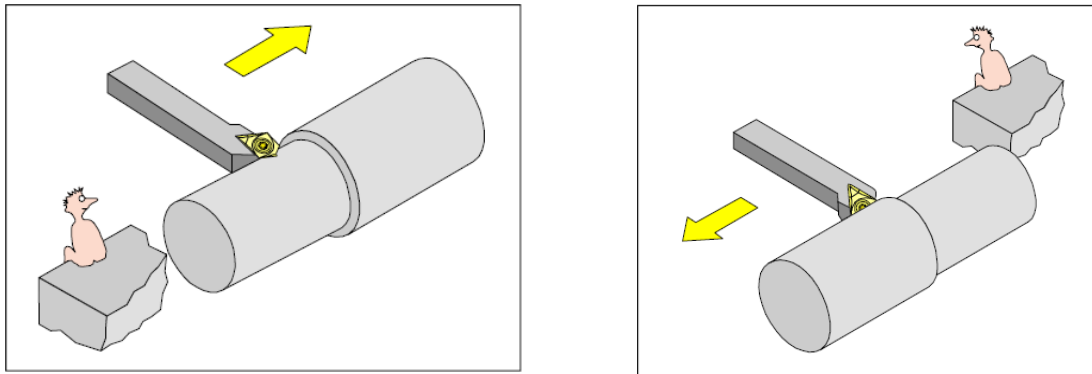
G40 – zrušenie korekcie polomeru hrotu nástroja

Touto funkciou sa zruší korekcia polomeru hrotu nástroja. Zrušenie je možné iba v súvislosti s pohybom po priamke. G40 sa môže programovať v jednej vete s G00 alebo G01 alebo v predchádzajúcej vete.

G41 – korekcia polomeru hrotu vľavo, G42 – korekcia polomeru hrotu vpravo

Ak sa nachádza nástroj vľavo od obrábaného obrysu súčiastky vľavo, je potrebné použiť funkciu G41. Priama zmena medzi G41 a G42 nie je povolená, najprv treba programovať zrušenie korekcie G40. Zadanie polomeru hrotu nástroja R a určenie polohy reznej hrany (typ nástroja) je povinné. Navolenie je nutné v súvislosti s funkciami G00 alebo G01.

Ak sa nachádza nástroj (pohľad v smere posuvu) vpravo od obrábaného obrysu súčiastky, tak je potrebné programovať funkciu G42 (obr. 11.28).



Obr. 11.28 Korekcia na kompenzáciu polomeru hrotu vľavo a vpravo

G48 – opustenie obrysu v smere nábehu

Formát: N... G48 X... Y... B...

kde: X,Z - súradnice bodu po opustení obrysu

B - dráha opustenie bez dotyku obrysu.

Aby sme zabránili značkám (stopám) po obrábaní, musíme k obrysu priblížiť alebo ho opustiť tangenciálne. Na priblíženie a opustenie sú k dispozícii nasledovné funkcie:

G147 – mäkké sa priblíženie k obrysu lineárne, G247 – mäkké priblíženie k obrysu v štvrtkruhu,

G347 – mäkké priblíženie k obrysu po polkruhu, G48 – opustenie obrysu, G248 – mäkké

opustenie obrysu v štvrtkruhu, G348 – mäkké opustenie obrysu v polkruhu. Pri vyvolaní

funkcie G48, musia byť G41 resp. G42 aktívne. G48 zapríčiní, že obrys bude opustený

rovnakým spôsobom ako sme k nemu priblížili. G48 je efektívna v danej vete. Po G48 je

automaticky aktívne funkcia G40.

G50 – zrušenie zmeny mierky, G51 zmena mierky

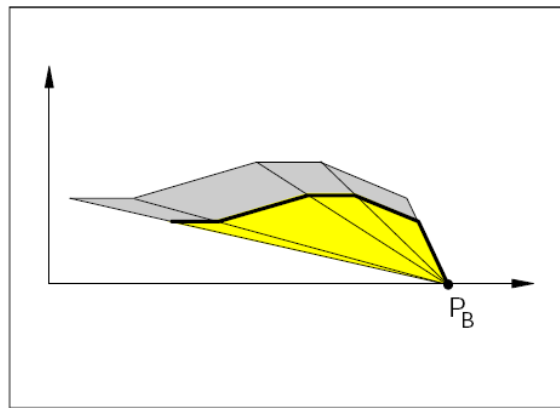
Formát: N... G50

N... G51 X... Z... P...

kde: X,Z - súradnice vzťažného bodu (P_B) pre zmenu mierky

P - mierka.

Súradnicami X a Z vzťažného bodu (P_B) sa zadá bod, v ktorom bude vykonaná zmena mierky zadaná parametrom P (obr. 11.29).



Obr. 11.29 Zväčšenie obrysu zmenou mierky

Ak nie sú zadané súradnice X a Z ($X = 0$, $Z = 0$), potom sa použije ako vzťažný bod nulový bod obrobku. Zmenou mierky sa prepočítajú nasledovné hodnoty:

- osové súradnice,
- parametre interpolácie,
- polomer zaoblenia/zrazenie
- programovateľný presun nulového bodu.

G53 – zrušenie posunutia nulového bodu vo vete

Formát: N... G53

Nulový bod stroja je určený výrobcom stroja. Na sústruhu je to os rotácie a čelo vretena. Úkony v rámci technologického postupu (výmena nástroja, poloha na meranie, ...) v určitej polohe v pracovnom priestore stroja. Funkciou G53 sa danej vete programu vyradia všetky presunutia nulového bodu (nie korekcie nástrojov) a všetky súradnice sa vzťahujú na nulový bod stroja.

G54 / G54 / G55/ G56 / G57 – presunutie nulového bodu stroja

Štyri polohy v pracovnom priestore stroja môžu byť považované ako nulové body stroja (napr. čelná plocha skľučovadla). Hodnoty presunutia nulového bodu sa zadávajú stlačením funkčného tlačidla *Settingdaten – Nullpunktverschiebung* a zadáním príslušných hodnôt. Tieto presunutia sa vyvolávajú v programe funkciami G54 až G57. Funkcia G54 je aktívna po zapnutí stroja aj bez zadania v programe.

G58 / G59 – programovateľné presunutie nulového bodu

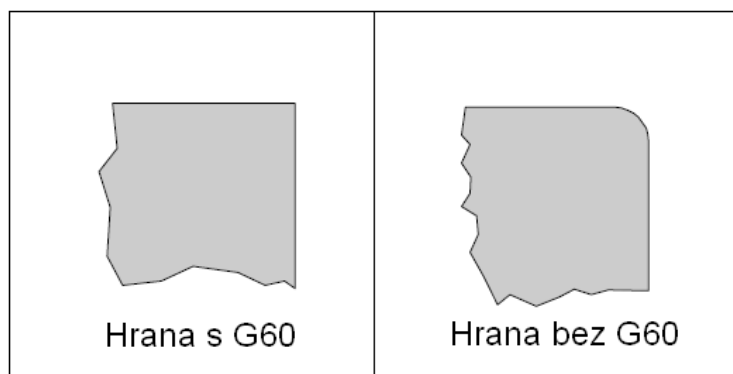
Formát: N... G58 / G59 A... X... Z...

Tieto presunutia sa pripočítajú už zadánym posunutiam nulového bodu G54 – G57. Zvyčajne sa použitím G58 / G59 zohľadňuje dĺžka obrobku (presun nulového bodu na čelo obrobku – nulový bod obrobku). Po ukončení programu, po prerušení programu a RESET sa presunutie zadané G58 / G59 vymaže. Oba príkazy pôsobia iba v danej vete, ale posunutie nulového bodu platí dovtedy, kým nie je zmenené alebo vymazané.

G60 – presné zastavenie

Formát: N... G60

Nasledujúca veta programu sa spracuje až potom, až keď sa sane úplne zastavia. Prechodové hrany sa nezaoblia a budú ostré. Funkcia G60 je aktívna dovtedy, kým je funkcia G62 alebo G64 zruší (obr. 11.30).

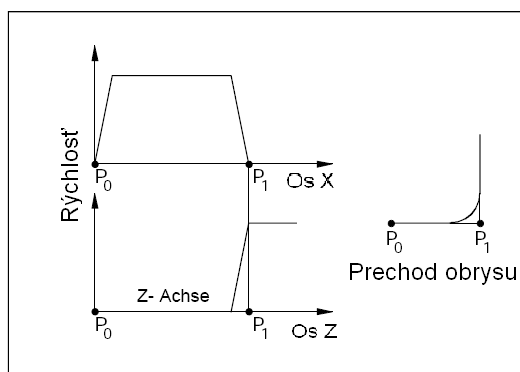


Obr. 11.30 Ukážky hrán s využitím funkcie G60 alebo bez jej použitia

G62, G64 – zrušenie presného zastavenia

Formát: N... G62 / G64

Predtým, ako sa dosiahne cieľový bod v osi X, pohyb v osi Z sa zrýchľuje. V dôsledku tejto skutočnosti, prechod obrusu nie je dokonale ostrý (parabola, hyperbola), ale vyhovuje toleranciám na výkresoch (obr. 11.31).



Obr. 11.31 Tvar hrán pri zrušení presného zastavenia G62 / G64

G70 – zadávanie rozmerov v palcoch

Formát: N5 G70

Použitím tejto funkcie sa zmenia nasledovné údaje s rozmermi v mm na údaje v palcoch. Sú to údaje pri súradniciach X, Z, parametre interpolácie I, K, parametre zrazenia a zaoblenia +B, -B. Funkcia G70 by mala byť z dôvodu prehľadnosti programovaná v prvej vete. Zmena medzi G70 a G71 je v rámci jedného programu možná. Stále prestavenie odmeriavania v mm alebo v palcoch sa dá nastaviť v DIAGNOSE, NC-MD.

G71 – zadávanie rozmerov v milimetroch

Formát: N5 G71

Opis funkcie je analogický s funkciou G70.

G90 – absolútne programovanie

Formát: N... G90

Súradnice v pohybových osiach je potrebné programovať nasledovne:

X – priemer obrobku

Z – absolútne hodnota vzhľadom na nulový bod obrobku.

V jednej vete nie je prípustné programovať G90 a G91. Obe funkcie (G90 a G91) sa môžu programovať s inými G – funkciami (N... G90 G00 X... Z...).

G91 – prírastkové (inkrementálne) programovanie

Formát: N... G91

Súradnice v pohybových osiach sa programujú:

X – polomer obrobku

Z – prírastok dráhy v danom smere vzhľadom k poslednej aktuálnej polohe nástroja.

Obmedzenia sú analogické ako pri funkcii G90.

G92 – obmedzenie počtu otáčok

Formát: N... G92 S...

S – otáčky vretena [mm/ot]

Príkazom G92 sa stanovujú maximálne otáčky vretena. Používa sa v spojení s funkciou G96 – konštantná rezná rýchlosť. V adrese S sa potom programujú požadované otáčky.

G94 – posuv v mm za minútu

Použitím funkcie G94 sa pri adrese F (posuv) určuje rýchlosť posuvu nástroja v [mm/min].

G95 – posuv v mm za otáčku

Použitím funkcie G95 sa pri adrese F (posuv) určuje rýchlosť posuvu nástroja v [mm/ot].

G96 – konštantná rezná rýchlosť

Formát: N... G96 S...

S – rezná rýchlosť [m/min]

Riadiaci systém vypočíta pre každý priemer obrobku odpovedajúce otáčky vretena. Ak by bol priemer obrobku rovný 0, potom by otáčky boli nekonečne veľké. V skutočnosti stúpnu na hodnotu, akú povoľuje konštrukcia stroja. Je preto vhodné, aby sa maximálne otáčky obmedzovali funkciou G92, keď napr. skľučovadlo sa môže použiť do istého maximálneho počtu otáčok, obrobok môže byť nevyvážený a pod. Posuv sa automaticky nastaví na G95 [mm/ot].

G97 – konštantné otáčky vretena

Formát: N... G97 S...

S – otáčky vretena za minútu [ot/min]

Funkcia G97 zruší funkciu G96 alebo posledne programované otáčky.

G147 – mäkké nabehnutie na obrys lineárne

G247 – mäkké nabehnutie na obrys v štvrtkruhu

G347 – mäkké nabehnutie na obrys v polkruhu

G148 – mäkké opustenie obrysu lineárne

G248 – mäkké opustenie obrysu v štvrtkruhu

G348 – mäkké opustenie obrysu v v polkruhu

Formát: N5 G147/247/347/148/248/348 X... Z... B...

Funkcie na nabehnutie na obrys alebo jeho opustenie pôsobia iba v danej vete.

Vo vete na nabehnutie obrysu treba zadať súradnice počiatočného bodu obrysu P0 a hodnotu B (dráha nábehu bez dotyku obrysu).

Vo vete na opustenie obrysu treba zadať súradnice koncového bodu obrysu PE na opustenie obrysu a hodnotu B (dráha opustenia bez dotyku obrysu).

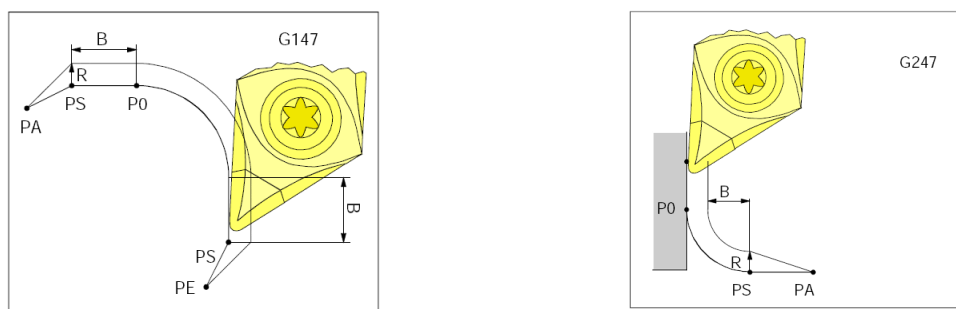
V jednej vete na nabehnutie alebo opustenie obrysu sa nesmú programovať žiadne pohyby.

Po vete pre nabehnutie alebo opustenie obrysu nesmú byť programované pomocné funkcie.

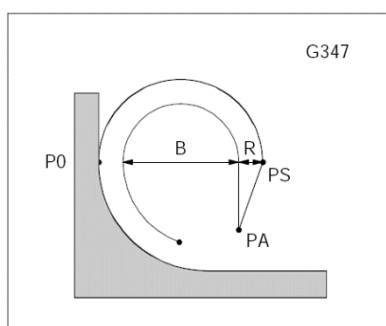
Pred vetou na nabehnutie alebo opustenie obrysu musia byť aktívne funkcie G41 resp. G42.

Vo vete na opustenie obrysu sa nastaví automaticky G40, To znamená, že je potrebné znovu programovať funkciu G41 resp. G42.

Mäkké nabehnutie alebo opustenie nie je možné pri obrysoch programovať, ak boli programované pomocou obrysu (obr. 11.32, 11.33), (viď ďalej).



Obr. 11.32 Mäkké nabehnutie a opustenie lineárne a mäkké nabehnutie a opustenie obrysu v štvrtkruhu



Obr. 11.33 Mäkké nabehnutie a opustenie na obrys v polkruhu

PA – východiskový bod pre nabehnutím na obrys, PS – východiskový bod vypočítaný riadiacim systémom, P0 počiatočný bod obrysu vo vete pre nabehnutie = počiatočný bod obrysu,

PE – koncový bod po opustení obrysu, R – polomer hrotu nástroja,

B – dráha nábehu / výbehu bez dotyku obrysu

11.16 Opis pomocných M – funkcií

Funkcie M slúžia na zapínanie a vypínanie niektorých činností stroja. Používajú sa aj ako doplnkové funkcie. Môžu byť programované samostatne vo vetách alebo spolu s inými funkciami vo vetách. Funkcie, ktoré niečo zapínajú (otáčanie vretena, chladenie apod.) sa vykonajú pred programovaným pohybom. Pri vypínaní je to opačne. Činnosti pri vykonávaní M – funkcií závisia od konkrétneho technického vybavenia riadeného stroja.

M00 – nepodmienečné zastavenie programu

Program obrábania súčiastky sa zastaví. Vreteno, posuvy a prívod reznej kvapaliny sa zastaví. Ochranný kryt možno otvoriť bez spustenia alarmu. Po zatvorení ochranného krytu, sa tlačidlom „NC Štart“  program znova spustí, čiže všetky vypnuté zariadenia stroja sa zapnú.

Funkcia sa používa na upnutie polovýrobku do požadovanej polohy, premeranie vyrobenej plochy a pod.

M01 – voliteľné (programovateľné) zastavenie programu

Táto funkcia je podobná funkcii M00 za podmienky výberu príslušného režimu činnosti. Funkcia "PROGRAMMIERTER HALT JA" musí zvolená byť funkčným klávesom PROGRAMMBEEINFLUSSUNG.

M02 – koniec programu

Príkaz, ktorým sa ukončuje program obrábania súčiastky. Všetky pohony sa vypnú. Používa sa na opätovné zoradenie riadiaceho systému alebo stroja. Pôsobí podobne ako M30.

M03 – zapnutie vretena v zmysle pohybu hodinových ručičiek (CW)

Vreteno sa zapne tak, že skrutkovica pri obrábaní, ktorú vytvára výsledný rezný pohyb, je pravotočivá. Vreteno sa začne otáčať, ak sú programované otáčky alebo rezná rýchlosť, ochranný kryt je uzatvorený a obrobok je korektne upnutý. M03 sa používa pre pravorezné nástroje.

M04 – zapnutie vretena proti zmyslu pohybu hodinových ručičiek (CCW)

Pre túto funkciu platia analogické podmienky ako pre funkciu M03. Pri funkcii M04 treba použiť ľavé nástroje (rezná hrana je orientovaná doľava).

M05 – zastavenie otáčania vretena

Hlavné vreteno sa elektricky zabrzdí. Ak programovaný koniec programu (M02 resp. M30) vreteno sa rovnako automaticky vypne.

M08 – zapnutie prívodu reznej kvapaliny

Rezná kvapalina sa začne privádzať do pracovného priestoru nastaviteľnou trúbkou.

M09 – vypnutie prívodu reznej kvapaliny

Prívod reznej kvapaliny sa vypne.

M17 – koniec podprogramu

Táto funkcia sa zapisuje do poslednej vety podprogramu. Vo vete môže byť uvedená sama, alebo môže byť aj s inými funkciami. Funkcia M17 vráti riadenie po skončení podprogramu do hlavného programu na vetu, ktorá nasleduje za vetou, v ktorej sme odbehli do podprogramu.

M30 – koniec hlavného programu

Funkciou M30 sa všetky pohony vypnú a riadiaci systém sa vráti na začiatok programu. Stroj je pripravený na obrábanie ďalšej súčiastky a hodnota na počítadle sa zvýši o 1.

11.17 Opis cyklov

Cykly na obrábanie sa programujú tak, že najprv sa opíšu R – parametre a sa vyvolá samotný cyklus so zadaným počtom opakovaní.

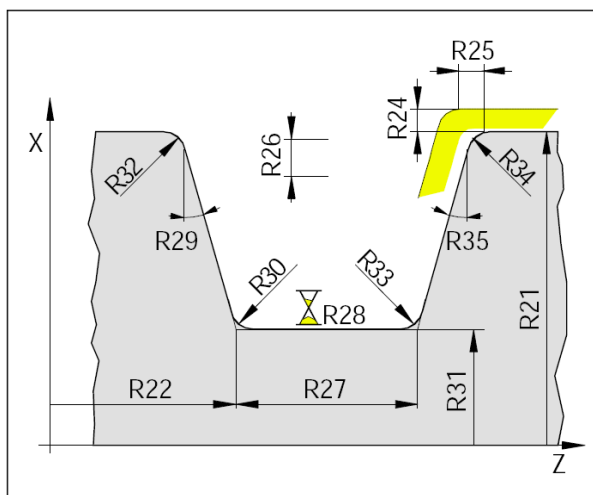
Príklad:

N... R20=... R21=... R22=... R24=... R25=... R26=... R27=... R28=... R29=... R30=... L95 P2

Uvedený príklad znamená, že cyklus L95 sa bude 2 – krát opakovať. Vo vete sa môže programovať maximálne 10 R – parametrov.

L93 – zapichovací cyklus

Zapichovací cyklus umožňuje vyrobiť na súčiastke pozdĺžne, čelné, vonkajšie a vnútorné zápichy. Obidva polomery hrotov nástroja sa musia premerať a zadať do po sebe nasledujúcich parametrov D, ktoré udávajú potrebné rozmery nástroja (napr. D21 a D22).



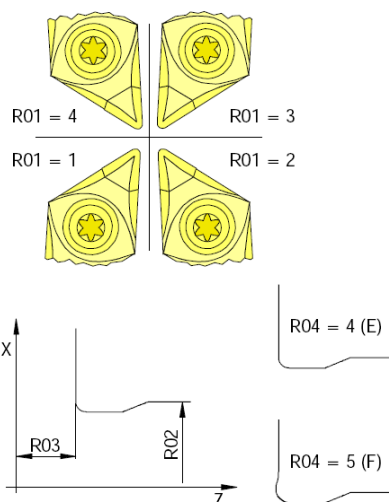
Obr. 11.34 Parametre pre programovanie zápichu

Význam parametrov podľa obr. 11.34:

- R10 0 pre pozdĺžne, 1 pre čelné zapichovanie
- R21 vonkajší, resp. vnútorný priemer zápichu
- R22 počiatočný bod v osi Z
- R23 určenie počiatočného bodu: „1“ – počiatočný bod vpravo pre vonkajší / vnútorný zápich, „-1“ – počiatočný bod vľavo pre vonkajší / vnútorný zápich
- R24 prídavok na čisto v osi X
- R25 prídavok na čisto v osi Z
- R26 hĺbka rezu
- R27 šírka zápichu
- R28 časová výdrž na dne zápichu
- R29 uhol na ľavom boku zápichu ($0^{\circ} - 89^{\circ}$)
- R30 polomer (znamienko +) alebo zrazenie (-) na dne zápichu vľavo
- R31 vnútorný priemer zápichu
- R32 polomer (znamienko +) alebo zrazenie (-) na hornom okraji zápichu vľavo
- R33 polomer (znamienko +) alebo zrazenie (-) na dne zápichu vpravo
- R34 polomer (znamienko +) alebo zrazenie (-) na hornom okraji zápichu vpravo
- R35 uhol na pravom boku zápichu ($0^{\circ} - 89^{\circ}$)

L94 – cyklus odľahčovacieho zápichu

Uvedený cyklus umožňuje vyrobiť odľahčovací zápich podľa normy DIN 509 tvaru E a F na priemere obrobku väčšom ako 18 mm. Počas cyklu je automaticky započítaná korekcie na polomer hrotu nástroja (obr. 11.35).



Obr. 11.35 Parametre pre cyklus L94 – odľahčovací zápich

Význam parametrov pri programovaní:

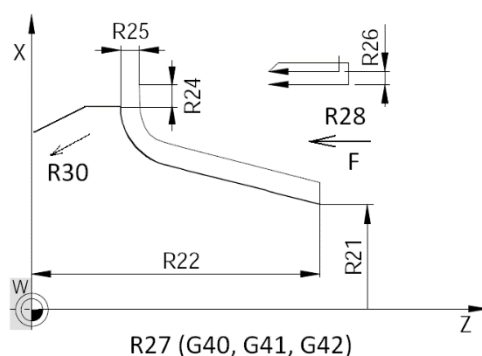
- R01 definícia podľa polohy hlavnej reznej hrany
- R02 počiatočný bod obrysu v smere osi X. R02 definuje priemer hotovej súčiastky a cyklus automaticky pridá 2 mm k tejto hodnote, a potom táto poloha je potom počiatočný bod štartu cyklu v X –ovej osi.
- R03 počiatočný bod obrysu v smere osi Z. Do R03 sa zadá priamo rozmer hotového výrobku. Cyklus automaticky pridá 10 mm k tejto hodnote, a potom táto poloha je potom počiatočný bod štartu cyklu v Z –ovej osi.
- R04 označenie pre tvar E alebo F. Ak zadáme R04 = 4, pre súčiastku s jednou obrábanou plochou a R04 = 5 platí pre dve obrábané plochy, ktoré sú navzájom kolmé.

L95 – cyklus obrábania (s tvorbou aj opačných kužeľov)

L96 – cyklus obrábania (bez tvorby opačných kužeľov)

Tento cyklus umožňuje programovať pozdĺžne, čelné, vonkajšie a vnútorné sústruženie. Cyklus L95 umožňuje naprogramovať maximálne 10 zúžení priemeru v smere obrábania. V cykle sa musí zadať prvý bod obrysu. Tvar obrysu sa musí opísať v podprograme (G1, G2, G3). Posledný bod podprogramu určuje počiatočný bod pre hrubovanie. Tento bod musí byť pri výrobe čelnej plochy najvyšším bodom obrysu v smere osi X, a pri pozdĺžnom sústružení musí mať v smere osi Z najmenšiu hodnotu.

Prvá veta v podprograme sa musí programovať v absolútnych súradniciach. Parametre pre cyklus sú na obr. 11.36.



Obr. 11.36 Parametre pre cyklus obrábania L95 a L96

Význam parametrov v programe:

- R20 číslo podprogramu, v ktorom je opísaný obrys súčiastky
- R21 počiatočný bod obrysu súčiastky v osi X
- R22 počiatočný bod obrysu súčiastky v osi Z
- R24 prídavok na čisto v osi X
- R25 prídavok na čisto v osi Z, R24 a R25 sa používa, ak rozlišujeme hrubovanie a sústruženie na čisto, a ak v programe bude R24 = 0 a R25 = 0, dosiahne sa finálny rozmer súčiastky.
- R26 hĺbka rezu v X alebo v Z, pri práci na čisto sa neuvádza
- R27 voľba korekcie polomeru hrotu nástroja (ako pri funkcii G, t.j. R27 = 40, resp. 41, 42) pri výrobe kužeľových alebo guľových plôch, pričom sa hodnota vypočítava automaticky
- R28 rýchlosť posuvu
- R29 spôsob výroby jednotlivých plôch podľa tabuľky 11.2
- R30 faktor posuvu pri obrábaní opačných kužeľov, napr. R30 = 0.5 bude programovaný posuv v polovičný

Tab. 11.2 Možnosti obrábania zadané pri funkcii R29

Kód XX R29 = XX	Spôsob obrábania
11	hrubovať rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvonka
12	hrubovať čelnú plochu kolmo na os rotácie zvonka
13	hrubovať rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvnútra
14	hrubovať čelnú plochu kolmo na os rotácie zvnútra
21	obrábanie načisto rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvonka
22	obrábanie načisto čelnej plochy zvonka kolmo na os rotácie
23	obrábanie načisto rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvnútra
24	obrábanie načisto kolmo na os rotácie čelnej plochy zvnútra
31	hrubovať rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvonka podľa obrysu súčiastky
32	hrubovať kolmo na os rotácie čelnú plochu zvonka podľa obrysu súčiastky
33	hrubovať rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvnútra podľa obrysu súčiastky
34	hrubovať kolmo na os rotácie čelnú plochu zvnútra podľa obrysu súčiastky
41	kompletné obrábanie rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvonka
42	kompletné obrábanie kolmo na os rotácie pozdĺžne zvonka
43	kompletné obrábanie rovnobežne s osou rotácie pozdĺžne zvnútra
44	kompletné obrábanie kolmo na os rotácie čelnú plochu zvnútra

L97 – cyklus rezania závitov

Pomocou tejto funkcie možno programovať pozdĺžne, priečne, vonkajšie alebo vnútorné závit. Prísuv noža do záberu sa uskutočňuje automaticky, pričom prierez triesky je konštantný.

Význam parametrov v programe (obr. 11.37):

- R20 stúpanie závit (je to hodnota rovnobežná s osou)
- R21 počiatočný bod závit v osi X
- R22 počiatočný bod závit v osi Z
- R21 a R22 opisujú skutočný počiatočný bod na obryse súčiastky.
- R23 počet záberov naprázdno

R24 hĺbka závit (znamienko + označuje vnútorný závit, - vonkajší závit)

R25 prídavok načisto

Po automatickom rozdelení hĺbky rezu pri hrubovaní, nasleduje rez načisto s programovanou hĺbkou rezu.

R26 nábeh, prírastkovo bez znamienka

R27 výbeh, prírastkovo bez znamienka

Hodnoty R26 a R27 sa zadávajú vždy rovnobežne s osou bez znamienka. U kužeľových závitov sa skutočné počiatočné a koncové body vypočítajú automaticky.

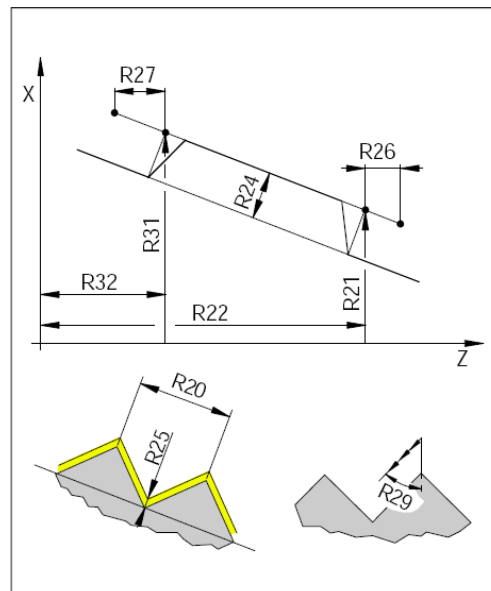
R28 počet hrubovacích rezov

R29 polovica vrcholového uhlu závit. Nástroj sa prisúva po boku závit, čo je možné iba pri čelných a pozdĺžnych závitov.

R31 koncový bod závit v osi X (absolútne)

R32 koncový bod závit v osi Z (absolútne)

R21 a R22 opisujú skutočný koncový bod na obryse súčiastky.



Obr. 11.37 Parametre na rezanie závitov L97

L971 – cyklus rezania pozdĺžnych závitov

Tento cyklus sa používa pre pozdĺžne a mierne kužeľové závit a je časovo optimalizovaný. Programovanie je analogické ako pri cykle L97 s týmito rozdielmi:

R28 znamienko + označuje zmenšujúci sa prísuv, - konštantný prísuv

R34 parameter bol zavedený dodatočne a programuje sa ním vzdialenosť nástroja od vyrobeného závit pri návrate nástroja na počiatok a jeho hodnota je pre vnútorný závit 0,01 – 1 mm, pre vonkajší závit 0,01 – 3 mm.

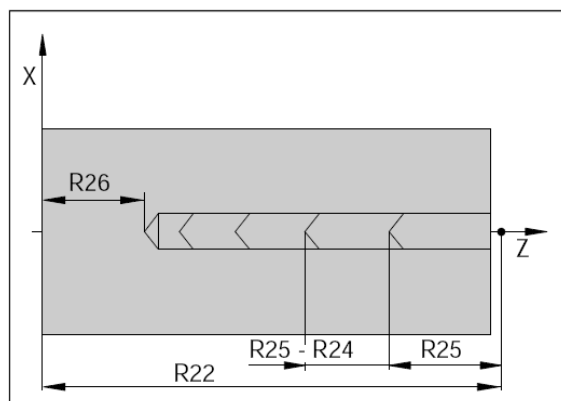
L98 – cyklus vŕtania hlbokých otvorov

Tento cyklus slúži na vŕtanie hlbokých otvorov a otvorov do ťažkoobrobiteľných materiálov. Parametrom R11 sa môže určiť spätný pohyb.

R11 = 0 – zlomenie triesky. Vrták sa zavŕta do otvoru do prvej hĺbky (R25), zastaví sa posuv (trvanie v R27), vysunie sa 1 mm a opäť sa zavŕta.

R11 = 1 – odstraňovanie triesky. Vrták sa zavŕta do otvoru do prvej hĺbky (R25), zastaví sa posuv (trvanie v R27), vysunie sa z otvoru úplne (R22), zdrží sa (trvanie R28) a opäť sa zavŕta.

Ďalšia hĺbka vŕtania je vždy kratšia o hodnotu R24 ako predchádzajúca. Postupnosť hĺbky vŕtania do otvoru a spätný chod sa opakuje, kým sa nedosiahne konečná hĺbka. Ak dosiahne hodnota hĺbky vŕtania hodnotu R24, o ktorú sa znižuje hĺbka zavŕtávania nástroja, tak potom bude táto hodnota zostane konštantná a rovná tejto hodnote. Ak je konečná hodnota vŕtania otvoru R26 menšia ako dvojnásobok hodnoty R24, bude sa hĺbka zavŕtávania nástroja deliť dvoma, ale nikdy nebude menšia ako $R24/2$ (obr. 11.38).



Obr. 11.38 Parametre vŕtania hlbokého otvoru

Význam parametrov v programe:

- R11 0 – zlomenie triesky, 1 – odstránenie triesky
- R22 počiatkový bod v osi Z (absolútne)
- R24 hodnota tzv. degresie, t.j. hodnota, o ktorú sa znižuje hĺbka vŕtania (prírastkovo bez znamienka)
- R25 prvá hĺbka vŕtania
- R26 konečná hodnota vŕtania
- R27 časová výdrž (zlomenie triesky)
- R28 časová výdrž na programovanej hĺbke vŕtania (zlomenie a odstránenie triesky).

L98 – cyklus rezanie nadväzujúcich závitov

Tento cyklus slúži na rezanie závitov, ktoré nadväzujú na seba (pozdlžných aj priečných), a ktorých stúpanie môže byť rôzne.

Význam parametrov v programe (obr. 11.39):

- R11 počiatkový bod závitu v osi X (absolútne)
- R12 prvý medzibod závitu v X (absolútne)
- R13 druhý medzibod závitu v X (absolútne)
- R14 koncový bod závitu v X (absolútne)
- R21 počiatkový bod závitu v osi Z (absolútne)
- R22 prvý medzibod závitu v Z (absolútne)
- R23 druhý medzibod závitu v Z (absolútne)
- R24 koncový bod závitu v Z (absolútne)
- R25 prídavok načisto

Po automatickom rozdelení hĺbky rezu pri hrubovaní nasleduje rez načisto s programovanou hĺbkou.

- R26 nábeh, prírastkovo bez znamienka
- R27 výbeh, prírastkovo bez znamienka

Hodnoty R26 a R27 sa zadávajú rovnobežne s osou bez znamienka. Pri kužeľových závitoch budú body nábehu a výbehu vypočítané automaticky.

R28 počet hrubovacích rezov

R29 polovica vrcholového uhla závit

Nástroj sa prisúva po boku závit, čo je možné iba pri čelných a pozdĺžnych závitov.

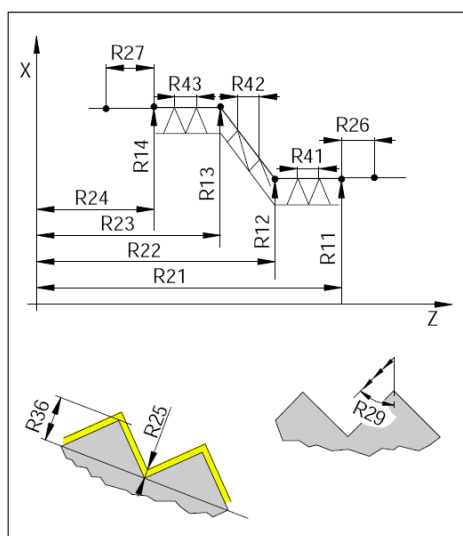
R35 počet záberov naprázdno

R36 hĺbka závit (znamienko + označuje vnútorný závit, - vonkajší závit)

R41 stúpanie závit 1

R42 stúpanie závit 2

R43 stúpanie závit 3

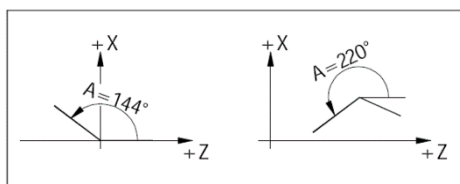


Obr. 11.39 Parametre na rezanie nadväzujúcich závitov

11.18 Opis obrysu súčiastky

Táto metóda sa používa preto, aby nebolo potrebné vypočítavať súradnice priesečníka nástroja s obrysom súčiastky. K dispozícii sú viaceré spôsoby opisu kontúry a možno ich ľubovoľne kombinovať. Priesečníky sú vypočítavané ako súradnice alebo uhlové údaje.

Uhlové údaje sa vždy vzťahujú na os Z v smere + (obr. 11.40).



Obr. 11.40 Uhlové údaje sa vždy vzťahujú na smer osi +Z

Nasledovné kontúry si možno vybrať:

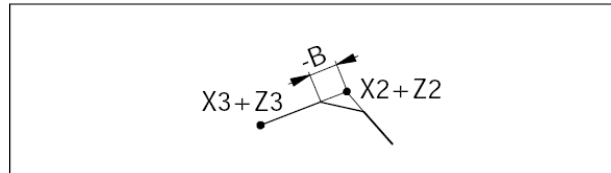
Vloženie zrazenia

Na zrazenie ako obrysu súčiastky (obr. 11.41) sa vkladá záporné znamienko t.j. – B.

Príklad:

G1 X2... Z2... B-... LF

G1 X3... Z3... LF

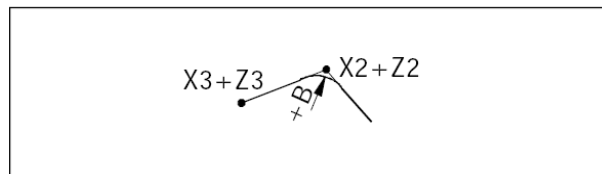


Obr. 11.41 Zadanie zrazenia na súčiastke

Vloženie oblúka (rádiusu)

Zaoblenie hrán o danom polomere sa zadáva hodnotou B so znamienkom $+$. Vložený polomer nesmie byť väčší ako menšia z obidvoch hrán (11.42).

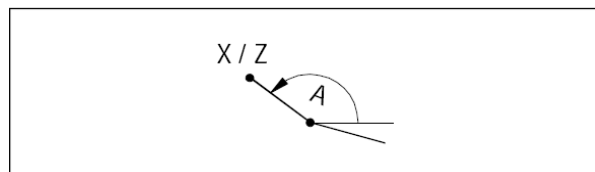
Príklad: $G1\ X2... Z2... B+... LF$
 $G1\ X3... Z3... LF$



Obr. 11.42 Zadania zaoblenia na súčiastke

Priamka

Zadaním uhla A súradnice cieľového bodu sa vypočíta priamka (obr. 11.43).

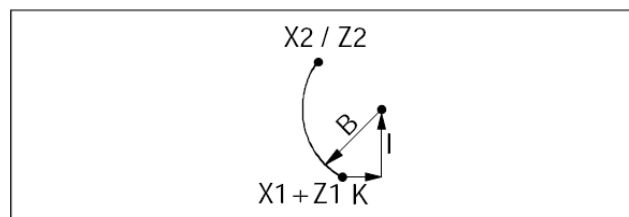


Obr. 11.43 Priamka s uhlom a jednou koncovou súradnicou

Kružnica

Opis kružnice možno urobiť prostredníctvom zadania polomeru B , stredu oblúka I, K a jednej súradnice koncového bodu (obr. 11.44).

Príklad: $G2\ I... K... B... X2... \text{ alebo } G2\ I... K... B... Z2...$



Obr. 11.44 Oblúk so zadaným polomerom, stredom a jednou súradnicou koncového bodu.

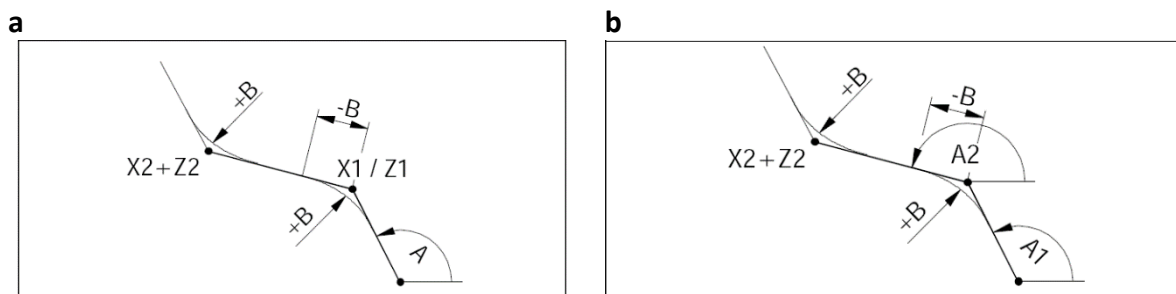
Priamka – priamka

Je potrebné zadať uhol A , súradnicu prvého bodu a obidve súradnice koncového bodu. Polomery $+B$ alebo zrazenia $-B$ sa môžu taktiež vkladať, ak ďalšia veta obsahuje $G1$ a súradnice koncového bodu (obr. 11.45a).

Príklad: $G1\ A... X1...$
 $G1\ X2... Z2...$

alebo

G1 A... Z1...
G1 X2... Z2...



Obr. 11.45 Príklady vkladania nadväzujúcich priamok

Druhá možnosť je zadania pomocou uhlov A_1 a A_2 a obidvoch súradníc koncových bodov (obr. 11.45b).

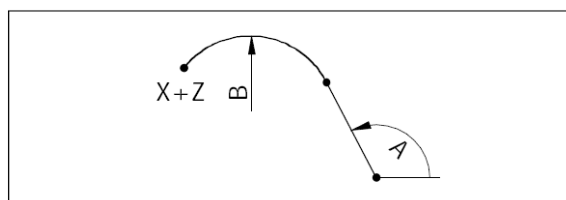
G1 A1... A2... X2... Z2...

Priamka – kružnica (tangenciálne)

Je potrebné zadať polomer B , uhol A a obidve súradnice koncového bodu (obr. 11.46).

Príklad:

G2 B... A... X... Z...



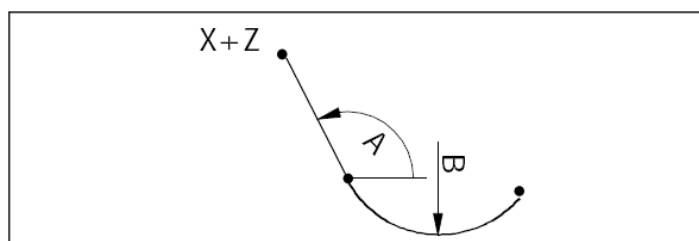
Obr. 11.46 Obrys priamka – kružnica (tangenciálne)

Kružnica – priamka (tangenciálne)

Je potrebné zadať polomer B , uhol A a obidve súradnice koncového bodu (obr. 11.47).

Príklad:

G2 B... A... X... Z...



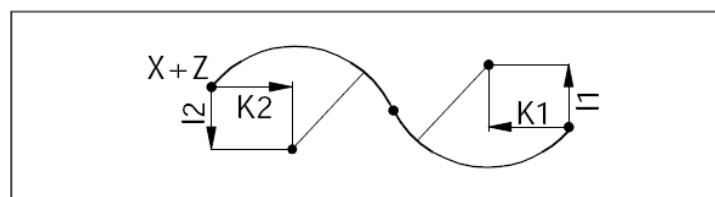
Obr. 11.47 Obrys kružnica – priamka (tangenciálne)

Kružnica – kružnica (tangenciálne)

Podmienkou pohybu je, že G2, G3 sa programujú v prvej vete. Druhá podmienka pohybu je vždy opačná a neprogramuje sa. Parametre interpolácie I2, K2 (súradnice stredu druhého kružnicového oblúka) sa vzťahujú na koncový bod tohto oblúka. Musia sa programovať obidva parametre interpolácie, aj keď ich hodnota je rovná nule (obr. 11.48).

Príklad:

G2 I1... K1... I2... K2... X... Z...



Obr. 11.48 Obrys kružnica – kružnica (tangenciálne)

11.19 Podprogramy

Ak sa viackrát opakujú funkčné priebehy, môžeme ich zadať ako podprogramy.

Opis obrysu súčiastky pre použitie cyklov sa zadáva ako podprogram.

Čísla od L90 po L100 sú rezervované pre cykly a nesmú sa používať ako podprogramy.

Vyvolanie podprogramu z programu súčiastky

Napríklad: L123 P1 LF

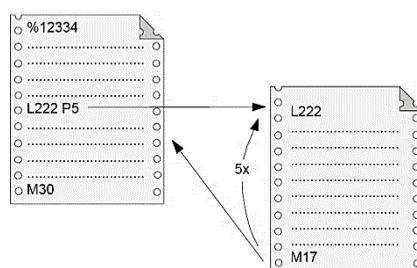
kde L je podprogram,

123 – číslo podprogramu,

P1 – počet opakovaní podprogramu (max. 99).

Na konci každého podprogramu musí byť funkcia M17 (obr. 11.49).

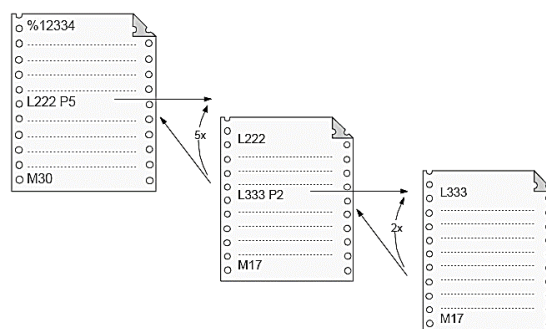
Napríklad: N150 M17 LF



Obr. 11.49 Vyvolanie podprogramu programom súčiastky s počtom opakovania 5 – krát

Vnorenie podprogramov

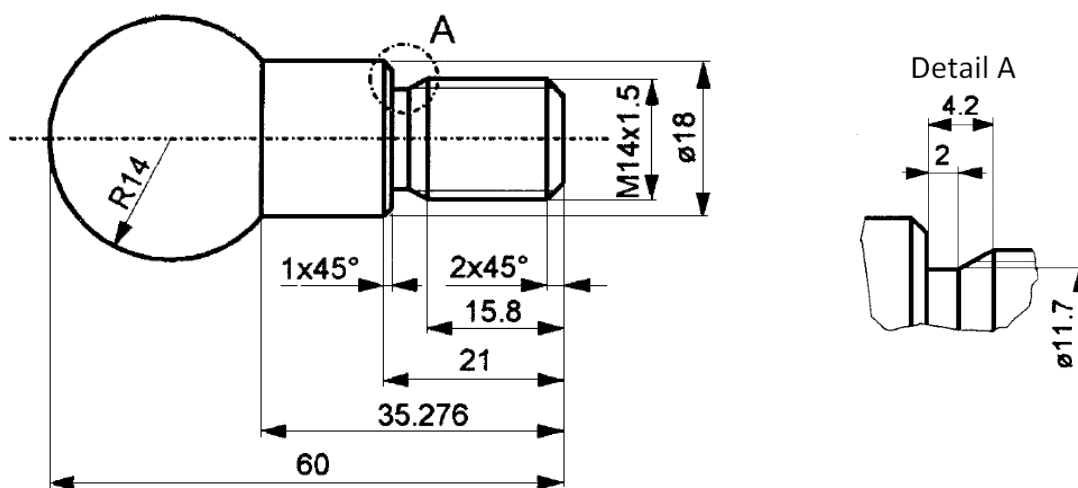
Je možno vnorenie podprogramu do 4 úrovní. Aj podprogram môže volať ďalší podprogram (obr. 11.50) až do 4. úrovne.



Obr. 11.50 Vnorenie podprogramov

Na záver tejto časti príručky si uvedieme ilustratívny príklad. Bude uvedený opisom jednotlivých viet, ktoré heslovite vysvetľujú jednotlivé činnosti v programe. Príklad určite objasní problematiku programovania sústruhu EMCO PC Turn 120 s riadiacim systémom Sinumerik 820 T. Preto ho autori publikácie odporúčajú na podrobné preštudovanie.

11.20 Ilustratívny príklad



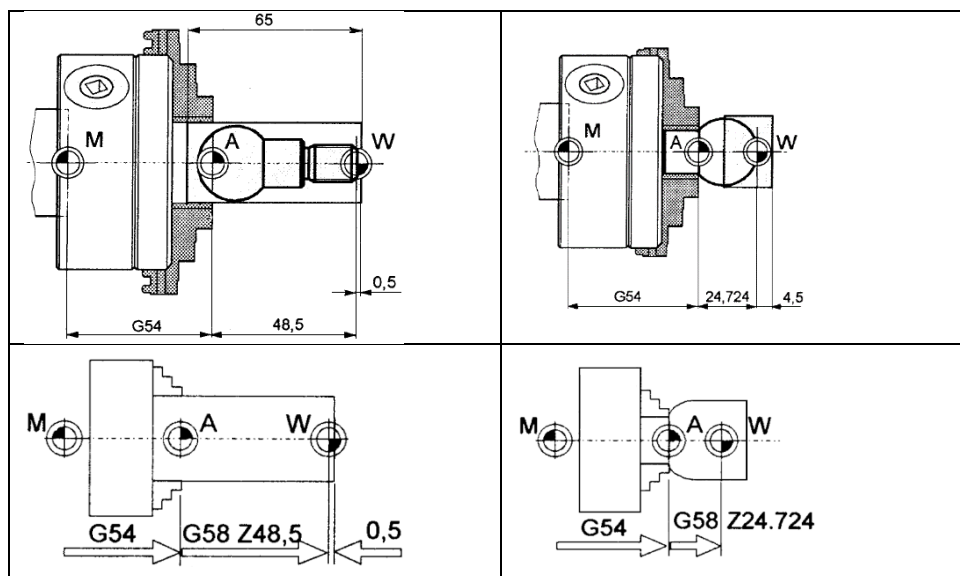
Obr. 11.51 Guľový čap

Poznámky k technologickému postupu výroby súčiastky

Súčiastka je z duralu, rezné rýchlosti použijeme okolo 200 m/min na hrubovanie a cca 220 m/min na dokončovanie s posuvmi 0,2 mm/ot resp. 0,1 mm/ot. Súčiastku vyrobíme na dve upnutia v univerzálnom skľučovadle. Polotovar z tyčového materiálu $\varnothing 30 \times 65$ mm upneme na pevný doraz a po nepodmienečnom prerušení programu, súčiastku otočíme a upneme za obrobennú plochu s priemerom $\varnothing 18$ (obr. 11.52, obr. 11.53). Pri tvorbe programu využijeme cykly, keď v podprograme bude nakreslený obrys súčiastky.

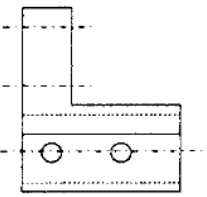
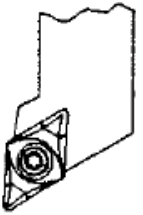
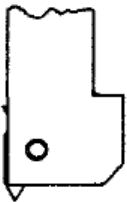
1. upnutie	2. upnutie

Obr. 11.52 Postup obrábania jednotlivých plôch



Obr. 11.53 Situácia pri prvom a druhom upnutí s vyznačenými posunutiami nulových bodov

Pri návrhu technologického postupu je potrebné určiť nástroje na výrobu jednotlivých plôch. Nástroje treba upnúť do nožovej hlavy, stanoviť korekčné čísla, určiť veľkosti korekcií v obidvoch osiach a polohy hrotov rezných nástrojov.

Druh nástroja	Parametre
Doraz na tyčový materiál (držiak osových nástrojov) 	Poloha v zásobníku nástrojov: T1 Číslo korekcie: D1 Poloha hrotu nástroja: 7
Stranový uberací nôž ľavý 	Poloha v zásobníku nástrojov: T2 Číslo korekcie: D2 Polomer hrotu: 0,4 Poloha hrotu nástroja: 3 Rezná rýchlosť: 200 resp. 220 m/min Posuv: 0,2 resp. 0,1 mm/ot
Závitový nôž 	Poloha v zásobníku nástrojov: T3 Číslo korekcie: D3 Polomer hrotu: 0 Poloha hrotu nástroja: 8 Otáčky vretena: 800 ot/min

Po týchto krokoch môžeme pristúpiť k písaniu samotného CNC programu. Pre názornosť ho uvidíme program aj opisom niektorých činností.

%100 N0005 G54 N0010 G58 Z48.5 N0015 T1 D1 N0020 G94 F1000 N0025 G1 X0 Z0.5 N0030 M00 N0035 G0 X80 Z20 N0040 T2 D2 N0045 G95 S2500 F0.1 M4 N0050 G0 X32 Z0 N0055 G1 X-1 N0060 G0 X32 Z2 N0065 G96 S200 F0.2 M4 N0070 R20 = 100 R21 = 10 R22 = 0 R24 = 0.3 R25 = 0.1 R26 = 1.5 R27 = 40 R29 = 31 R28 = 0.2 R30 = 0.5 L95 P1 N0075 G96 S220 F0.1 M4 N0080 R20 = 100 R21 = 10 R22 = 0 R24 = 0 R25 = 0 R26 = 1.5 R27 = 42 R29 = 21 R28 = 0.1 R30 = 0.5 L95 P1 N0085 G0 X50 Z30 M5 N0090 T3 D3 N0095 G95 S800 M3 N0100 G0 X20 Z5 N0105 R20 = 1.5 R21 = 14 R22 = 0 R23 = 1 R24 = - 0,92 R25 = 0.05 R26 = 1 R27 = 1 R28 = 6 R29 = 30 R31 = 14 R32 = - 17 L97 P1 N0110 G0 X50 Z50 M5 N0115 M30	1. upnutie - posunutie nulového bodu stroja - programové posunutie nulového bodu stroja - voľba dorazu na tyčový materiál - rýchlosť posuvu 1000 mm/min - nabehnutie dorazu na polohu - nepodmienený stop programu, vloží za polo-výrobok na dotyk na doraz - poloha na výmenu nástroja - stranový uberací nôž ľavý s údajmi - otáčky 2500 ot/min, posuv 0.1 mm/ot, otáčanie vretena vľavo - sústruženie čelnej plochy - rezná rýchlosť 200 m/min, posuv 0.2 mm/ot, otáčanie vretena vľavo - cyklus hrubovania podľa obrysu súčiastky - rezná rýchlosť 220 m/min, posuv 0.1 mm/ot, otáčanie vretena vľavo - cyklus dokončenia obrysu súčiastky - poloha na výmenu nástroja, stop vretena stroja - nôž na rezanie závitov (pravý závit), otáčky 800 ot/min, otáčanie vretena vpravo - cyklus rezania závitu - poloha na výmenu nástroja, zastavenie vretena - ukončenie programu
L100 N0005 G1 X14 Z – 2 N0010 Z – 15.8 N0015 X11.7 Z – 18	Podprogram – obrys súčiastky pre 1. upnutie

N0020 Z – 20 N0025 X18 B – 1 N0030 Z-35.276 N0035 G3 X28 Z – 46 I – 9 K – 10.724 N0040 G1 Z – 47 N0045 X30 N0050 M17	
%101 N0005 G54 N0010 G58 Z24.724 N0015 T2 D2 N0020 G96 S200 F0.2 M4 N0025 G0 X32 Z10 N0030 R20 = 101 R21 = -1 R22 = 6 R24 = 0.3 R25 = 0.1 R26 = 1.5 R27 = 40 R29 = 31 R28 = 0.2 R30 = 0.5 L96 P1 N0035 G96 X220 F0.1 M4 N0040 R20 = 101 R21 = 0 R22 = 6 R24 = 0 R25 = 0 R26 = 1.5 R27 = 42 R29 = 21 R28 = 0.1 R30 = 0.5 L96 P1 N0045 G0 X50 Z40 M5 N0050 M30	2. upnutie - posunutie nulového bodu stroja - programové posunutie nulového bodu stroja - stranový uberací nôž ľavý s údajmi - rezná rýchlosť 200 m/min, posuv 0.2 mm/ot, otáčanie vretena vľavo - cyklus hrubovania podľa obrysu súčiastky - rezná rýchlosť 220 m/min, posuv 0.1 mm/ot, otáčanie vretena vľavo - cyklus dokončenia obrysu súčiastky - poloha na výmenu nástroja, zastavenie vretena - ukončenie programu
L101 N0005 G1 Z0 N0007 X0 N0010 G3 X28 Z-14 B14 N0015 G1 Z-16 N0020 X30 N0025 M17	Podprogram – obrys súčiastky pre 2. upnutie

12. TNC 640

TNC spoločnosti HEIDENHAIN sú určené pre dielenské ovládania dráh, s ktorými môžete programovať bežné frézovacie a vŕtacie práce priamo na stroji v ľahko zrozumiteľnom popisnom dialógu.

Sú určené na používanie vo frézovacích a vŕtacích strojoch, ako aj v obrábacích centrách pracujúcich až s 18 osami. Okrem toho môžete programovane nastavovať polohu uhla vretena.

Na integrovanom pevnom disku môžete uložiť ľubovoľné množstvo programov, aj keď boli vytvorené externe. Pre rýchle výpočty sa dá kedykoľvek vyvolať vrecková kalkulačka.

Ovládací panel a znázornenie obrazovky sú usporiadané prehľadne, takže môžete všetky funkcie dosiahnuť jednoducho a rýchlo.

12.1 Programovanie: Popisný dialóg HEIDENHAIN a DIN/ISO

Mimoriadne jednoduché je zhotovenie programu v popisnom dialógu HEIDENHAIN. Programovacia grafika znázorňuje jednotlivé kroky obrábania počas zadávania programu. Tomu ešte napomáha voľné programovanie obrysu FK, ak nie je k dispozícii žiadny výkres vhodný pre NC. Grafická simulácia obrábania obrobku je možná nielen počas skúšky programu, ale aj počas behu programu.

Okrem toho môžete TNC programovať aj podľa DIN/ISO alebo v prevádzke DNC. Program sa dá zadať a vyskúšať aj vtedy, keď iný program práve vykonáva nejaké obrábanie obrobku.

12.2 Ovládacie prvky, cykly, podprogramy TNC

Ovládacie prvky na obrazovke

Tlačidlo	Funkcia
	Vybrať rozdelenie obrazovky
	Prepnúť zobrazenie medzi režimami Stroj a Programovanie
	Softvérové tlačidlá: Vybrať funkciu na obrazovke
	Prepínanie líst softvérových tlačidiel
	

Znaková klávesnica

Kláves	Funkcia
	Názvy súborov, komentáre
	Programovanie DIN/ISO

Prevádzkové režimy stroja

Kláves	Funkcia
	Ručný režim
	Elektronické ručné koliesko
	Polohovanie s ručným zadávaním
	Krokovanie programu
	Beh programu - plynulý chod

Prevádzkové režimy programovania

Kláves	Funkcia
	Programovanie
	Test programu

Správa programov/súborov, funkcie TNC

Kláves	Funkcia
	Zvoliť a vymazať programy/súbory, externý dátový prenos
	Definovať vyvolanie programu, vybrať tabuľky nulových bodov a bodov
	Vybrať funkciu MOD
	Zobraziť texty pomocníka pri NC chybových hláseniach, vyvolať TNCguide
	Zobraziť všetky aktuálne chybové hlásenia
	Vyvolať kalkulačku

Navігаčné tlačidlá

Kláves	Funkcia
	Posunúť svetlé pole
	
	Priamy výber blokov, cyklov a funkcií parametrov

Potenciometer pre posuv a otáčky vretena

Posuv	Otáčky vretena
	

Cykly, podprogramy a opakovania časti programu

Kláves	Funkcia
	Definovať cykly dotykovej sondy
	Definovať a vyvolať cykly
	Vložiť a vyvolať podprogramy a opakovania časti programu
	Vložiť do programu zastavenie programu

Údaje o nástrojoch

Kláves	Funkcia
	Definovať nástrojové dáta v programe
	Vyvolať nástrojové dáta

Naprogramovanie dráhových pohybov

Kláves	Funkcia
	Prisuv/odsun na/od obrysu
	Voľné programovanie obrysu FK
	Priamka
	Stred kruhu/pól pre polárne súradnice
	Kruhová dráha okolo stredu kruhu
	Kruhová dráha s polomerom
	Kruhová dráha s tangenciálnym napojením
	Zaobliť hrany/rohy

Špeciálne funkcie

Kláves	Funkcia
	Zobraziť špeciálne funkcie
	Vybrať nasledujúci bežec vo formulároch
	Dialogové pole alebo tlačidlo dopredu/späť

Vložiť, editovať súradnicové osi a číslic

Kláves	Funkcia
	Vybrať súradnicové osi, resp. vložiť ich do programu
	Číslica
	Zmeniť desatinnú bodku/známenko
	Vloženie polárnych súradníc/prírastkových hodnôt
	Programovanie parametrov Q/stav parametrov Q
	Prevziať skutočnú polohu, hodnoty z kalkulačky
	Preskočiť dialóg a vymazať slová
	Zatvoriť vstup a pokračovať dialógom
	Zatvoriť blok, ukončiť vstup
	Zrušiť vložené číselné hodnoty alebo vymazať chybové hlásenie TNC
	Prerušit dialóg, vymazať časť programu

Ukážka klávesnice riadiaceho systému v programovom ovládaní:



12.3 Zapnutie stroja

Potvrdenie výpadku prúdu a nábeh do referenčných bodov

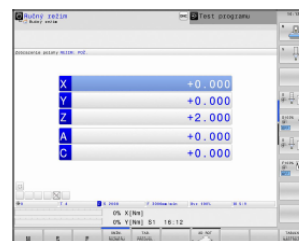


Zapnutie a nábeh do referenčných bodov sú funkcie závislé od stroja. Dodržujte pokyny uvedené v príručke stroja!

- Zapnite prívod napätia pre TNC a stroj: TNC spustí operačný systém. Tento proces môže trvať niekoľko minút. TNC potom zobrazí v hlavičke obrazovky dialógové okno prerušenia prúdu

- Stlačte tlačidlo CE: TNC preloží program PLC
- Zapnite riadiace napätie: TNC preskúša funkciu núdzového vypnutia a prejde do režimu nábehu do referenčného bodu
- Prebehnutie referenčných bodov vykonajte v prednastavenom poradí: Pre každú os stlačte externé tlačidlo START. Ak máte na svojom stroji absolútne meracie zariadenia dĺžok a uhlov, nábeh do referenčných bodov odpadáva

TNC je teraz pripravené na prevádzku a nachádza sa v prevádzkovom režime **Ručná prevádzka**.



12.4 Programovanie 1. dielu

Výber správneho prevádzkového režimu

Programy môžete vytvárať výhradne v prevádzkovom režime Programovanie:



- Stlačte tlačidlo prevádzkového režimu: TNC sa prepne do prevádzkového režimu **Programovanie**

Najdôležitejšie ovládacie prvky TNC

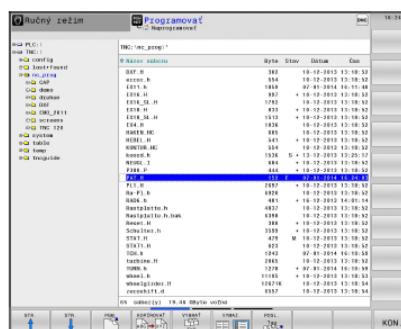
Funkcie na vedenie dialógu	Tlačidlo
Potvrdenie zadania a aktivovanie nasledujúcej dialógovej otázky	ENT
Preskočenie dialógovej otázky	END
Predčasné ukončenie dialógu	END
Prerušenie dialógu, odmietnutie zadania	DEL
Softvérové tlačidlá na obrazovke, s ktorými v závislosti od aktívneho prevádzkového stavu volíte funkcie	

12.5 Vytvorenie nového programu, správa súborov

Vytvorenie nového programu/Správa súborov



- Stlačte tlačidlo PGM MGT: TNC otvorí Správu súborov. Správa súborov TNC je zostavená podobne ako správa súborov na PC s programom Windows Explorer. So správou súborov spravujete údaje na pevnom disku TNC
- Šípkami zvolíte zložku, v ktorej chcete otvoriť nový súbor
- Zadajte ľubovoľný názov súboru s koncovkou .H: TNC potom automaticky otvorí program a opýta sa na mernú jednotku nového programu
- Zvoľte mernú jednotku: Stlačte softvérové tlačidlo MM alebo INCH: TNC automaticky spustí definíciu polotovaru



TNC vytvorí prvý a posledný blok programu automaticky. Tieto bloky nemôžete dodatočne zmeniť.

Tento krok musíte vykonať iba vtedy, ak ste v prevádzkovom režime Test programu ešte neaktivovali žiadnu tabuľku nástrojov.



- Stlačte tlačidlo PGM MGT: TNC otvorí Správu súborov
- Stlačte softvérové tlačidlo ZVOLIT' TYP: TNC zobrazí menu softvérových tlačidiel na výber zobrazovaného typu súboru
- Stlačte softvérové tlačidlo ZOBRAZIŤ VŠETKY: TNC zobrazí všetky uložené súbory v pravom okne
- Presunutie svetlého poľa doľava na zložky
- Presunutie svetlého poľa na adresár TNC:\
- Presunutie svetlého poľa doprava na súbory
- Presunutie svetlého poľa na súbor TOOL.T (aktívna tabuľka nástrojov), prevzatie tlačidlom ENT: TOOL.T získa stav S a tým je aktívny pre test programu
- Stlačte tlačidlo KONIEC: Zatvorenie správy súborov

12.6 Definícia polovýrobku

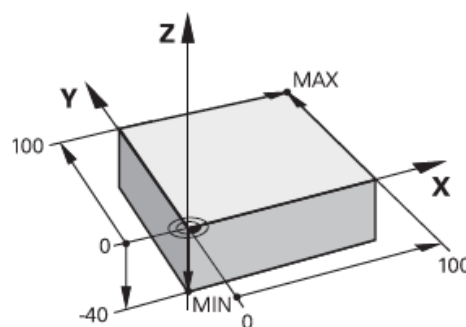
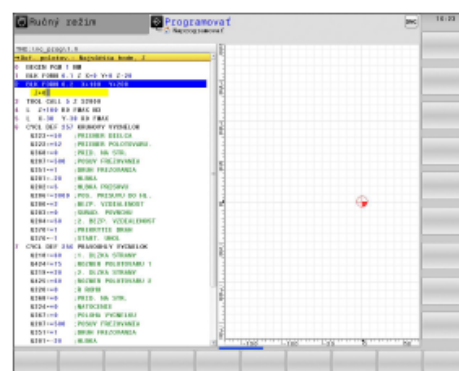
Potom čo ste otvorili nový program, TNC spustí okamžite dialóg na zadanie definície polovýrobku. Ako polovýrobok definujete vždy kváder prostredníctvom údajov MIN a MAX bodu, vždy vzťahujúc sa k zvolenému vzťažnému bodu.

Potom čo ste otvorili nový program, TNC automaticky zavedie definíciu polovýrobku a opýta sa na potrebné údaje polovýrobku:

- ▶ **Rovina obrábania v grafike: XY?**: Zadajte aktívnu os vretena. Z je uložené ako prednastavenie, prevezmite tlačidlom ENT
- ▶ **Definícia polotovaru: minimum X**: Zadajte najmenšiu súradnicu X polotovaru vzhľadom na vzťažný bod, napr. 0, zadanie potvrdíte tlačidlom ENT
- ▶ **Definícia polotovaru: minimum Y**: Zadajte najmenšiu súradnicu Y polotovaru vzhľadom na vzťažný bod, napr. 0, zadanie potvrdíte tlačidlom ENT
- ▶ **Definícia polotovaru: minimum Z**: Zadajte najmenšiu súradnicu Z polotovaru vzhľadom na vzťažný bod, napr. -40, zadanie potvrdíte tlačidlom ENT
- ▶ **Definícia polotovaru: maximum X**: Zadajte najväčšiu súradnicu X polotovaru vzhľadom na vzťažný bod, napr. 100, zadanie potvrdíte tlačidlom ENT
- ▶ **Definícia polotovaru: maximum Y**: Zadajte najväčšiu súradnicu Y polotovaru vzhľadom na vzťažný bod, napr. 100, zadanie potvrdíte tlačidlom ENT
- ▶ **Definícia polotovaru: maximum Z**: Zadajte najväčšiu súradnicu Z polotovaru vzhľadom na vzťažný bod, napr. 0, zadanie potvrdíte tlačidlom ENT: TNC ukončí dialóg

Priklady blokov NC

```
0 BEGIN PGM NEU MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0
3 END PGM NEU MM
```



12.7 Štruktúra programu

Obrábacie programy by mali byť, podľa možnosti, vždy zostavené rovnako. Zvyšuje to prehľad, urýchľuje programovanie a redukuje zdroje chýb.

Odporúčaná štruktúra programu pri jednoduchých, konvenčných obrábaniach obrysů

- 1 Vyvolanie nástroja, definovanie osi nástroja
- 2 Odsunutie nástroja
- 3 V rovine obrábania predpolohujte do blízkosti začiatočného bodu obrysů
- 4 V osi nástroja predpolohujte nad obrobok alebo hneď na hĺbku, v prípade potreby zapnite vreteno/chladiacu kvapalinu
- 5 Nábeh na obrysů
- 6 Obrobenie obrysů:
- 7 Opustenie obrysů
- 8 Odsunutie nástroja, ukončenie programu

Štruktúra programu programovania obrysů

```
0 BEGIN PGM BSPCONT MM
1 BLK FORM 0.1 Z X... Y... Z...
2 BLK FORM 0.2 X... Y... Z...
3 TOOL CALL 5 Z S5000
4 L Z+250 R0 FMAX
5 L X... Y... R0 FMAX
6 L Z+10 R0 F3000 M13
7 APPR ... RL F500
...
16 DEP ... X... Y... F3000 M9
17 L Z+250 R0 FMAX M2
18 END PGM BSPCONT MM
```

Odporúčaná štruktúra programu pri jednoduchých programoch cyklov

- 1 Vyvolanie nástroja, definovanie osi nástroja
- 2 Odsunutie nástroja
- 3 Definícia polôh obrábania
- 4 Definícia obrábacieho cyklu
- 5 Vyvolanie cyklu, zapnutie vretena/chladiacej kvapaliny
- 6 Odsunutie nástroja, ukončenie programu

Štruktúra programu programovania cyklov

0 BEGIN PGM BSBCYC MM
1 BLK FORM 0.1 Z X... Y... Z...
2 BLK FORM 0.2 X... Y... Z...
3 TOOL CALL 5 Z S5000
4 L Z+250 R0 FMAX
5 PATTERN DEF POS1(X... Y... Z...) ...
6 CYCL DEF...
7 CYCL CALL PAT FMAX M13
8 L Z+250 R0 FMAX M2
9 END PGM BSBCYC MM

Priklady blokov NC

0 BEGIN PGM C200 MM	
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40	Definícia neobrobeného polotovaru
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0	
3 TOOL CALL 5 Z S4500	Vyvolanie nástroja
4 L Z+250 R0 FMAX	Odsunutie nástroja
5 PATTERN DEF POS1 (X+10 Y+10 Z+0) POS2 (X+10 Y+90 Z+0) POS3 (X+90 Y+90 Z+0) POS4 (X+90 Y+10 Z+0)	Definícia polôh obrábania
6 CYCL DEF 200 VRTANIE	Definovanie cyklu
Q200=2 ;BEZPEČNOSTNÁ VZDIALENOSŤ	
Q201=-20 ;HĽBKA	
Q206=250 ;PRÍSUV F DO HĽBKY	
Q202=5 ;HĽBKA PRÍSUVU	
Q210=0 ;F. ČAS HORE	
Q203=-10 ;SÚRADNICE POVRCHU	
Q204=20 ;2. BEZPEČNOSTNÁ VZDIALENOSŤ	
Q211=0.2 ;DOBA ZOTRVANIA DOLU	
7 CYCL CALL PAT FMAX M13	Vreteno a chladiaca kvapalina zap., vyvolanie cyklu
8 L Z+250 R0 FMAX M2	Odsunutie nástroja, koniec programu
9 END PGM C200 MM	

12.8 Vytvorenie programu cyklov

Otvory zobrazené na obrázku vpravo (hĺbka 20 mm) sa majú vyhotoviť štandardným cyklom vŕtania. Definíciu polovýrobku ste už vytvorili.



- Vyvolanie nástroja: Zadajte údaje nástroja. Zadanie vždy potvrďte tlačidlom ENT, NEZABUDNITE NA OS NÁSTROJA
- Odsunutie nástroja: Stlačte oranžové osovú tlačidlo Z na odsunutie v osi nástroja a vložte hodnotu pre polohu, do ktorej sa má nábeh vykonať, napr. 250. Potvrďte tlačidlom ENT
- **Korekcia polomeru.:** RL/RR/žiadna kor.? potvrďte tlačidlom ENT: Neaktivovať žiadnu korekciu polomeru
- **Posuv F=?** potvrďte tlačidlom ENT: Presúvajte v rýchloposuve (**FMAX**)
- **Pridavná funkcia M?** potvrďte tlačidlom KONIEC: TNC uloží vložený blok posuvu do pamäte
- Vyvolanie menu cyklov

- Zobrazenie cyklov vŕtania

- Zvolenie štandardného cyklu vŕtania 200: TNC spustí dialóg na definíciu cyklu. Krok za krokom zadajte parametre požadované z TNC, zadanie zakaždým potvrďte tlačidlom ENT. TNC zobrazuje dodatočne v pravej obrazovke grafiku, v ktorej je zobrazený príslušný parameter cyklu

- Vyvolanie menu pre špeciálne funkcie

- Zobrazenie funkcií pre spracovanie bodov

- Voľba definície vzoru

- Výber vkladania bodov: Vložte súradnice 4 bodov, vstup zakaždým potvrďte tlačidlom ENT. Po vložení štvrtého bodu uložte blok tlačidlom KONIEC

- Zobrazenie menu k definícii vyvolania cyklu

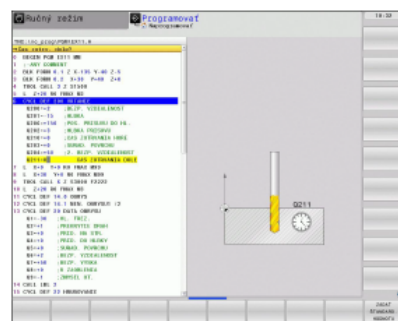
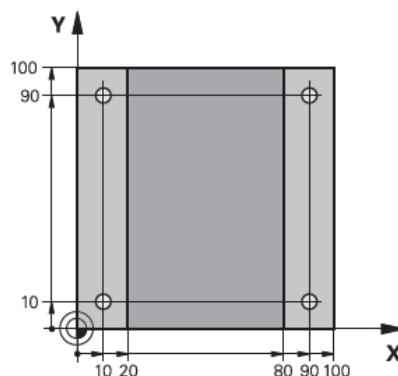
- Odpracovanie cyklu vŕtania na definovanom vzore:

- **Posuv F=?** potvrďte tlačidlom ENT: Presúvajte v rýchloposuve (**FMAX**)

- **Pridavná funkcia M?** Zapnite vreteno a chladiacu kvapalinu, napr. M13, potvrďte tlačidlom KONIEC: TNC uloží daný blok posuvu



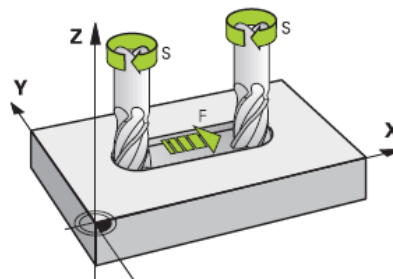
- Odsunutie nástroja: Stlačte oranžové osovú tlačidlo Z na odsunutie v osi nástroja a vložte hodnotu pre polohu, do ktorej sa má nábeh vykonať, napr. 250. Potvrďte tlačidlom ENT
- **Korekcia polomeru.:** RL/RR/žiadna kor.? potvrďte tlačidlom ENT: Neaktivovať žiadnu korekciu polomeru
- **Posuv F=?** potvrďte tlačidlom ENT: Presúvajte v rýchloposuve (**FMAX**)
- **Pridavná funkcia M?** Zadajte M2 na ukončenie programu, potvrďte tlačidlom KONIEC: TNC uloží vložený blok posuvu do pamäte



12.9 Vstupy týkajúce sa nástroja

Posuv F

Posuv **F** je rýchlosť v mm/min. (palcoch/min.), ktorou sa po svojej dráhe pohybuje stred nástroja. Maximálny posuv môže byť pre každú os odlišný a je definovaný v parametroch stroja.



Zadanie

Posuv môžete zadať v bloku **TOOL CALL** (vyvolanie nástroja) a v každom polohovacom bloku (pozri "Vytvorenie programových blokov pomocou tlačidiel dráhových funkcií", Strana 196). V milimetrových programoch zadajte posuv v jednotke mm/min, v palcových programoch z dôvodov rozlíšenia v 1/10 palca/min.

Rýchloposuv

Pre rýchloposuv vložte **F MAX**. Na zadanie stlačte **F MAX** na dialógovej otázke **Posuv F= ?** tlačidlo ENT alebo softvérové tlačidlo FMAX.



Ak chcete stroj presúvať rýchloposuvom, môžete naprogramovať aj príslušnú číselnú hodnotu, napr. **F30000**. Tento rýchloposuv pôsobí na rozdiel od **FMAX** nielen v danom bloku, ale až dovtedy, kým nenaprogramujete nový posuv.

Trvanie účinnosti

Posuv naprogramovaný s číselnou hodnotou platí až po blok, v ktorom je naprogramovaný nový posuv. **F MAX** platí len pre blok, v ktorom bol naprogramovaný. Po bloku s **F MAX** platí znovu posledný číselnou hodnotou naprogramovaný posuv.

Zmena počas vykonávania programu

Počas vykonávania programu zmeníte posuv pomocou otočného regulátora posuvu override F.

Otáčky vretena S

Otáčky vretena **S** vložíte v jednotkách otáčky za minútu (ot./min.) v bloku **TOOL CALL** (vyvolanie nástroja). Reznú rýchlosť **Vc** môžete prípadne definovať tiež v m/min.

Naprogramovaná zmena

V obrábacom programe môžete meniť otáčky vretena pomocou bloku **TOOL CALL** (vyvolanie nástroja) tým, že vložíte len nové otáčky vretena:



- ▶ Naprogramovanie vyvolania nástroja: Stlačte tlačidlo **TOOL CALL**
- ▶ Dialóg **Číslo nástroja?** preskočte stlačením tlačidla **NO ENT**
- ▶ Preskočte dialóg **Os vretena paralelne X/Y/Z ?** tlačidlom **NO ENT**
- ▶ V dialógu **otáčky vretena S= ?** zadajte nové otáčky vretena, potvrdte tlačidlom **KONIEC**, alebo prepnete softvérovým tlačidlom **VC** na zadanie reznej rýchlosti

Zmena počas vykonávania programu

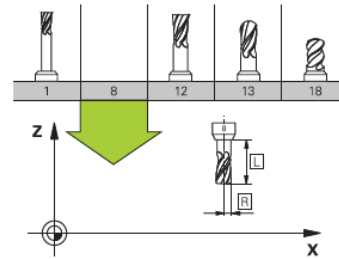
Počas vykonávania programu zmeníte otáčky vretena pomocou otočného regulátora otáčok vretena override F.

12.10 Údaje o nástroji

Predpoklady pre korekciu nástroja

Bežne sa súradnice dráhových pohybov programujú tak, ako je obrobok okótovaný na výkrese. Aby TNC mohol vypočítať dráhu stredu nástroja, teda vykonať korekciu nástroja, musíte pre každý použitý nástroj vložiť jeho dĺžku a polomer.

Nástrojové dáta môžete vložiť buď pomocou funkcie **TOOL DEF** priamo do programu, alebo osobitne do tabuliek nástrojov. Ak vkladáte nástrojové dáta do tabuliek, sú k dispozícii ešte ďalšie informácie špecifické pre daný nástroj. Pri vykonávaní programu obrábania zohľadňuje TNC všetky vložené informácie.



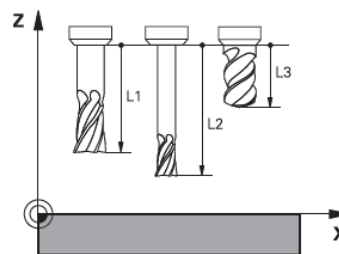
Číslo nástroja, názov nástroja

Každý nástroj je označený číslom od 0 do 32767. Ak pracujete s tabuľkou nástrojov, môžete navyše vložiť aj názov nástroja. Názvy nástrojov smú obsahovať maximálne 32 znakov.

Nástroj s číslom 0 je definovaný ako nulový nástroj a má dĺžku $L = 0$ a polomer $R = 0$. V tabuľkách nástrojov definujete nástroj T0 tiež s $L = 0$ a $R = 0$.

Dĺžka nástroja L

Dĺžku nástroja L by ste mali zásadne zadávať ako absolútnu dĺžku vzhľadom na vzťažný bod nástroja. TNC potrebuje nevyhnutne pre množstvo funkcií v spojení s obrábaním vo viacerých osiach celkovú dĺžku nástroja.



Hodnoty delta dĺžok a polomerov

Delta hodnoty označujú odchýlky pre dĺžku a polomer nástrojov.

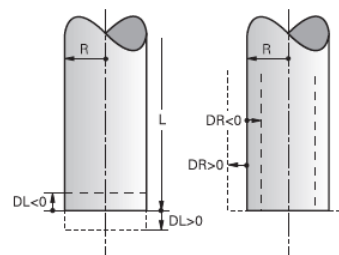
Kladná delta hodnota platí pre prídavok ($DL, DR, DR2 > 0$).

Pri obrábaní s prídavkom vložte hodnotu pre prídavok pri programovaní vyvolania nástroja **TOOL CALL**.

Záporná delta hodnota znamená záporný prídavok ($DL, DR, DR2 < 0$). Záporný prídavok sa vkladá v tabuľke nástrojov pri opotrebení nástroja.

Hodnoty delta vkladajte ako číselné hodnoty, v bloku **TOOL CALL** môžete odovzdať hodnotu tiež pomocou parametra Q.

Vstupný rozsah: Delta hodnoty smú byť maximálne $\pm 99,999$ mm.



Hodnoty delta z tabuľky nástrojov ovplyvňujú grafické zobrazenie **nástroja**. Zobrazenie **obrobku** zostáva v simulácii rovnaké.

Hodnoty delta z bloku **TOOL CALL** menia v simulácii znázornenú veľkosť **obrobku**. Simulovaná **veľkosť nástroja** zostáva rovnaká.

Zadanie údajov o nástroji do programu

Číslo, dĺžku a polomer nadefinujete pre istý nástroj v obrábacom programe v bloku **TOOL DEF**:

► Zvolenie definície nástroja: Stlačte tlačidlo **TOOL DEF**



- **Číslo nástroja:** Číslo nástroja jednoznačne označuje nástroj
- **Dĺžka nástroja:** Hodnota korekcie pre dĺžku
- **Polomer nástroja:** Hodnota korekcie pre polomer



Počas dialógu môžete hodnotu dĺžky a polomeru vložiť priamo do dialógového poľa: stlačte požadované softvérové tlačidlo osi.

Příklad

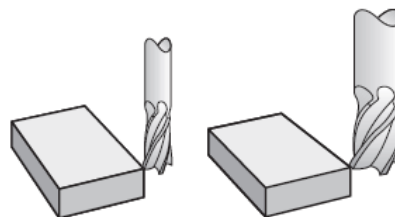
4 TOOL DEF 5 L+10 R+5

12.11 Korekcia nástroja

Úvod

TNC koriguje dráhu nástroja o korekčnú hodnotu pre dĺžku nástroja v osi nástroja a pre polomer v rovine obrábania.

Ak vytvárate obrábací program priamo v TNC, je korekcia polomeru nástroja účinná iba v rovine obrábania. TNC pritom zohľadňuje až päť osí, vrátane rotačných osí.



Korekcia polomeru nástroja

Blok programu na pohyb nástroja obsahuje:

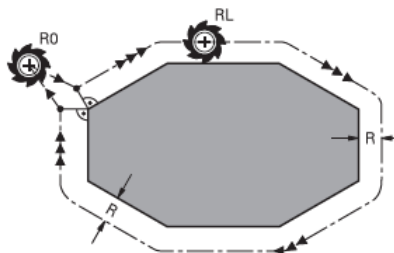
- **RL** alebo **RR** na korekciu polomeru
- **R0**, ak sa korekcia polomeru nemá vykonať

Korekcia polomeru je účinná, len čo sa nástroj vyvolá a presúva sa v rovine obrábania niektorým priamkovým blokom s **RL** alebo **RR**.



TNC zruší korekciu polomeru, ak:

- naprogramujete priamkový blok s **R0**,
- opustíte obrys s funkciou **DEP**
- naprogramujete **PGM CALL**
- zvolíte nový program prostredníctvom **PGM MGT**



Pri korekcii polomeru zohľadňuje TNC hodnoty delta nielen z bloku **TOOL CALL**, ale aj z tabuľky nástrojov:

Hodnota korekcie = $R + DR_{\text{TOOL CALL}} + DR_{\text{TAB S}}$

R: Polomer nástroja **R** z bloku **TOOL DEF** alebo z tabuľky nástrojov

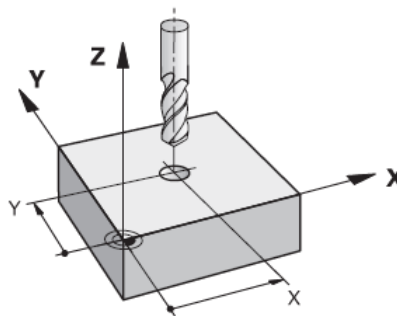
DR_{TOOL CALL}: Prídavok **DR** na polomer z bloku **TOOL CALL**

DR_{TAB}: Prídavok **DR** na polomer z tabuľky nástrojov

Dráhové pohyby bez korekcie polomeru: R0

Nástroj prechádza svojím stredom po naprogramovanej dráhe v rovine obrábania, resp. na naprogramované súradnice.

Použitie: Vŕtanie, predpolohovanie



Dráhové pohyby s korekciou polomeru: RR a RL

RR: Nástroj prechádza vpravo od obrysu

RL: Nástroj prechádza vľavo od obrysu

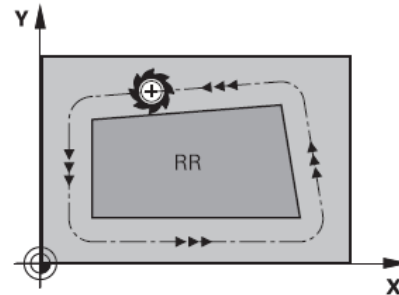
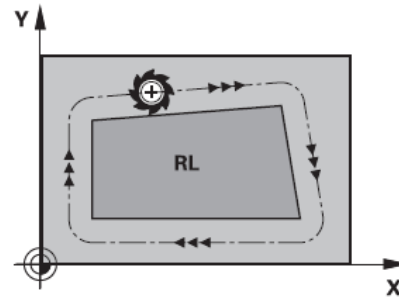
Stred nástroja sa pritom nachádza vo vzdialenosti polomeru nástroja od naprogramovaného obrysu. „Vpravo“ a „vľavo“ označuje polohu nástroja v smere posuvu pozdĺž obrysu obrobku. Pozri obrázky.



Medzi dvoma blokmi programu s rozdielnou korekciou polomeru **RR** a **RL** musí byť minimálne jeden blok posuvu v rovine obrábania bez korekcie polomeru (teda s **R0**).

TNC aktivuje korekciu polomeru na konci bloku, v ktorom ste prvýkrát naprogramovali korekciu.

Pri prvom bloku s korekciou polomeru **RR/RL** a pri zrušení prostredníctvom **R0** polohuje TNC nástroj vždy kolmo na naprogramovaný začiatkový bod alebo koncový bod. Nástroj polohujete pred prvým bodom obrysu, resp. za posledným bodom obrysu tak, aby nedošlo k poškodeniu obrysu.



Zadanie korekcie polomeru

Korekciu polomeru zadajte do bloku L. Zadajte súradnice cieľového bodu a potvrdte tlačidlom ENT

KOR. POLOM.: RL/RR/ŽIADNA KOR.?



► Pohyb nástroja vľavo od naprogramovaného obrysu: Stlačte softvérové tlačidlo RL alebo



► Pohyb nástroja vpravo od naprogramovaného obrysu: Stlačte softvérové tlačidlo RR alebo



► Pohyb nástroja bez korekcie polomeru, resp. zrušenie korekcie polomeru: Stlačte tlačidlo ENT



► Ukončíte blok: Stlačte tlačidlo KONIEC

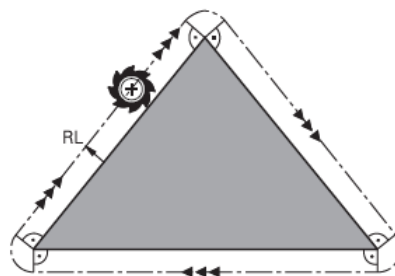
Korekcia polomeru: Obrábanie rohov

■ Vonkajšie rohy:

Ak ste naprogramovali korekciu polomeru, potom vedie TNC nástroj na vonkajších rohoch na prechodový oblúk. V prípade potreby zredukuje TNC posuv na vonkajších rohoch, napr. pri veľkých zmenách smeru.

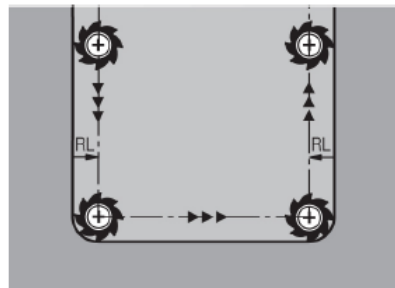
■ Vnútoré rohy:

Na vnútorných rohoch vypočíta TNC priesečník dráh, na ktoré sa presunie stred nástroja s korekciou. Z tohto bodu prechádza nástroj pozdĺž ďalšieho prvku obrysu. Tým sa obrobok na vnútorných rohoch nepoškodí. Z toho vyplýva, že pre istý obrys sa nedá vybrať ľubovoľne veľký polomer nástroja.



Pozor, nebezpečenstvo kolízie!

Pri vnútornom obrábaní neumiestňujte bod štartu ani koncový bod do rohového bodu obrysu, pretože môže dôjsť k poškodeniu obrysu.



Tabuľka nástrojov: Štandardné údaje nástroja

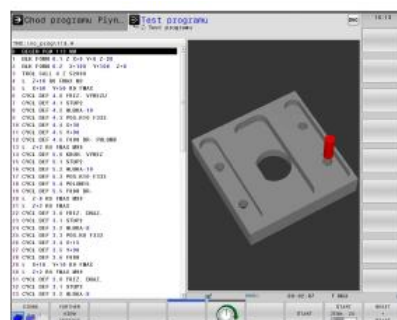
Skr.	Vstupy	Dialóg
T	Číslo, ktorým sa nástroj vyvoláva v programe (napr. 5, indexované: 5.2)	-
NÁZOV	Meno, ktorým sa nástroj vyvoláva v programe (maximálne 32 znakov, len veľké písmená, žiadne medzery)	Názov nástroja?
L	Hodnota korekcie pre dĺžku nástroja L	Dĺžka nástroja?
R	Hodnota korekcie pre polomer nástroja R	Polomer nástroja R?
R2	Polomer nástroja R2 pre rohovú zaobľovaciu frézu (len pre trojrozmernú korekciu polomeru alebo grafické zobrazenie obrábania so zaobľovacou frézou)	Polomer nástroja R2?
DL	Hodnota delta dĺžky nástroja L	Prídavok na dĺžku nástroja?
DR	Hodnota delta polomeru nástroja R	Prídavok na polomer nástroja?
DR2	Hodnota delta polomeru nástroja R2	Prídavok na polomer nástroja R2?
LCUTS	Dĺžka reznej hrany nástroja pre cyklus 22	Dĺžka reznej hrany v osi nástroja?
ANGLE	Maximálny uhol zanorenia nástroja pri kývavom pohybe zanárانيا pre cykly 22 a 208	Maximálny uhol zanorenia?
TL	Nastavenie blokovania nástroja (TL: pre Tool Locked = angl. nástroj blokovaný)	Nástroj blokovaný? áno = ENT/nie = NO ENT
RT	Číslo sesterského nástroja – ak existuje – ako náhradného nástroja (RT: pre Replacement Tool = angl. náhradný nástroj); pozri aj TIME2)	Sesterský nástroj?
TIME1	Maximálna životnosť nástroja v minútach. Táto funkcia závisí od vyhotovenia nástroja a je popísaná v príručke pre stroj	Max. životnosť?
TIME2	Maximálna životnosť nástroja pri TOOL CALL v minútach: Ak aktuálna životnosť dosiahne, alebo prekročí túto hodnotu, použije TNC pri nasledujúcom TOOL CALL sesterský nástroj (pozri tiež CUR_TIME)	Maximálna životnosť pri TOOL CALL?
CUR_TIME	Aktuálna životnosť nástroja v minútach: TNC aktualizuje aktuálnu životnosť automaticky (CUR_TIME: pre CURrent TIME = angl. aktuálny/priebežný čas). Pre použité nástroje môžete hodnotu prednastaviť	Aktuálna životnosť?

12.12 Výber správneho prevádzkového režimu – grafické testovanie programu

Programy môžete testovať výhradne v prevádzkovom režime Test programu:



- Stlačte tlačidlo prevádzkového režimu: TNC prejde do prevádzkového režimu **Test programu**

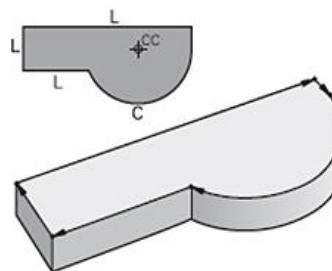


12.13 Programovanie obrysov

Pohyby nástroja:

Dráhové funkcie

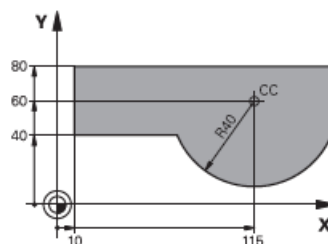
Obrys obrobku sa zvyčajne skladá z niekoľkých obrysových prvkov, ako sú napríklad priamky a kruhové oblúky. Pomocou dráhových funkcií môžete naprogramovať pohyby nástroja pre priamky a kruhové oblúky.



Voľné programovanie obrysu FK

Ak nemáte k dispozícii výkres, ktorý je okótovaný pre program NC a rozmerové údaje pre program NC nie sú úplné, tak môžete naprogramovať obrys obrobku pomocou voľného programovania obrysu. TNC potom chýbajúce údaje vypočíta.

Pomocou programovania FK môžete takisto naprogramovať pohyby nástroja pre priamky a kruhové oblúky.



Prídavné funkcie M

Prídavnými funkciami systému TNC môžete riadiť:

- priebeh programu, napr. vykonať prerušenie priebehu programu,
- funkcie stroja, ako napríklad zapínanie a vypínanie otáčok vretena a prívodu chladiacej kvapaliny,
- dráhové správanie nástroja.

Podprogramy a opakovanie časti programu

Obrábacie operácie, ktoré sa opakujú, zadávate do programu len jedenkrát ako podprogram alebo ako opakovanie časti programu. Ak chcete určitú časť programu vykonať len za určitých podmienok, tak zadefinujte tieto programové operácie takisto v nejakom podprograme. Dodatočne môže obrábací program vyvolať a vykonať nejaký ďalší program.

Programovanie s využitím podprogramov a opakovaním častí programov je popísané v kapitole 7.

Programovanie s parametrami Q

V obrábacích programoch zastupujú parametre Q číselné hodnoty. Danému parametru Q je na inom mieste priradená číselná hodnota. Pomocou parametrov Q môžete programovať matematické funkcie, ktoré riadia priebeh programu, alebo ktoré definujú obrys.

Navyše môžete prostredníctvom programovania s využitím parametrov Q počas priebehu programu vykonávať merania s trojrozmernými dotykovými sondami.

Programovanie pomocou parametrov Q je popísané v kapitole 8.

12.14 Základné informácie o dráhových funkciách

Programovanie pohybu nástroja na obrábanie

Keď vytvárate obrábací program, postupne programujete za sebou nasledujúce dráhové funkcie pre jednotlivé prvky obrysu obrobku. Nato zvyčajne zadávate súradnice koncových bodov obrysových prvkov z kótovaného výkresu. Z týchto súradnicových zadání, údajov o nástroji a korekcie polomeru vypočíta TNC skutočnú dráhu posuvu nástroja.

TNC vykonáva posuv súčasne po všetkých osiach stroja, ktoré ste zadefinovali v programovom bloku dráhovej funkcie.

Pohyby rovnobežné s osami stroja.

Programový blok obsahuje zadanie jednej súradnice: TNC posúva nástroj rovnobežne s naprogramovanou osou stroja.

Podľa konštrukcie vášho stroja sa pri obrábaní posúva buď nástroj, alebo stôl stroja, na ktorom je obrobok upnutý. Pri programovaní dráhového pohybu postupujte podľa stavu, ktorý platí v prípade, že sa pohybuje nástroj.

Príklad:

50 L X+100

50 Číslo bloku

L Dráhová funkcia „Priamka“

X+100 Súradnice koncového bodu

Nástroj si uchová súradnice osi Y a Z a posúva sa do polohy X = 100. Pozrite obrázok.

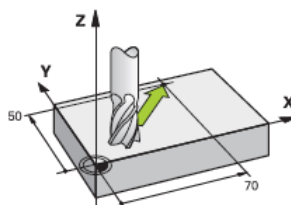
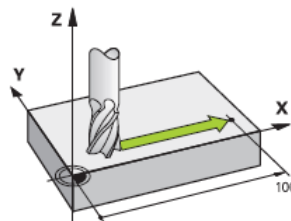
Pohyby v hlavných rovinách

Programový blok obsahuje zadanie dvoch súradníc: TNC posúva nástroj v naprogramovanej rovine.

Príklad

L X+70 Y+50

Nástroj si uchová súradnicu osi Z a posúva sa v rovine XY do polohy X = 70, Y = 50. Pozri obrázok.

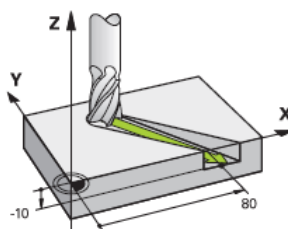


Trojrozmerný pohyb

Programový blok obsahuje zadanie troch súradníc: TNC nabehne nástrojom priestorovo na naprogramovanú polohu.

Příklad

L X+80 Y+0 Z-10

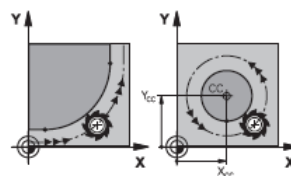


Kruhy a kruhové oblúky

Pri kruhových pohyboch vykonáva TNC posuv po dvoch osiach stroja súčasne. Nástroj sa pohybuje relatívne vzhľadom na obrobok po kruhovej dráhe. Pre kruhové pohyby môžete zadať stredový bod kružnice CC.

Dráhovými funkciami pre kruhové oblúky naprogramujete kruhy v hlavných rovinách: Hlavnú rovinu je pri vyvolaní nástroja TOOL CALL potrebné definovať určením osi vretena:

Os vretena	Hlavná rovina
Z	XY, tiež UV, XY, UY
Y	ZX, tiež WU, ZU, WX
X	YZ, tiež VW, YW, VZ



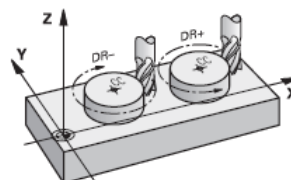
Kruhy, ktoré neležia paralelne s hlavnou rovinou, naprogramujete aj pomocou funkcie „Natočiť rovinu obrábania“ (pozri používateľskú príručku Cykly, cyklus 19, ROVINA OBRÁBANIA) alebo pomocou parametrov Q (pozri „Princíp a prehľad funkcií“, Strana 278).

Smer otáčania DR pri kruhových pohyboch

Pre kruhové pohyby bez tangenciálneho prechodu na iné obrysové prvky zadáte smer otáčania nasledovne:

Otočenie v smere hodinových ručičiek: DR-

Otočenie proti smeru hodinových ručičiek: DR+



Korekcia polomeru

Korekcia polomeru musí byť zadaná v tom bloku, pomocou ktorého nabiehate na prvý obrysový prvok. Korekciu polomeru nesmiete aktivovať v bloku pre kruhovú dráhu. Naprogramujte ju predtým v priamkovom bloku

Predpolohovanie

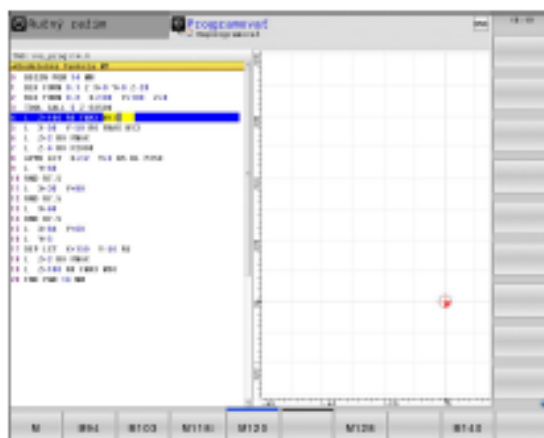


Pozor, nebezpečenstvo kolízie!

Predpolohujte nástroj na začiatku programu obrábania tak, aby nemohlo dôjsť k poškodeniu nástroja a obrobku.

Vytvorenie programových blokov pomocou tlačidiel dráhových funkcií

Prostredníctvom sívych tlačidiel dráhových funkcií otvoríte popisný dialóg. Potom si TNC postupne vyžiada všetky informácie a doplní programový blok do obrábacieho programu.



Príklad – programovanie priamky



► Otvorte programovací dialóg: napr. Priamka

SÚRADNICE?



► Zadajte súradnice koncového bodu priamky, napr. -20 v X

SÚRADNICE?



► Zadajte súradnice koncového bodu priamky, napr. 30 v Y, potvrďte tlačidlom ENT

KOR. POLOM.: RL/RR/ŽIADNA KOR.?



► Zvoľte korekciu polomeru: Stlačte napr. softvérové tlačidlo R0, nástroj sa presunie bez korekcie.

POSUV F=? /F MAX = ENT



► ZADAJTE 100 (posuv napríklad 100 mm/min.; pri programovaní v INCH: zadanie 100 odpovedá posuvu 10 inch/min.) a stlačte tlačidlo ENT, alebo



► Presúvajte v rýchloposuve: Stlačte softvérové tlačidlo FMAX, alebo



► Presúvajte s rýchloposuvom, ktorý je definovaný v bloku TOOL CALL: Stlačte softvérové tlačidlo F AUTO.

PRÍDAVNÁ FUNKCIA M?



► ZADAJTE 3 (prídavná funkcia napríklad M3) a dialóg ukončíte tlačidlom ENT

Riadok v programe obrábania

L X-20 Y+30 R0 FMAX M3

12.15 Nábeh na obrys a opustenie obrysu

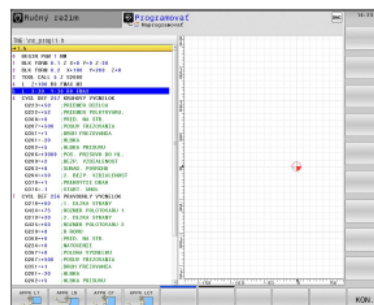
Prehľad: Tvary dráh na nábeh a odchod od obrysu

Funkcie APPR (angl. approach = nábeh) a DEP (angl. departure = odchod) sa aktivujú tlačidlom APPR/DEP. Potom je možné zvolit' niektorý z nasledujúcich tvarov dráhy:

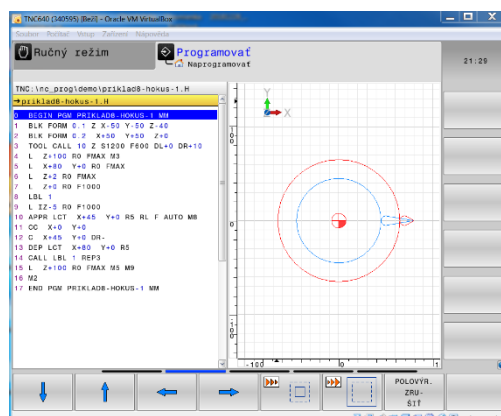
Funkcia	Nábeh	Odchod
Priamka s tangenciálnym napojením		
Priamka kolmá na bod obrysu		
Kruhovú dráhu s tangenciálnym napojením		
Kruhovú dráhu s tangenciálnym napojením na obrys, nabíhanie a odchádzanie do pomocného bodu mimo obrys po tangenciálnej napojenom priamkovom úseku		

Nábeh a odchod po závitnici

Pri nábehu a odchode po závitnici (helixe) sa nástroj posúva po predĺžení závitnice a napája sa tak po tangenciálnej kruhovej dráhe na obrys. Použite na to funkciu APPR CT, resp. DEP CT.

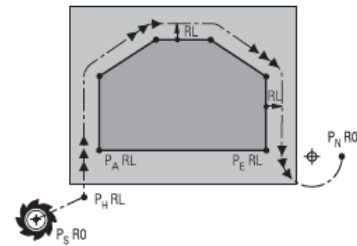


Príklad programu v režime *programovanie* s nábehom na obrys a opustenie:



Dôležité polohy pri nábehu a odchode

- **Začiatkový bod P_S**
Túto polohu programujte bezprostredne pred blokom APPR. P_S sa nachádza mimo obrysu a nabehne bez korekcie polomeru (R0).
- **Pomocný bod P_H**
Nábeh a odsunutie vedú pri niektorých tvaroch dráh cez pomocný bod P_H , ktorý vypočíta TNC z údajov v bloku APPR a DEP. TNC posúva z aktuálnej polohy do pomocného bodu P_H s naposledy naprogramovaným posuvom. Ak ste v poslednom polohovacom bloku naprogramovali pred nábehovou funkciou FMAX (polohovanie s rýchloposuvom), potom TNC nabehne aj na pomocný bod P_H rýchloposuvom.
- **Prvý bod obrysu P_A a posledný bod obrysu P_E**
Prvý bod obrysu P_A naprogramujte v bloku APPR, posledný bod obrysu P_E s ľubovoľnou dráhovou funkciou. Ak blok APPR obsahuje tiež súradnicu Z, presunie TNC nástroj najskôr v rovine obrábania na P_H a tam v osi nástroja na zadanú hĺbku.
- **Koncový bod P_N**
Poloha P_N sa nachádza mimo obrysu a vyplýva z vašich údajov v bloku DEP. Ak blok DEP obsahuje tiež súradnicu Z, presunie TNC nástroj najskôr v rovine obrábania na P_N a tam v osi nástroja na zadanú výšku.



Skrátené označenie	Význam
APPR	angl. APPRoach = nábeh
DEP	angl. DEParture = odchod
L	angl. Line = priamka
C	angl. Circle = kruh
T	tangenciálny (súvislý, plynulý) prechod
N	normála (kolmica)



Pri polohovaní zo skutočnej polohy do pomocného bodu P_H TNC neskontroluje, či sa naprogramovaný obrys poškodí. Túto kontrolu vykonajte pomocou testovacej grafiky!

Pri funkciách APPR LT, APPR LN a APPR CT posúva TNC zo skutočnej polohy do pomocného bodu P_H s naposledy naprogramovaným posuvom/ rýchloposuvom. Pri funkcii APPR LCT nabehne TNC do pomocného bodu P_H s posuvom naprogramovaným v bloku APPR. Ak pred nábehovým blokom ešte nebol naprogramovaný žiadny posuv, zobrazí TNC chybové hlásenie.

Polárne súradnice

Body obrysu pre nasledujúce nábehové a odchodové funkcie môžete naprogramovať aj prostredníctvom polárnych súradníc:

- APPR LT sa zmení na APPR PLT
- APPR LN sa zmení na APPR PLN
- APPR CT sa zmení na APPR PCT
- APPR LCT sa zmení na APPR PLCT
- DEP LCT sa zmení na DEP PLCT

Na tento účel stlačte oranžové tlačidlo P potom, ako prostredníctvom softvérového tlačidla zvolíte nábehovú, resp. odchodovú funkciu.

Korekcia polomeru

Korekciu polomeru programujete spolu s prvým bodom obrysu P_A v bloku APPR. Bloky DEP korekciu polomeru automaticky rušia!

Nábeh bez korekcie polomeru: Ak ste v bloku APPR naprogramovali R0, posúva TNC nástroj ako nástroj s $R = 0$ mm a korekciou polomeru RR! Tým je pri funkciách APPR/DEP LN a APPR/DEP CT definovaný smer, ktorým TNC nástrojom nabieha k obrysu a odchádza od obrysu. Dodatočne musíte v prvom pojazdovom bloku po APPR naprogramovať obidve súradnice roviny obrábania

Nábeh po kruhovej dráhe s tangenciálnym napojením na obrys a priamkový úsek: APPR LCT

TNC posúva nástroj po priamke zo začiatočného bodu P_S do pomocného bodu P_H . Odtiaľ nabehne po kruhovom oblúku do prvého bodu obrysu P_A . Posuv naprogramovaný v bloku APPR je aktívny pre celú dráhu, ktorú prejde TNC v nábehovom bloku (dráha $P_S - P_A$).

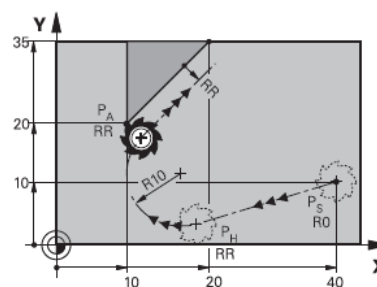
Ak ste v nábehovom bloku naprogramovali všetky tri súradnice hlavných osí X, Y a Z, potom presúva TNC z polohy definovanej pred blokom APPR vo všetkých troch osiach súčasne na pomocný bod P_H a potom následne z P_H do P_A iba v rovine obrábania.

Kruhová dráha sa tangenciálne napája na priamku $P_S - P_H$, ako aj na prvý obrysový prvok. Tým je kruhová dráha pevne definovaná polomerom R.

- Ľubovoľná dráhová funkcia: nábeh do začiatočného bodu P_S
- Otvorte dialóg tlačidlom APPR/DEP a softvérovým tlačidlom APPR LCT:



- Súradnice prvého bodu obrysu P_A
- Polomer R kruhovej dráhy. R zadajte kladný
- Korekcia polomeru RR/RL pre obrábanie



Príklady blokov NC

7 L X+40 Y+10 R0 FMAX M3	Nábeh do P_S bez korekcie polomeru
8 APPR LCT X+10 Y+20 Z-10 R10 RR F100	P_A s korekciou polomeru RR, polomer R=10
9 L X+20 Y+35	Koncový bod prvého prvku obrysu
10 L ...	Ďalší prvok obrysu

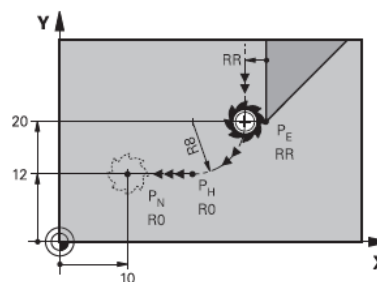
Odsunutie po kruhovej dráhe s tangenciálnym napojením na obrys a priamkový úsek: DEP LCT

TNC posúva nástroj po kruhovej priamke z posledného bodu obrysu P_E do koncového bodu P_H . Odtiaľ sa posúva po priamke do koncového bodu P_N . Posledný obrysový prvok a priamka z bodu P_H do P_N majú s kruhovou dráhou tangenciálne prechody. Tým je kruhová dráha pevne definovaná polomerom R.

- Naprogramujte posledný prvok obrysu s koncovým bodom P_E a korekciou polomeru
- Otvorte dialóg tlačidlom APPR/DEP a softvérovým tlačidlom DEP LCT:



- Zadajte súradnice koncového bodu P_N
- Polomer R kruhovej dráhy. R zadajte kladný



Príklady blokov NC

23 L Y+20 RR F100	Posledný prvok obrysu: P_E s korekciou polomeru
24 DEP LCT X+10 Y+12 R+8 F100	Súradnice P_N , polomer kruhovej dráhy = 8 mm
25 L Z+100 FMAX M2	Odsunutie po osi Z, návrat na začiatok, koniec programu

12.16 Prehľad dráhových funkcií

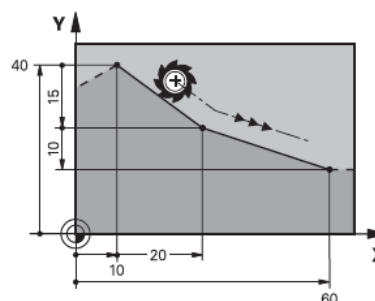
Funkcia	Tlačidlo dráhových funkcií	Pohyb nástroja	Požadované zadania	Strana
Priamka L angl.: Line		Priamka	Súradnice koncového bodu priamky	207
Skosenie: CHF angl.: CHamFer		Skosenie medzi dvoma priamkami	Dĺžka skosenia	208
Stred kruhu CC; angl.: Circle Center		Žiadne	Súradnice stredu kruhu, resp. pólu	210
Kruhový oblúk C angl.: Circle		Kruhová dráha okolo stredu kruhu CC do koncového bodu kruhového oblúka	Súradnice koncového bodu kruhu, smer otáčania	211
Kruhový oblúk CR angl.: Circle by Radius		Kruhová dráha s určeným polomerom	Súradnice koncového bodu kruhu, polomer kruhu, smer otáčania	212
Kruhový oblúk CT angl.: Circle Tangential		Kruhová dráha s tangenciálnym napojením na predchádzajúci a nasledujúci prvok obrysu	Súradnice koncového bodu kruhu	214
Zaoblenia rohov RND angl.: RouNDing of Corner		Kruhová dráha s tangenciálnym napojením na predchádzajúci a nasledujúci prvok obrysu	Polomer rohov R	209
Voľné programovanie obrysu FK		Priamka alebo kruhovú dráhu s ľubovoľným napojením na predchádzajúci prvok obrysu	pozri "Dráhové pohyby – voľné programovanie obrysu FK", Strana 225	229

Priamka L

TNC posúva nástroj po priamke z jeho aktuálnej polohy do koncového bodu priamky. Začiatkový bod je pritom vlastne koncový bod predchádzajúceho bloku.



- Súradnice koncového bodu priamok, v prípade potreby
- Korekcia polomeru RL/RR/R0
- Posuv F
- Prídavná funkcia M



Priklady blokov NC

7 L X+10 Y+40 RL F200 M3

8 L IX+20 IY-15

9 L X+60 IY-10

Prevzatie skutočnej polohy

Priamkový blok (blok L) môžete generovať tiež tlačidlom „PREVZIAŤ SKUTOČNÚ POLOHU“:

- Nabehnite nástrojom v prevádzkovom režime Ručný režim do polohy, ktorá sa má prevziať
- Prepnete zobrazenie na monitore na Uložiť/Editovať program
- Zvoľte programový blok, za ktorý sa má blok L vložiť



- Stlačte tlačidlo „PREVZIAŤ SKUTOČNÚ POLOHU“: TNC vygeneruje blok L so súradnicami skutočnej polohy

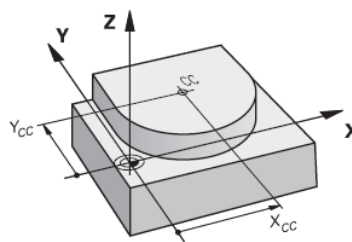
Stred kruhu CC

Stred kruhu určíte pre kruhové dráhy, ktoré naprogramujete s tlačidlom C (kruhová dráha C) , alebo . Na tento účel

- zadajte pravouhlé súradnice stredu kruhu v rovine obrábania, alebo
- použite naposledy naprogramovanú polohu, alebo
- prevzmete súradnice pomocou tlačidla „PREVZIAT SKUTOČNÚ POLOHU“



- Vložte súradnice pre stred kruhu alebo na prevzatie poslednej naprogramovanej polohy: Nezadané súradnice



Priklady blokov NC

5 CC X+25 Y+25

alebo

10 L X+25 Y+25

11 CC

Riadky programu 10 a 11 sa nevzťahujú na obrázok.

Platnosť

Stred kruhu zostane zadefinovaný až dovtedy, pokiaľ nenaprogramujete nový stred kruhu.

Inkrementálne zadanie stredu kruhu

Inkrementálne zadanie súradnice pre stred kruhu sa vždy vzťahujú na naposledy naprogramovanú polohu nástroja.



- Pomocou CC označíte určitú polohu ako stred kruhu: Nástroj nenabíha do tejto polohy. Stred kruhu je zároveň pólom pre polárne súradnice.

Kruhová dráha C okolo stredu kruhu CC

Predtým, než naprogramujete kruhovú dráhu, musíte zadefinovať stred kruhu CC. Začiatočným bodom kruhovej dráhy je posledná naprogramovaná poloha nástroja pred kruhovou dráhou.

- Nábeh nástroja na začiatočný bod kruhovej dráhy



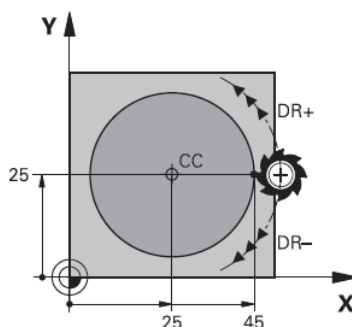
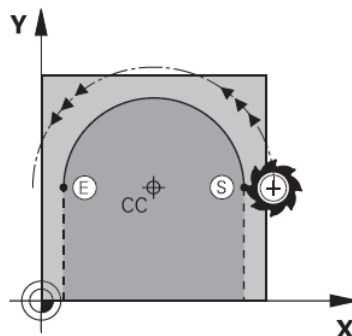
- **Zadajte súradnice** stredu kruhu



- **Zadajte súradnice** koncového bodu kruhového oblúka, v prípade potreby:
- **Smer otáčania DR**
- **Posuv F**
- **Prídavná funkcia M**



- TNC vykonáva kruhové pohyby bežne v aktívnej rovine obrábania. Ak naprogramujete kruhy, ktoré neležia v aktívnej rovine obrábania, napr. C Z... X... DR+ pri osi nástroja Z a ak súčasne tieto pohyby rotujú, prebieha TNC po priestorovom kruhu, teda po kruhu v 3 osiach (voliteľný softvér 1).



Priklady blokov NC

5 CC X+25 Y+25

6 L X+45 Y+25 RR F200 M3

7 C X+45 Y+25 DR+

Plný kruh

Pre koncový bod naprogramujte rovnaké súradnice ako pre bod začiatočný.



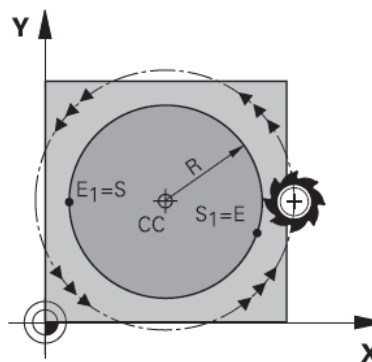
- Začiatočný a koncový bod kruhového pohybu musia ležať na kruhovej dráhe.
- Tolerancia vstupu: do 0,016 mm (voliteľná parametrom stroja **circleDeviation**).
- Najmenší kruh, ktorý dokáže TNC opísať: 0,0016 µm.

Kruhová dráha CR so stanoveným polomerom

Nástroj sa posúva po kruhovej dráhe s polomerom R.



- **Súradnice** koncového bodu kruhového oblúka
- **Polomer R** Pozor: Znamienko určuje veľkosť kruhového oblúka!
- **Smer otáčania DR** Pozor: Znamienko určuje konkávne alebo konvexné zakrivenie!
- **Pridavná funkcia M**
- **Posuv F**



Plný kruh

Pre úplný kruh naprogramujte dva bloky kruhu za sebou:

Koncový bod prvého polkruhu je začiatočným bodom druhého polkruhu. Koncový bod druhého polkruhu je začiatočným bodom prvého polkruhu.

Stredový uhol CCA a polomer kruhového oblúka R

Začiatočný a koncový bod na obryse sa dajú vzájomne spojiť prostredníctvom štyroch rôznych kruhových oblúkov s rovnakým polomerom.

Menší kruhový oblúk: $CCA < 180^\circ$

Polomer má kladné znamienko $R > 0$

Väčší kruhový oblúk: $CCA > 180^\circ$

Polomer má záporné znamienko $R < 0$

Prostredníctvom smeru otáčania zadefinujete, či je kruhový oblúk zakrivený navonok (konvexne) alebo dovnútra (konkávne):

Konvexne: Smer otáčania **DR-** (s korekciou polomeru **RL**)

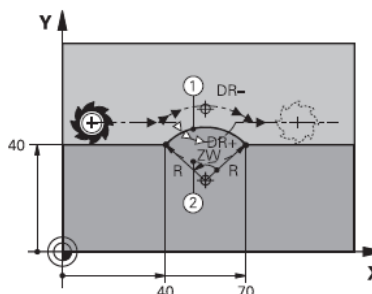
Konkávne: Smer otáčania **DR+** (s korekciou polomeru **RL**)



Vzdialenosť začiatočného a koncového bodu priemeru kruhu nesmie byť väčšia ako samotný priemer.

Maximálny polomer je 99,9999 m.

Podporujú sa uhlové osi A, B a C.



Príklady blokov NC

10 L X+40 Y+40 RL F200 M3

11 CR X+70 Y+40 R+20 DR- (OBLÚK 1)

alebo

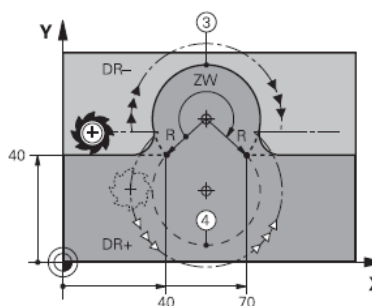
11 CR X+70 Y+40 R+20 DR+ (OBLÚK 2)

alebo

11 CR X+70 Y+40 R-20 DR- (OBLÚK 3)

alebo

11 CR X+70 Y+40 R-20 DR+ (OBLÚK 4)



12.17 Podprogramy a opakovania častí programu

Označenie podprogramov a opakovaní časti programu

Raz naprogramované obrábacie kroky môžete nechať vykonávať opakovane pomocou podprogramov a opakovaní časti programu.

Návestie (label)

Podprogramy a opakovania časti programu začínajú v obrábacom programe značkou **LBL**, čo je skratka pre LABEL (angl. návestie, označenie).

LABEL (návestie) dostanú číslo od 1 do 999 alebo názov, ktorý im určíte. Každé číslo návestia, resp. každé meno návestia smiete v programe použiť len raz pomocou tlačidla LABEL SET. Počet vložených mien návestí je obmedzený len internou pamäťou.

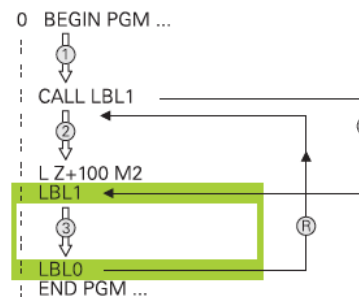


Nepoužívajte číslo návestia, resp. názov návestia viackrát!

Label 0 (**LBL 0**) označuje koniec podprogramu a smie sa preto použiť ľubovoľne často.

Spôsob vykonávania

- 1 TNC vykoná obrábací program až po vyvolanie podprogramu **CALL LBL**
- 2 Od tohto miesta spracováva TNC vyvolaný podprogram až po koniec podprogramu **LBL 0**
- 3 Potom pokračuje TNC v obrábacom programe s blokom, ktorý nasleduje za vyvolaním podprogramu **CALL LBL**



Pripomienky pre programovanie

- Hlavný program môže obsahovať až 254 podprogramov
- Podprogramy môžete vyvolávať ľubovoľne často v ľubovoľnom poradí
- Podprogram nesmie vyvolávať sám seba
- Podprogramy programujte na konci hlavného programu (za blokom s M2, resp. M30)
- Ak sa podprogramy nenachádzajú v obrábacom programe pred blokom s M2 alebo M30, vykonajú sa minimálne raz aj bez vyvolania

Programovanie podprogramu

LBL SET

- Označte začiatok: Stlačte kláves LBL SET
- Vložte číslo podprogramu. Ak chcete použiť názov návestia: Stlačte softvérové tlačidlo LBL-NÁZOV na prechod do vloženia textu
- Označte koniec: Stlačte kláves LBL SET a vložte číslo návestia „0“

Vyvolanie podprogramu

LBL CALL

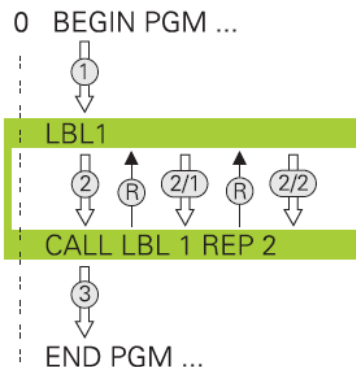
- Vyvolanie podprogramu: Stlačte tlačidlo LBL CALL
- **Číslo návestia:** Zadajte číslo návestia vyvolávaného podprogramu. Ak chcete použiť meno NÁVESTIA: Stlačte softvérové tlačidlo LBL-NÁZOV na prechod do vloženia textu. Ak chcete vložiť ako cieľovú adresu číslo parametra reťazca: Stlačte softvérové tlačidlo QS, TNC prejde následne na meno návestia, ktoré je uvedené v definovanom parametre reťazca
- **Opakovania REP:** Dialóg preskočte stlačením tlačidla NO ENT. Opakovania REP sa používajú len pri opakovaní častí programu



CALL LBL 0 nie je povolené, pretože zodpovedá vyvolaniu konca podprogramu.

Návestie LBL

Opakovania časti programu začínajú značkou **LBL**. Opakovania časti programu sú ukončené značkou **CALL LBL n REPn**.



Spôsob vykonávania

- 1 TNC vykoná obrábací program až po koniec časti programu (**CALL LBL n REPn**)
- 2 Následne zopakuje TNC časť programu medzi vyvolaným NÁVESTÍM a vyvolaním návestia **CALL LBL n REPn** toľkokrát, koľko ste uviedli pod **REP**
- 3 Potom TNC spracuje obrábací program ďalej

Pripomienky pre programovanie

- Časť programu môžete opakovať až 65 534-krát po sebe
- Časť programu vykoná TNC vždy o jedenkrát navyše, ako je naprogramovaný počet opakovaní

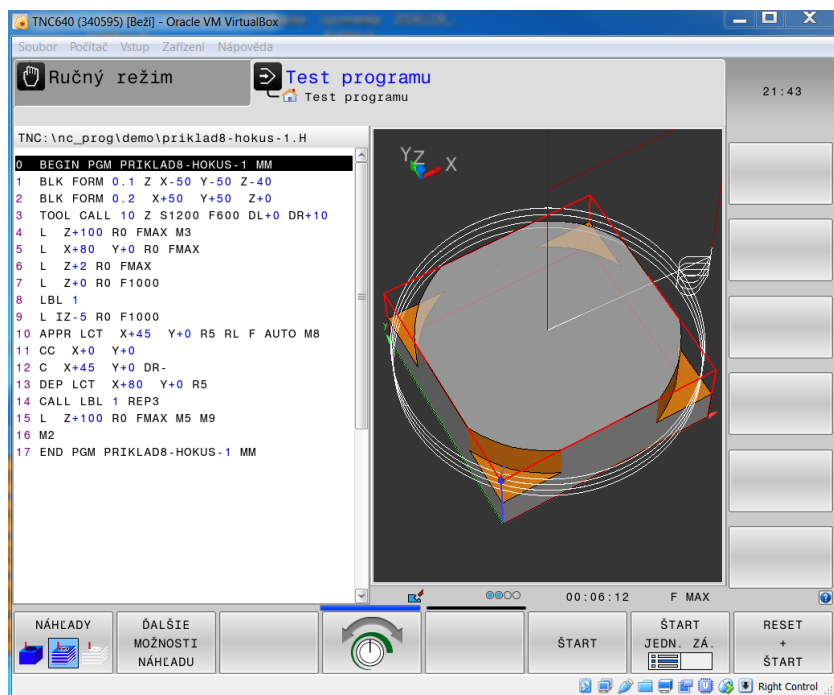
Programovanie opakovania časti programu

- LBL SET**
 - Označte začiatok: Stlačte kláves LBL SET a vložte číslo LABEL pre časť programu, ktorá sa má opakovať. Ak chcete použiť názov návestia: Stlačte softvérové tlačidlo LBL-NÁZOV na prechod do vloženia textu
 - Vložte časť programu

Vyvolanie opakovania časti programu

- LBL CALL**
 - Stlačte kláves LBL CALL
 - **Vyvolanie podprogr./opakovanie:** Zadajte číslo návestia pre časť programu, ktorá sa má opakovať, vstup potvrdte tlačidlom ENT. Ak chcete použiť meno LABEL (návestia): Stlačte tlačidlo " na prechod do vloženia textu. Ak chcete vložiť ako cieľovú adresu číslo parametra reťazca: Stlačte softvérové tlačidlo QS, TNC prejde následne na meno návestia, ktoré je uvedené v definovanom parametri reťazca
 - **Opakovanie REP:** Vložte počet opakovaní, vstup potvrdte tlačidlom ENT

Príklad programu v režime *test programu* s nábehom na obrys a opustenie:



13. TVORBA CNC PROGRAMOV S VYUŽITÍM SYSTÉMU NX6

Tvorba programov pre tvarovo zložitú súčiastku, akými sú napríklad formy, programovanie obrábacích centier s viacerými riadenými osami, by bolo bez použitia CAD/CAM systémov takmer nemožné. Príspevok sa zaoberá tvorbou CNC programov v softvéri NX6 od firmy Siemens PLM Software, pomocou ktorých sa majú vyrobiť dve súčiastky operáciou sústruženia, ktorých zmontovaním vznikne šachová figúrka.

Softvér NX6 je komplexný CAD/CAM/CAE systém. Tento systém vznikol zlúčením dvoch softvérov, a to Unigraphics a I-DEAS. Poskytuje užívateľovi nástroje pre tvorbu digitálnych modelov, zostáv, analýz (FEM aj CFD), tvorbu výkresovej dokumentácie, tvorbu CNC programov so vstavanou simuláciou obrábania až po kontrolu kvality či správu dát a projektov. Všetky moduly sú integrované v jedinom komplexnom riešení, čím odpadá nutnosť konverzie dát medzi jednotlivými modulmi.

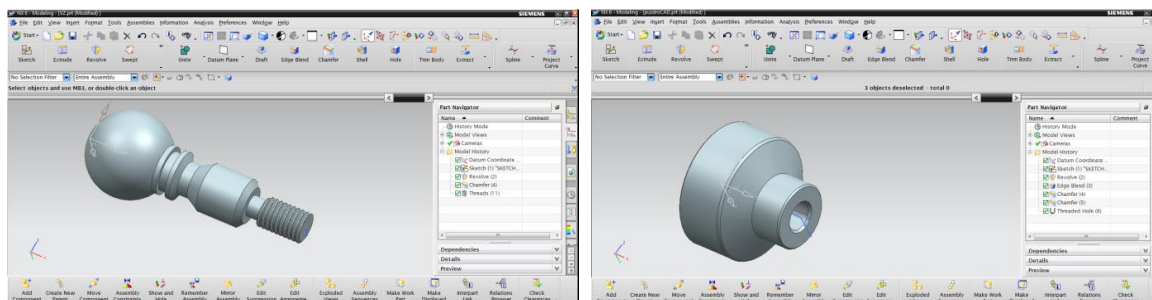
Proces tvorby programu v CAD/CAM systéme pozostáva z niekoľkých krokov. Na začiatku je v prípade absencie 3D modelov potrebné tieto modely vytvoriť v module Modeling (CAD). Ďalším krokom je vytvorenie zostavy, ktorú tvorí model vyrábanej súčiastky a model polotovaru. Samotná tvorba programu sa uskutočňuje v module Manufacturing (CAM) a pozostáva z nasledujúcich krokov:

- výber nastavenia – sústruženie, frézovanie, atď.
- definícia geometrie
- vytvorenie nástrojov
- vytvorenie operácií
- vygenerovanie CNC programu

13.1 Tvorba 3D modelov

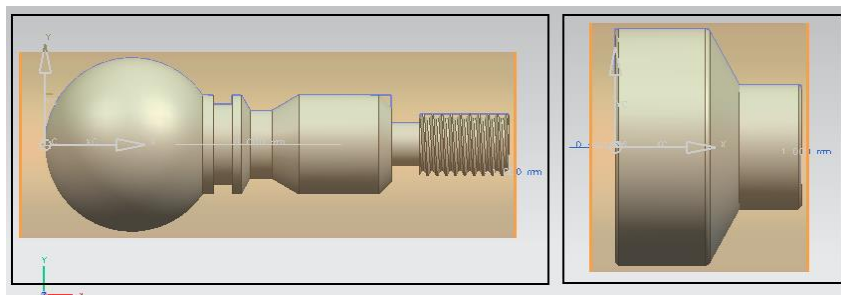
Nutnou podmienkou pre tvorbu CNC programu a simulácie obrábania je existencia CAD modelov. Po vytvorení sa modely následne použijú v module CAM, kde sú vytvorené jednotlivé úseky danej operácie obrábania a pomocou postprocesora je vygenerovaný CNC program pre konkrétny riadiaci systém a obrábací stroj.

Modely boli vytvorené v module Modeling (CAD), ktorý je integrovaný v systéme NX6. V princípe je ovládanie veľmi intuitívne. Existuje viacero typov vytvárania modelov. Na začiatku modelovania sa vytvorila vo vybranej rovine skica (*Sketch*) – v tomto prípade profil, ktorý sa po prepnutí do 3D priestoru rotoval okolo osi. Tým sa vytvorilo priestorové teleso. Obe súčiastky boli vytvorené týmto spôsobom. V module je možnosť vytvárania zložitých objektov, ktoré môžu vznikať ťahaním, rotáciou, odoberaním materiálu a pod. Na obr. 13.1 sú znázornené namodelované súčiastky, ktoré sa po vytvorení NC programu v module CAM aj vyrobili.



Obr. 13.1 Vytvorený model súčiastky – hriadeľa puzdro

Ďalej bolo nutné vytvoriť modely polotovarov a následne súčiastky s príslušnými polotovarmi zmontovať v module Assemblies. Polotovar pre hriadeľ mal rozmery $\varnothing 30 \times 80$ a pre puzdro $\varnothing 40 \times 35$. Na základe vzájomnej polohy súčiastky a polotovaru boli vytvárané jednotlivé úseky operácie sústruženia. Na obr. 13.2 sú jednotlivé zostavy polotovarov a obrobkov, ktoré boli následne použité v module CAM.



Obr. 13.2 Vytvorené zostavy

13.2 Tvorba CNC programov

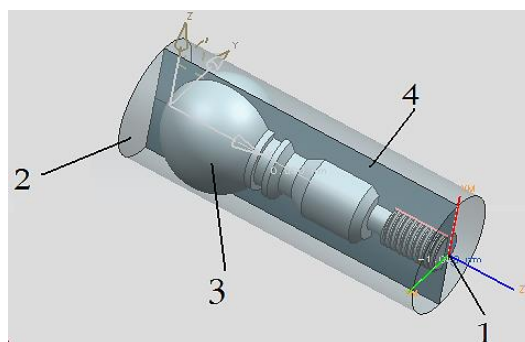
NX CAM predstavuje nástroj určený pre tvorbu CNC programov. Tento modul obsahuje translátory pre všetky najpoužívannejšie CAD systémy a výmenné formáty ako sú IGES, STEP, Parasolid, JT, vďaka čomu je použiteľný so všetkými najrozšírenejšími CAD systémami na trhu. NX CAM poskytuje užívateľovi na výber širokú škálu nástrojov pre frézovanie, sústruženie, drôtové rezanie, sústružnícko – frézovacie operácie, vrtanie a pod. Jeho súčasťou je možnosť verifikácie vytvorených programov vrátane simulácie práce celého stroja. Výstup je možno vytvoriť pre akýkoľvek stroj a riadiaci systém, pretože súčasťou programu je aj nástroj na vytváranie postprocesorov - Postbuilder.

Práca v NX CAM pozostáva z nasledujúcich krokov:

- výber nastavenia – sústruženie, frézovanie, atď.
- definovanie geometrie
- vytvorenie nástrojov
- vytvorenie operácii
- vytvorenie NC programu

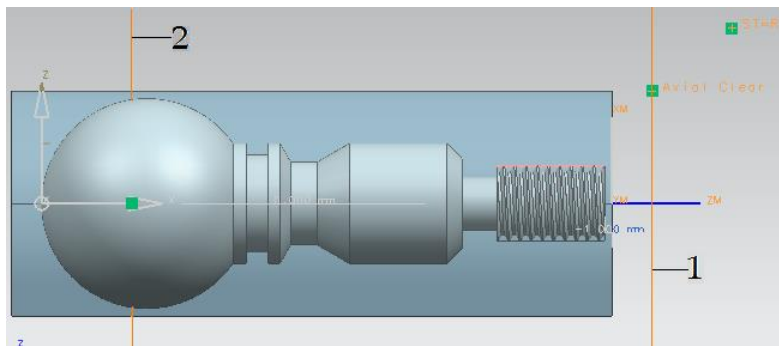
13.3 Definícia geometrie

V tomto kroku sa definuje súradný systém (1), rovina (4), v ktorej sa bude nástroj pohybovať (obr. 13.3), geometria polotovaru (2) a geometria, ktorá sa bude obrábať (3).



Obr. 13.3 Definovanie geometrie

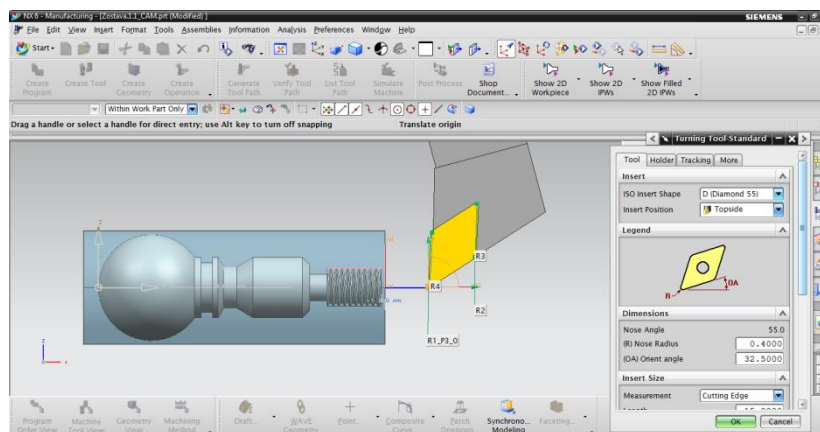
Ďalším krokom je definícia kolíznych oblastí (obr. 13.4). Spočíva v nadefinovaní roviny, ktorá zabezpečí bezpečnú vzdialenosť nástroja od obrobku (1) a roviny zabezpečujúcej bezpečnú vzdialenosť nástroja od upínacej hlavy (2). V NX CAM je možnosť zadefinovať všetky parametre dopredu, čím sa preniesú na všetky podriadené objekty.



Obr. 13.4 Definícia kolíznych oblastí

13.4 Vytváranie nástrojov

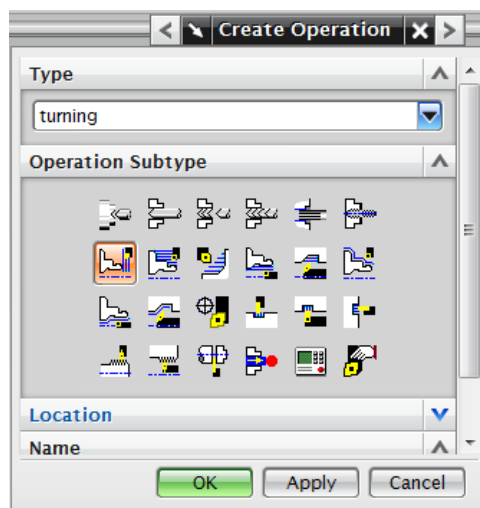
Nástroje je možné vytvoriť počas nastavovania parametrov alebo počas definovania samotných operácií. Výber nástrojov závisí na vopred vybranom spôsobe obrábania. Možno využiť aj knižnicu nástrojov, ktorú systém obsahuje. Pri nástrojoch je potrebné zadefinovať ich geometriu, materiál, prípadne držiak nástroja. Pre správnosť NC programu je nutné zadať aj umiestnenie v revolverovej hlave a prislúchajúcu korekciu nástroja, ktorá sa po vyvolaní nástroja vyvolá spolu s ním (obr. 13.5).



Obr. 13.5 Vytváranie nástrojov

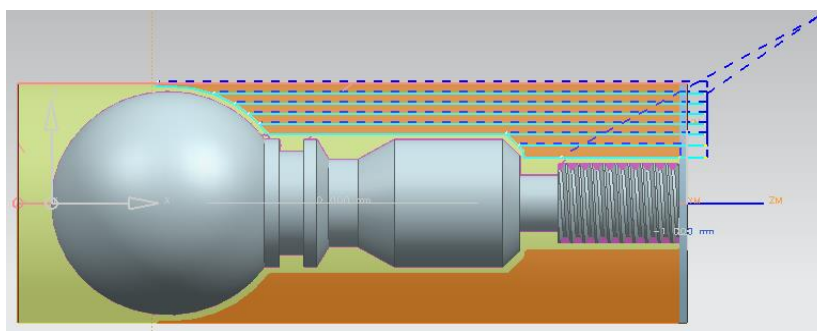
13.5 Definovanie elementárnych operácií

Po zadefinovaní geometrie a vytvorení nástrojov možno vytvoriť jednotlivé úseky danej operácie – elementárne operácie. V systéme NX6 sú jednotlivé úseky označované pojmom operácie (obr. 13.6). V úvodnom dialógovom okne sa vyberá spôsob obrábania, na základe ktorého sa zobrazia možnosti výroby jednotlivých typov plôch – v danom prípade sústruženie čelnej plochy, sústruženie obrysu na hrubo, vytváranie závitu, zápichu, atď.



Obr. 13.6 Dialógové okno pre vytváranie úsekov operácie

Pri definovaní operácie sa musí zadať súradný systém, nástroj, ktorým sa daná operácia vykonáva, stratégia obrábania, hĺbka záberu, spôsob pohybu nástroja pri obrábaní, čím sa dá predchádzať kolíznym situáciám (obr. 13.7).

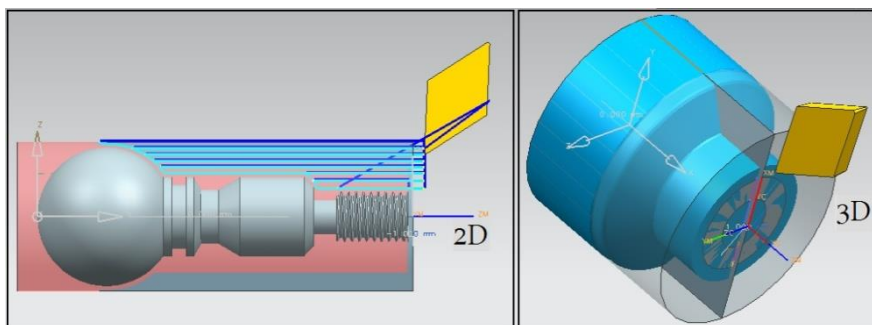


Obr. 13.7 Vygenerovaná dráha pre operáciu sústruženie obrysu na hrubo

Technologické parametre ako otáčky, posuv príp. rezná rýchlosť si môže užívateľ zadať sám, alebo ak je zadaný materiál polotovaru a nástroja spolu s jeho geometriou, systém dokáže automaticky vygenerovať vhodné rezné podmienky.

13.6 Simulácia obrábania

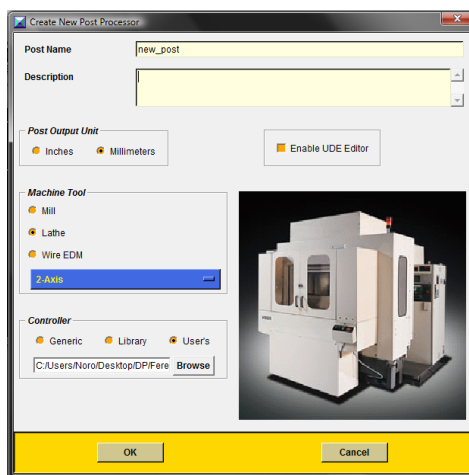
Po vygenerovaní dráh nástroja je možné spustiť simuláciu celej operácie. Pomocou tohto nástroja máme možnosť zistiť prípadné kolízie nástroja s obrobkom, prípadne s upínacou hlavou. Na výber je viacero možností simulácie, od zobrazenia pohybu nástroja v definovanej rovine cez 2D Dynamic, kde sa nástroj pohybuje vo zvolenej rovine a odoberá materiál, až po 3D Dynamic (obr. 13.8).



Obr. 13.8 – 2D a 3D simulácia obrábania

13.7 Generovanie CNC programu

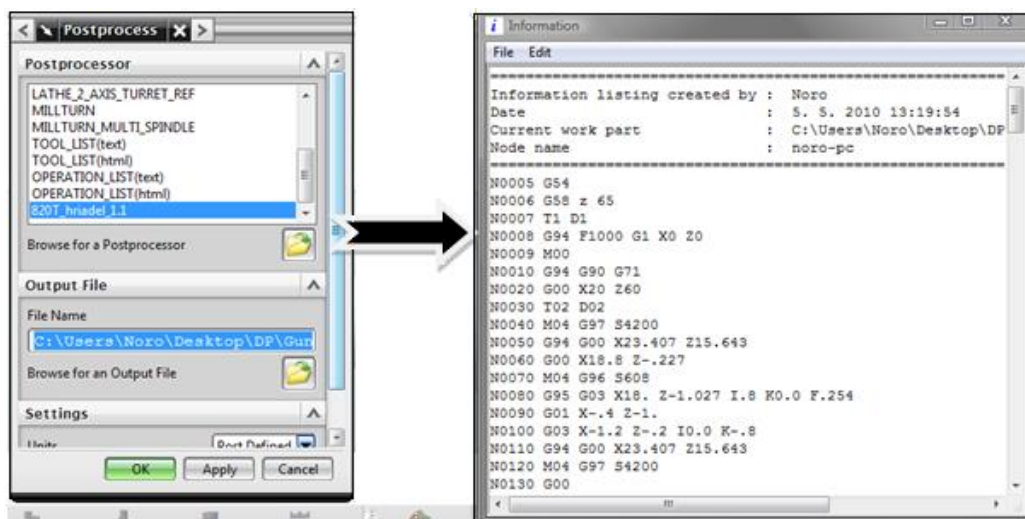
Výstupom z predchádzajúcich činností sú tzv. CL Data (Cutter Location Data), čo je všeobecná forma zápisu. Na to, aby bol systém schopný vygenerovať CNC program zrozumiteľný pre daný stroj a príslušný riadiaci systém, je nutné tieto CL Data transformovať pomocou postprocesora. Postprocessor predstavuje softvérový prevodník medzi všeobecnými dátami z CAD/CAM systému do formy zrozumiteľnej danému riadiacemu systému a obrábaciemu stroju. Cieľom je vytvoriť postprocessor, ktorý obsahuje všetky informácie o obrábacom stroji potrebné na to, aby bolo možné naplno využiť jeho výrobný potenciál. Väčšina CAM systémov má v databáze najčastejšie používané postprocesory. Nakoľko riadiaci systém Sinumerik 820T nepatrí medzi najpoužívannejšie a v databáze sa nenachádza, bol pre danú aplikáciu vytvorený postprocessor v tzv. Postbuilderi, ktorý je súčasťou programového vybavenia systému NX6 (obr. 13.9).



Obr. 13.9 Úvodné dialógové okno v Postbuilderi

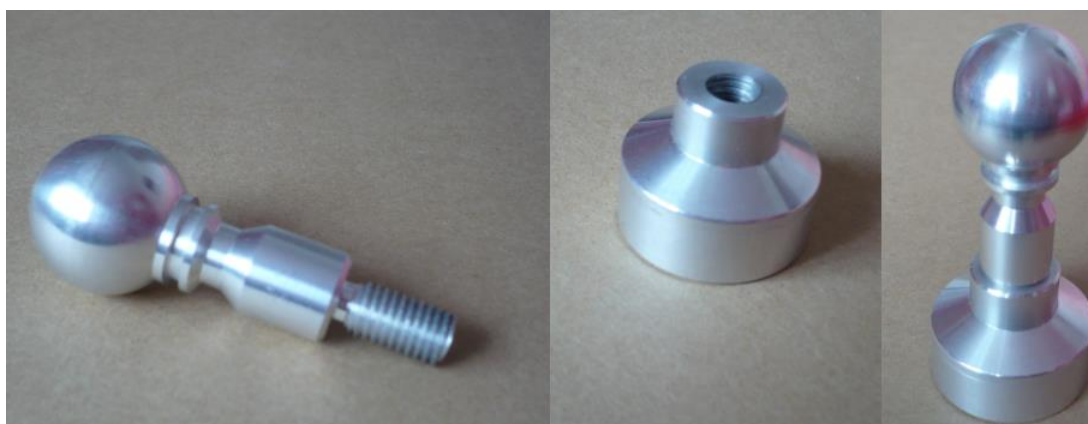
V úvodnom dialógovom okne je možnosť výberu pre aký typ stroja a v akých mierach bude postprocessor vytvorený. Po zadaní prvotných údajov sa prechádza k samotnej tvorbe postprocesora. V jednotlivých dialógových oknách sa bližšie špecifikujú vlastnosti stroja, G a M funkcie, jednotlivé cykly obrábania, príkazy definované užívateľom. Zadáva sa postupnosť slov vo vete, ich vlastnosti, nastavujú sa výstupy z programu.

Po vytvorení postprocesora sa môže v systéme NX vygenerovať CNC program vo formáte zrozumiteľnom pre daný stroj a riadiaci systém (obr. 13.10).



Obr. 13.10 Aplikácia postprocesora a vygenerovanie programu

Na verifikáciu správnosti riešenia boli vyrobené dve navzájom zmontovateľné súčiastky na základe vytvorených CNC programov. Súčiastky boli navrhnuté tak, aby v sebe zahrňali maximálne množstvo plôch, ktoré možno vyrobiť operáciou sústruženia pri danom nástrojovom vybavení (obr. 13.11).



Obr. 13.11 Vyrobené súčiastky

Vývoj v oblasti CAD/CAM systémov je podmienený vývojom jednotlivých výrobných technológií a technologickou vyspelosťou moderných CNC riadených strojov. Moderné CAD/CAM systémy musia plne zodpovedať dnešným trendom v oblasti obrábania ako sú 5–osé obrábanie, vysokorýchlostné obrábanie (High-speed machining), multifunkčné obrábacie centrá, odmeriavanie na stroji pomocou dotykových sond, priame prepojenie na obrábací stroj pomocou DNC. Súčasťou sú aktualizované databázy strojov a nástrojového vybavenia. Systém NX obsahuje modul na verifikáciu vygenerovaného G-kódu, následkom čoho nevznikajú prestoje v dôsledku testovania programu na stroji.

Systém NX predstavuje vďaka rôznym modulom komplexný nástroj pre rýchly vývoj produktov. Použitie takýchto systémov umožňuje firmám uvádzať ich produkty na trh rýchlejšie, zvýšiť ich kvalitu, znižovať náklady na prípravu výroby a zároveň efektívnejšie využívať informácie o postupoch a produktoch v rámci inovácií.

14. ZÁVER

Svet INDUSTRY 4.0 je postavený na tom, že ľudia, stroje, zariadenia, logistické systémy a produkty dokážu navzájom priamo komunikovať a spolupracovať. Všetko speje k totálnemu zosieťovaniu. Dôvodom je využitie obrovského množstva doteraz nezachytiteľných informácií na podstatne rýchlejšie a správnejšie rozhodovanie. Tesné prepojenie produktov, zariadení, ľudí zvyšuje efektívnosť výrobných strojov a zariadení, znižuje náklady a šetrí zdroje. Inteligentné sledovanie a transparentné procesy poskytujú spoločnostiam neustály prehľad, ktorý im umožní pružne a rýchlo reagovať na zmeny na trhoch. Podniky smerujú k tzv. inteligentnej (Smart) továrni. Výsledkom Inteligentného podniku je inteligentný výrobok, ktorý nie je predražený, a zodpovedá individuálnym potrebám zákazníka. Pre výrobcu je pritom profitabilný.

1. *Vertikálne prepojenie* inteligentných výrobných systémov, ako sú inteligentné továrne a inteligentné výrobky, a prepojenie napríklad inteligentnej logistiky, výroby a marketingu a inteligentných služieb so silnou orientáciou na potreby, individuálne a konkrétne možnosti zákazníka
2. *Horizontálna integrácia* prostredníctvom novej generácie globálnych sietí vytvárajúcich pridanú hodnotu, vrátane integrácie obchodných partnerov a zákazníkov, nové modely podnikania, a spolupráca naprieč krajinami a kontinentmi
3. *Aplikácia techniky* v priebehu celého hodnotového reťazca, a to nielen vo výrobnom procese, ale aj u hotového výrobku – to znamená, že v celom životnom cykle výrobku
4. *Zrýchlenie cez exponenciálne technológie*, ktoré, aj keď nemusia byť skutočne nové, z hľadiska ich histórie vývoja, ale až teraz sa stanú schopné masového uplatnenia na trhu, pretože ich cena rapídne klesne (napr. rôzne senzory) a ich výkon rastie masívne.

Autori sa domnievajú, že publikácia pomôže získať poznatky nielen pracovníkom v priemysle v ich ďalšom vzdelávaní, ale aj študentom fakúlt s technickým zameraním v dopĺňaní poznatkov z viacerých odborných predmetov ako „Programovanie CNC systémov“, „Programovanie výrobnéj a manipulačnej techniky“, ktoré sa v súčasnosti vyučujú na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave, Strojníckej fakulte, Technickej univerzite v Košiciach tak v slovenskom ako aj v anglickom jazyku.

15. LITERATÚRA

- [1] Králik, M. – Morávek, I.: Programovanie CNC výrobných strojov. Slovenská technická univerzita, vyd. FX s.r.o. Bratislava 2008, ISBN: 978-80-89313-36-5. 141 s.
- [2] Softwarebeschreibung EMCO WinNC Sinumerik 810/820 T. EMCO MAIER Gesellschaft mbH., Hallein 1996
- [3] Matejíčka, Ľ.: Sústruh EMCO PC Turn 50. Obsluha a programovanie. SPŠ Martin, Centrum nových technológií, 1995
- [4] Rybín, P., Rafaj, J.: Obsluha a programování CNC strojů. Vydavatelství ČVUT, 1995.
- [5] Zelený, J.: Vysokorychlostní obrábění aneb Obráběcí stroje a technologie na přelomu století. Special MM Průmyslové spektrum. Vogel. 2000.
- [6] Marek, J.: Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM Průmyslové spektrum. Speciální vydání. Září 2006, CZK 99, ISSN 1212-2572
- [7] Demeč, P.: Číslíkové riadenie obrábacích strojov. Študijný materiál v rámci projektu KEGA 3/3064/05.
- [8] Budiský, R.: CNC sústružnícke stroje. Bakalárska práca. Vedúci práce doc. Ing. Marian Králik, CSc., Strojnícka fakulta STU v Bratislave, 2007.
- [9] Krsek, A. – Bachratý, M. *Základy kontroly kvality geometrických parametrov výrobkov*. Bratislava : FX s. r. o., 2008. 155 s. ISBN 978-89313-37-2.
- [10] Krsek, A. – Ossana, P. H. – Kuric, I. – Prostředník, D. *Strojárska metrológia a riadenie kvality*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1998. 290 s. ISBN: 80-227-1025-3.
- [11] DEA GLOBAL PRODUCTION LIST. [online]. [2009-04-10]. Dostupné na: <http://www.hexagonmetrology.com/cmms-large_222.htm>
- [12] SP25M TECHNICAL PAPER. [online]. [2009-02-18]. Dostupné na: <[http://resources.renishaw.com/details/SP25M+Technical+Paper\(3873\)>](http://resources.renishaw.com/details/SP25M+Technical+Paper(3873)>)
- [13] SP25M – FCR25 – ACR3 system installation, integration and user's guide. [online]. [2009-03-25]. Dostupné na: <[http://resources.renishaw.com/details/SP25M%2c+FCR25%2c+ACR3+system+Installation%2c+integration+and+user%27s+guide+\(21864\)>](http://resources.renishaw.com/details/SP25M%2c+FCR25%2c+ACR3+system+Installation%2c+integration+and+user%27s+guide+(21864)>)
- [14] STYLI AND ACCESSORIES – TECHNICAL SPECIFICATIONS GUIDE. [online]. [2009-03-25]. Dostupné na: [http://resources.renishaw.com/details/Styli+and+accessories+-+technical+specifications+guide\(21786\)](http://resources.renishaw.com/details/Styli+and+accessories+-+technical+specifications+guide(21786))
- [15] STN EN ISO 10360-4:2000. Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 4: CMM používané v režime merania skenovaním.
- [16] STN EN ISO 10360-1:2000: Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 1: Slovník.
- [17] WILCOX ASSOCIATES, HEXAGON METROLOGY. *Reference manual PC-DMIS 4.3*. 2007.
- [18] STN ISO 1219-1 (013623) Tekutinové hnacie systémy a prvky. Grafické symboly a schémy obvodov. 1. časť: Grafické symboly
- [19] Buda, J. – Kováč, M.: Priemyselné roboty Bratislava: Alfa, 1977, 254 s.
- [20] Michalik, P., Duplák, J., Kormoš, M.: Číslíkové riadené obrábacie stroje a ich programovanie. Prešov 2016, 24 s. ISBN: 978-80-553-1837-0.
- [21] Michalik, P., Zajac, J.: Intelligently programming of holes machining. In: Výrobné inžinierstvo. Roč. 9, č. 4 (2010), s. 63-65. - ISSN 1335-7972
- [22] <http://www.peps.cz/virtual.html>, 16.6.2017
- [23] <http://www.cimco.com/>

- [24] TNC 640. Používateľská príručka popisných dialógov HEIDENHAIN. Softvér NC 340590-02, 340591-02, 340594-02. 892903-W0 Ver00 SW02 11/2014 H Printed in Germany. Dostupné aj na https://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC640/34059x-07/bhb/892903-W4.pdf (20.11.2018)

Názov: PROGRAMOVANIE CNC SYSTÉMOV *Akademická učebnica*
<https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2023.3>

Autori: Marian KRÁLIK, Doc. Ing. CSc.
Witold BIAŁY, dr hab. inż. prof. ITG KOMAG
Peter MICHALIK, Doc. Ing. PhD. Ing.- Paed. IGIP
Pavol BOŽEK, Dr.h.c. Prof. Ing. CSc.
Ivan MORÁVEK, Ing. PhD.

Recenzenti: Michal KELEMEN, prof. Ing., PhD.
Elena PIVARČIOVÁ, prof. Mgr. PhD.
Vladimír VAŠEK, prof. Ing. CSc.

Vydavateľ nezodpovedá za akékoľvek jazykové chyby v knihe: Táto zodpovednosť je len na autoroch.

Vyrobil: SWEL s.r.o. Tuchyňa 202, 018 55 Tuchyňa
Rok vydania: 2023
Vydanie: 1
Počet strán: 163
Náklad: 100 ks.

Predloženú publikáciu schválila Kultúrna a Edukačná Grantová Agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky ako akademickú učebnicu, v rámci riešenia projektu KEGA 035STU-4/2017 „Zavedenie progresívnych metód vzdelávania pre výrobné systémy zamerané na automobilovú produkciu“, projektu KEGA 006STU-4/2021 „Progresívna forma interdisciplinárneho vzdelávania a podpory rozvoja štúdia odborných predmetov v univerzitnom prostredí“ a financovaním z projektu VEGA 1/0488/23 „Výskum vplyvu nových technológií kompozitných materiálov na konštrukčné parametre technologických zariadení s využitím experimračných metód“.

Za technickú stránku textu a za konečnú verziu rukopisu zodpovedajú autori. Všetky práva vyhradené.

Autori: © Marian Králik, Witold Biały, Peter Michalík, Pavol Božek, Ivan Morávek

Učebnica je dostupná v elektronickej verzii. Odkaz na stránku:
<https://www.komag.eu/wydawnictwa/monografie/cyfrowa-gospodarka>



ISBN 978-83-65593-35-1