Technológia
4.ročník

Ing. Ján Turčáni
Ing. Ján Balušík

Považská Bystrica 2011

Názov: Technológia 4. ročník

Autor: Ing. Ján Turčáni
Ing. Ján Balušík
Odborný garant: Bc. Slavomír Hajdúch
Vydavateľ: Stredná odborná škola strojnícka, Považská Bystrica

OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV 6
ÚVOD 7
1. TEÓRIA OBRÁBANIA 8
1.1. Mechanické obrábanie – obrábanie rezaním 9
1.1.1. Hlavné a vedľajšie pohyby 9
2. TUHOSŤ TECHNOLOGICKEJ SÚSTAVY 11
2.1. Pojem tuhosti 11
2.1.1. Určenie celkovej tuhosti technologickej sústavy 12
2.1.2. Tuhosť rezného nástroja 12
2.1.3. Tuhosť obrobku 12
2.1.4. Tuhosť obrábacieho stroja 14
2.1.5. Vplyv tuhosti na presnosť obrábania 15
2.1.6. Kmitanie pri obrábaní kovov 16
3. OPTIMALIZÁCIA REZNÝCH PARAMETROV 19
3.1. Maximálna výrobnosť 19
3.1.1. Maximálna hospodárnosť 20
3.1.2. Stanovenie výrobných nákladov 22
3.1.3. Stanovenie optimálnej trvanlivosti 22
4. NOVÉ NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY PRE CNC STROJE 24
4.1. Vlastnosti nástrojových materiálov 24
4.1.1. Trvanlivosť a tvrdosť pri vysokých teplotách 24
4.1.2. Mechanická pevnosť 24
4.1.3. Technologické vlastnosti 25
4.1.4. Skúšky reznosti 27
4.1.5. Rezné nástroje pre HSC – rýchlostné obrábanie 28
4.1.6. Konštrukčné riešenie nástrojov 28
4.1.7. Upínanie nástrojov 29
5. VÝROBNÉ POSTUPY 32
5.1. Druhy výrobných postupov 32
5.1.1. Technologické postupy 32
5.1.2. Požiadavky na vypracovanie technologické postupu 34
5.1.3. Vlastné vypracovanie postupu 36

5.1.4. Technická norma času ... 42
5.1.5. Rozbor postupov ... 44
5.1.6. Technologické podklady pre výrobu súčiastky na programovo (číslicovo riadených obrábacích strojoch) ... 45
6. UPLATNENIE NC A CNC STROJOV VO VÝROBE ... 50
6.1. Charakteristika NC (Numerical control) strojov ... 50
6.1.1. Výhody a prednosti NC strojov pred konvenčnými strojmi ... 50
6.1.2. Charakteristika NC strojov ... 51
6.1.3. Požiadavky na konštrukciu NC a CNC strojov ... 55
6.1.4. Kódy NC strojov ... 56
6.1.5. Číslicovo riadené obrábacie stroje používané vo výrobe ... 59
7. POŽIADAVKY NA REZNÉ NÁSTROE PRE NC A CNC STROJE – UPÍNANIE 77
7.1. Upínanie nástrojov ... 77
7.1.1. Kódovanie nástrojov ... 79
8. NEKONVENČNÉ SPÔSOBY OBRÁBANIA ... 81
8.1. Charakteristika nekonvenčných spôsobov obrábania ... 81
8.2. Rozdelenie nekonvenčných spôsobov obrábania ... 82
8.2.1. Elektroerozívne obrábanie ... 82
8.2.2. Fyzikálne základy elektroerózie ... 83
8.2.3. Pracovné podmienky a charakter výbojov ... 83
8.2.4. Pracovné kvapaliny ... 83
8.2.5. Nástrojové elektródy ... 84
8.2.6. Rozmery nástrojových elektród ... 85
8.3. Elektrokontaktné obrábanie ... 86
8.4. Anódovo - mechanické obrábanie ... 86
8.5. Drôtové elktroiskrové obrábanie ... 87
8.5.1. Príklady technologického využitia elektroerozívnych metód ... 88
8.6. Plazmové obrábanie ... 89
8.6.1. Konštrukcia plazmových horákov ... 89
8.6.2. Obrábanie plazmovým lúčom ... 91
8.7. Obrábanie laserovým lúčom ... 92
8.7.1. Princíp lasera ... 92
8.7.2. Rezonátor ... 92
8.7.3. Základné časti lasera ... 93

8.7.4. Princíp činnosti rubínového lasera 94
8.7.5. Kontinuálny plynový laser 94
8.7.6. Obrobiteľnosť materiálov 95
8.7.7. Využívanie lasera na technické účely 95
8.7.8. Sústruženie s predohrevom pomocou lasera 96
8.7.9. Laserové systémy pri obrábaní materiálov 96
8.8. Obrábanie ultrazvukom 97
8.8.1. Fokusácia a koncentrácia ultrazvukového vlnenia 97
8.8.2. Hlavné časti zariadenia na ultrazvukové obrábanie 98
8.8.3. Obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov ultrazvukom 98
8.8.4. Technologické aplikácie 99
9. HSC – vysokorýchlostné obrábanie (High Speed Cutting) 100
9.1. Procesné prostredie 102
9.2. Geometria rezného klina 102
9.3. Upínanie nástrojov 102
9.4. Stavba HSC obrábacích strojov 102
10. ŽIVOTNÉ PROSTREDIE 105
LITERATÚRA 107

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

r	-	rezný pohyb	
v	-	hlavný pohyb (rezná rýchlosť)	[$m.min^{-1}$]
s	-	posuv	[$mm.min^{-1}$]
p	-	prísuv	[mm]
n	-	otáčky	[ot^{-1}]
D	-	priemer obrobku	[mm]
T	-	trvanlivosť nástroja	[min]
P_{el}	-	výkon elektromotora na štítku	[kW]
h	-	hĺbka rezu	[mm]
α	-	uhol chrbta	[°]
β	-	uhol rezného klina	[°]
γ	-	uhol čela	[°]
δ	-	uhol rezu	[°]
κ	-	uhol nastavenia hlavnej reznej hrany	[°]
κ'	-	uhol nastavenia vedľajšej reznej hrany	[°]
ε	-	vrcholový uhol	[°]
λ	-	uhol sklonu reznej hrany	[°]
M_o	-	ohybový moment	[MPa]
l	-	vyloženie noža	[mm]
k	-	merný rezný odpor	[MPa]
S	-	prierez triesky	[mm^2]
$\sigma_{dov.oh}$	-	dovolené namáhanie v ohybe	[MPa]
W_0	-	modul prierezu	[mm^3]
F	-	celková rezná sila	[N]
R	-	rezný odpor	[N]
F_x	-	axiálna zložka reznej sily	[N]
F_y	-	radiálna zložka reznej sily	[N]

ÚVOD

Neustály technický rozvoj je spojený so zvyšovaním parametrov obrábania výrobných zariadení a konštrukcií, najmä ich jednotlivých výkonov, spoľahlivosti, životnosti a znižovania hmotnosti. Technický pokrok v súčasnosti si v čoraz širšom meradle žiada vývoj a použitie nových obrábaných a rezných materiálov. Z tohto vyplýva ja požiadavka konštrukcie výkonných vysokootáčkových strojov (HSC – vysokorýchlostné obrábanie). Produkcia trhom požadovaných výrobkov, ktoré prinášajú výrobcovi zisk je cieľom každého výrobného podniku. Pre splnenie tohto cieľa musí podnik vytvoriť vhodné podmienky, ktoré treba pružne meniť vzhľadom na prebiehajúce zmeny na trhu. Tieto sa výrazne prejavujú hlavne v poslednom období. Vzrástla náročnosť trhu, zvýšila sa konkurencia výrobcov, zdraželi suroviny, skracujú sa cykly životnosti výrobkov a narastá ich variantnosť. Zákazníci požadujú kratšie dodacie termíny, časovo presné dodávky, rastie tlak na znižovanie cien výrobkov, čo pre strojársky priemysel znamená nasadiť do výrob CNC stroje a zariadenia. Zoradenie týchto strojov do pružných výrobných systémov (PVS) je výhodné pre rýchlu zmenu jedného typu výrobku na iný. V kontexte tejto reality stojí inžinier vo výrobnom procese. Nevyhnutnou súčasťou vedomostí výrobného inžiniera, najmä technológa musí byť znalosť nielen trieskových a bez trieskových technológií ale i nekonvenčných metód obrábania, ktoré pod ekonomickým tlakom a tlakom pružnosti trhového prostredia nachádzajú stále rozsiahlejšie uplatnenie vo výrobných podnikoch. Tieto metódy často umožňujú výrazné zvyšovanie produktivity v porovnaní s používanými technológiami. Ďalším výrazným znakom je používanie super zliatin niklu. Na tomto základe sú materiály typu Nimonic, ktoré sú výhodné pre namáhané súčiastky plynových turbín, hlavných lopatiek. Technologické spracovanie týchto zliatin je však obtiažne. Napriek tomu, že súčasné trendy v technológií výroby súčiastok sa zameriavajú na potrebu znižovania výrobných nákladov, na využitie presného odlievania a tvárnenia, obrábanie ostane naďalej základnou technológiou. Obrábanie v porovnaní s inými technológiami je zvyčajne nákladnejšie, ale z hľadiska zvýšených požiadaviek na presnosť rozmerov, geometrických tvarov, polohy plôch a drsnosť povrchov sú procesy obrábania len ťažko nahraditeľné najmä v kusovej resp. malosériovej výrobe. Kniha je súhrnom relevantných poznatkov o teórií obrábania na konvenčných a CNC a HSC strojoch prepojením na nekonvenčné spôsoby obrábania pre dotvorenie obrábania všetkých dostupných materiálov.

1. TEÓRIA OBRÁBANIA

Podstata a význam obrábania

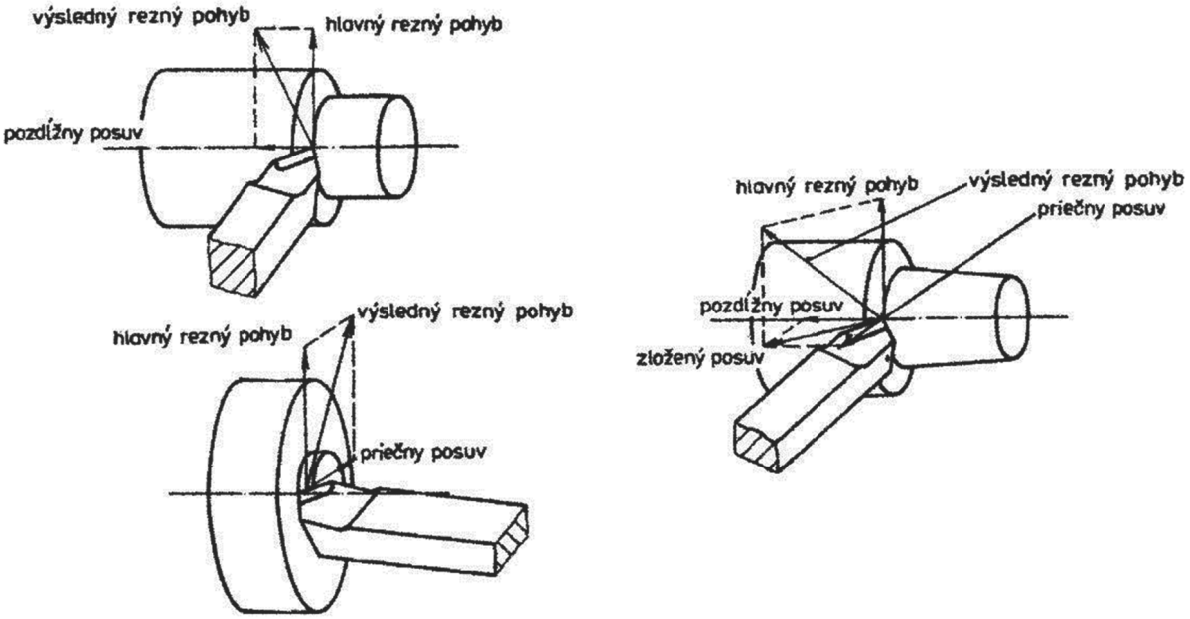
Obrábaný predmet a nástroj dostávajú pri rezaní taký vzájomný pohyb, pri ktorom rezný klin nástroja vniká do materiálu a odrezáva z neho častice vo forme triesok. Obrábaný predmet nazývame obrobkom, hranu nástroja, ktorá reže nazývame reznou hranou a vzájomný pohyb obrobku a nástroja nazývame rezným pohybom. Fyzikálna podstata obrábania sa zakladá na tom, že pôsobením vonkajšej energie sa narušia vzájomné väzby častíc obrábaného materiálu a nastáva postupné oddeľovanie týchto častíc od obrábaného materiálu. Pri všetkých spôsoboch obrábania je spoločné to, že oddelená časť obrábaného materiálu ma porušenú celistvosť alebo zloženie. Výsledkom obrábania je obrobok žiadaného tvaru, rozmerov a akosti povrchu. Hlavné spôsoby obrábania, stanovené podľa druhu použitia energie na oddeľovanie častíc materiálu z obrobku rozdeľujeme:

Druh použitej energie na obrábanie	Druh obrábania	Spôsob obrábania	
		ručné	strojové
Mechanická	mechanické obrábanie, t.j. obrábanie rezaním	sekanie (bez presekávania) pilovanie, zaškrabávanie	sústruženie vyvrtávanie hoblovanie a obrážanie vŕtanie zahlbovanie vyhrubovanie vystružovanie frézovanie preťahovanie a pretláčanie brúsenie honovanie lapovanie superfinišovanie (prehladzovanie)
Elektrická	elektrofyzikálne		elektroerozívne a) elektroiskrové b) elektroimpulzné c) elektrokontaktné d) anódomechanické
Chemická	chemické		leptanie (rozpúšťanie) leštenie
Akustická	ultrazvukové		ultrazvukové brúsenie
Svetelná	laserové		

1.1. Mechanické obrábanie – obrábanie rezaním

Obrábanie rezaním je technologický proces pri ktorom sa reznými nástrojmi postupne odoberajú časti materiálu vo forme triesok. Do materiálu vniká rezná časť nástroja, ktorú nazývame ostrím.

1.1.1. Hlavné a vedľajšie pohyby



Pohyby pri rezaní

Vzájomný pohyb obrobku a nástroja – **rezný pohyb** – skladá sa z hlavného pohybu a posuvu. Hlavný pohyb – súhlasí vždy s tým pohybom stroja, na ktorý sa spotrebuje prevažná časť výkonu motora stroja.

Posuv – je relatívny pohyb obrobku a nástroja, ktorý umožňuje postupné odrezávanie triesok. Môže byť plynulý alebo prerušovaný.

Prísuv – je to pohyb, ktorý umožňuje hĺbku odrezávanej vrstvy materiálu. Prísuv je spravidla prerušovaný a preto nevplýva na rezný pohyb. Iba v niektorých prípadoch prebieha prísuv počas rezania napr. pri kopírovaní na sústruhoch.

Rezný pohyb – je súčtom troch vektorov:

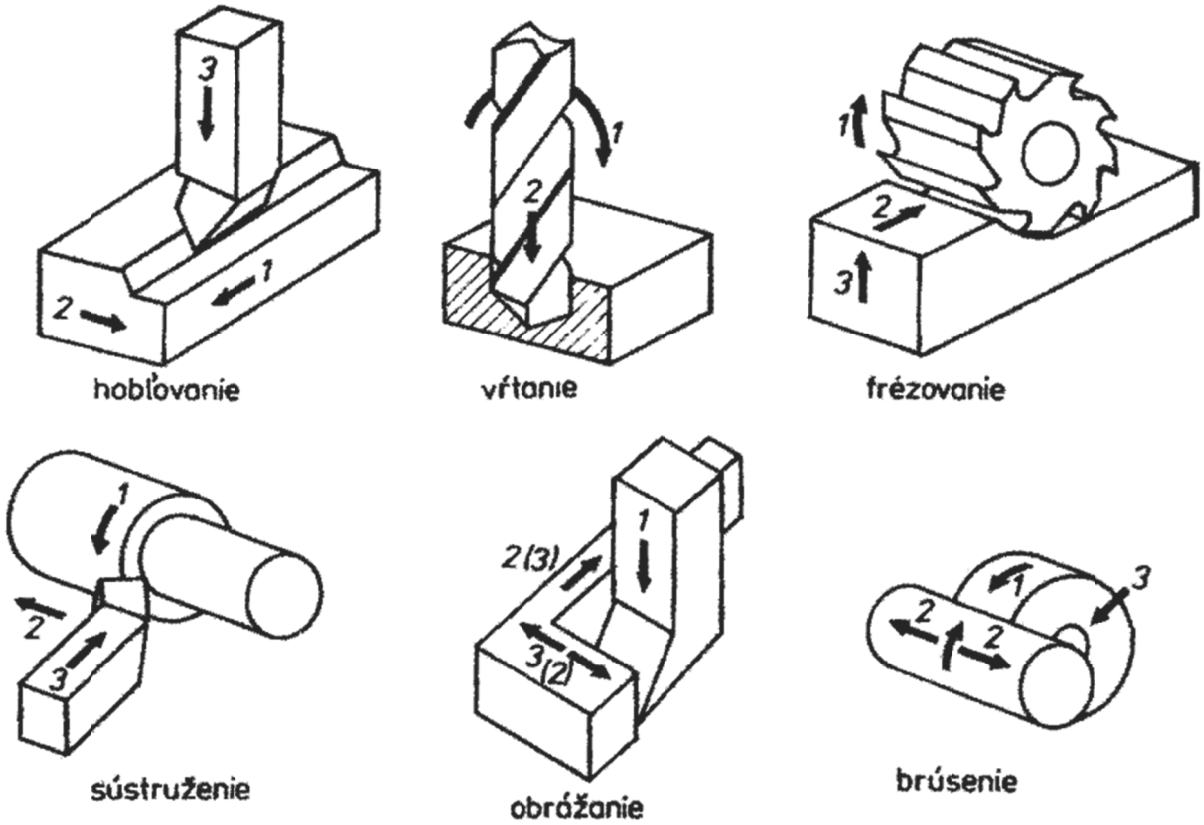
$r = v + s + p$

v – hlavný pohyb, rýchlosť obrábania – rezná rýchlosť [$m.min^{-1}$]
s – posuv [$mm.min^{-1}$, $mm.ot^{-1}$, $mm.zub^{-1}$]
p – prísuv [mm]

Rezný pohyb pri prerušovanom pohybe, ako napr. pri hobľovaní, obrážaní alebo preťahovaní je totožný s hlavným pohybom . Keď je posuv plynulý, t.j. uskutočňuje sa súčasne s hlavným pohybom, rezný pohyb je vektorovým súčtom týchto dvoch pohybov.

$r = v + s$

v – dráha po ktorej sa uskutočňuje hlavný pohyb
s – dráha po ktorej sa uskutočňuje posuv



Pohyby pre jednotlivé spôsoby obrábania
1 – hlavný rezný pohyb, 2 – vedľajší rezný pohyb (posuv), 3 – prísuv

Rýchlosť výsledného rezného pohybu v_e *je* geometrickým súčtom rýchlosti hlavného rezného pohybu v a rýchlosti posuvu v_f. Rýchlosť posuvu v_f je v porovnaní s rýchlosťou hlavného rezného pohybu v veľmi malá, nemá preto na rýchlosť výsledného pohybu podstatný vplyv a v praxi sa pri výpočtoch zanedbáva. Rýchlosť hlavného rezného pohybu nazývame **reznou rýchlosťou**. Hodnota reznej rýchlosti je v $m.min^{-1}$ alebo $m.s^{-1}$ pri brúsení. Pri otáčavom pohybe nástroja alebo obrobku sa rezná rýchlosť vypočíta so vzorca:

$$v = \frac{\pi . D . n}{1000} \quad [\, m . min^{-1} \,]$$

D – priemer obrobku alebo nástroja [mm]
n – otáčky vretena stroja [min^{-1}]

Otáčky vretena stroja vypočítame:

$$n = \frac{1000 . v}{\pi . D} \quad [\, min^{-1} \,]$$

2. TUHOSŤ TECHNOLOGICKEJ SÚSTAVY

Význam tuhosti pri obrábaní

Význam tuhosti spočíva v tom, aby v sústave stroj – nástroj – obrobok – prípravok vplyvom deformácií od rezných síl nevznikali nepresnosti výrobkov. Každé strojné zariadenie musí byť konštrukčne riešené tak, aby všetky jeho časti odolávali deformáciám pri obrábaní. Podľa zákonov pružnosti a pevnosti môžu deformácie prechádzať v oblasti pod medzou pružnosti, sú to tzv. pružné deformácie alebo v oblasti plastických deformácií. Pri konštrukcií strojových súčiastok treba zvyčajne dodržiavať zásadu aby deformácie danej súčiastky alebo sústavy neprebiehali v oblasti plastických deformácií inými slovami súčiastky sa dimenzujú na pevnosť. V strojárskej technológií a konštrukcií obrábacích strojov, prípravkov a nástrojov sa venuje pozornosť aj pružným deformáciám zaoberáme sa tu tzv. tuhosťou technologickej sústavy. Tuhosť technologickej sústavy vyjadruje v podstate odolnosť proti pružným deformáciám. Technologickou sústavou rozumieme väzbu obrábacieho stroja s obrábaným predmetom a nástrojom včítane všetkých spojovacích článkov (skľučovadlá, lunety, prípravky a pod.). Tuhosť technologickej sústavy vplýva:

1. Na presnosť obrábania, pretože sily vznikajúce v reznom procese spôsobujú deformácie technologickej sústavy v dôsledku čoho tvar a rozmery súčiastok pri obrábaní sú iné ako by boli v prípade keby sa technologická sústava nedeformovala.
2. Tuhosť technologickej sústavy súvisí so vznikom chvenia pri obrábaní. Ak sa zvyšuje tuhosť technologickej sústavy, možno zvyšovať aj rezné pomery bez nebezpečenstva, že sa zhorší presnosť a akosť povrchu obrobených súčiastok.

2.1. Pojem tuhosti

Tuhosť technologicky pružnej sústavy stroj – nástroj – obrobok – prípravok definujeme matematicky ako pomer radiálnej zložky výslednej reznej sily F_y k premiestneniu ostria noža v smere radiálnej reznej sily čiže

$$k = \frac{F_y}{Y} \quad [\, N.mm^{-1} \,]$$

Tuhosť stroja v celku k_c nazývame hodnotu technologickej sústavy, ktorá je spojené výlučne len s deformáciou jeho uzlov. Pri jej zvyšovaní považujeme obrábaný predmet a nástroj za také, ktoré sa nedeformujú. Poznáme aj tuhosť jednotlivých uzlov stroja, napr. tuhosť suportu k_s, tuhosť koníka k_k, tuhosť vreteníka k_v a pod.

Tuhosť nástroja nazývame tuhosť technologickej sústavy, ktorá je spojená len s deformovaním nástroja pri absolútne tuhom stroji a obrábanom predmete. Technologická tuhosť v značnej miere závisí od deformácií v stykových miestach v rôznej časti technologickej sústavy. Tu okrem pružných deformácií majú podstatnú úlohu aj vôle. Vymedzovanie vôlí v spojovacích plochách je dôležitá cesta zvyšovania tuhosti celej technologickej sústavy.

Okrem pojmu tuhosť poznáme aj pojem poddajnosť. Poddajnosť je prevrátená jednotka tuhosti

$$W = \frac{Y}{F_y} = \frac{1}{k} \quad [\, mm.N^{-1} \,]$$

Kým jednotkou tuhosti je sila, ktorá vyvolá premiestnenie jednotkovej dĺžky, jednotkou poddajnosti je deformácia vyvolaná jednotkovou silou.

2.1.1. Určenie celkovej tuhosti technologickej sústavy

Skúmajme ľubovoľnú technologickú sústavu, ktorá má napr. h častí. Keď ďalej budeme skúmať deformácie jednotlivých častí (y_1, y_2, y_3.....y_h) v určitom bode a určitého smeru, ktoré sme zobrali za základ pri meraní tuhosti výsledná deformácia bude:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \cdots + y_h$$

Podľa definície poddajnosť bude

$$y = F_y.w; \quad y_1 = F_y.w_1; \quad y_2 = F_y.w_2; \ldots\ldots\ y_h = F_y.w_h$$

Po dosadení do prvej rovnice bude

$$w = w_1 + w_2 + w_3 + \cdots + w_h$$

Poddajnosť je prevrátená hodnota tuhosti čiže

$$w = \frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \cdots + \frac{1}{k_h}$$

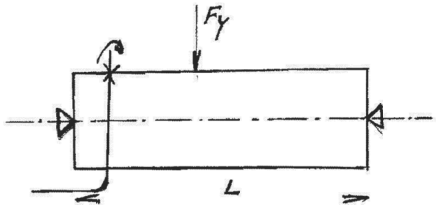
Z uvedeného vyplýva, že výsledná poddajnosť sústavy sa rovná súčtu poddajností jednotlivých jej uzlov, alebo že prevrátená hodnota tuhosti sústavy sa rovná súčtu prevrátených hodnôt tuhosti jednotlivých jej uzlov.

2.1.2. Tuhosť rezného nástroja

Deformácie rezného nástroja majú dôležitú úlohu pri vŕtaní, ale aj pri vŕtaní hlbokých otvorov. Pri vonkajšom sústružení je priehyb noža v radiálnom smere malý. Lebo hrot noža sa premiestňuje v tangenciálnom smere. Tuhosť určuje výpočtom, niekedy treba určiť experimentálne.

2.1.3. Tuhosť obrobku

1. Sústruženie hladkého hriadeľa upnutého v hrotoch



y – prehnutie v strede

$y = \frac{F_y.L^3}{48EJ}$ *vzťah odovodený z pružnosti a pevnosti*

L – dĺžka hriadeľa v mm; E – modul pružnosti materiálu

hriadeľa [N.mm^{-2}], určíme z tabuliek podľa druhu materiálu; J – moment zotrvačnosti kruhového prierezu.

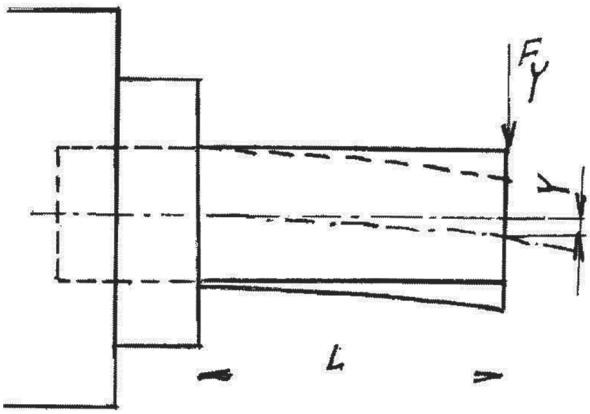
V tomto prípade možno posunutie určiť ako prehnutie nosníka, ktorý leží na dvoch oporách a maximálne prehnutie je v strede.

Koeficient tuhosti

$$k_h = \frac{F_y}{Y} = \frac{48EJ}{L^3} \quad [\,N.mm^{-1}\,]$$

2. Sústruženie hladkého hriadeľa upnutého v skľučovadle.

Maximálne prehnutie od F_y bude na konci hriadeľa



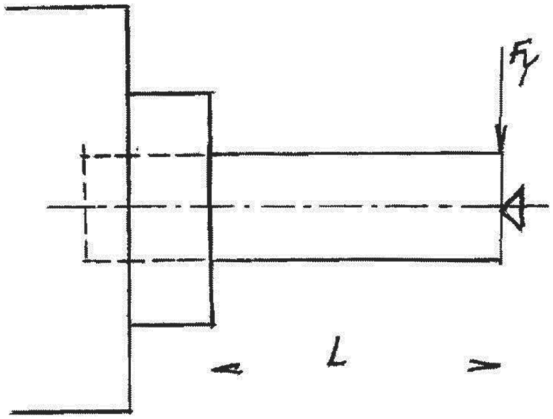
y – priehyb

$$y = \frac{F_y.L^3}{3EJ}$$

Koeficient tuhosti

$$k_h = \frac{F_y}{Y} = \frac{3EJ}{L^3} \quad [\,N.mm^{-1}\,]$$

3. Sústružene hladkého hriadeľa upnutého v skľučovadle a podopretého hrotom koníka



y – priehyb

$$y = \frac{F_y.L^3}{110EJ}$$

Koeficient tuhosti

$$k_h = \frac{F_y}{Y} = \frac{110EJ}{L^3} \quad [\,N.mm^{-1}\,]$$

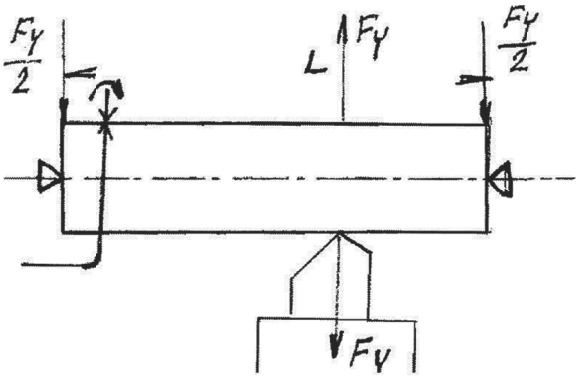
Upnutie sa považuje za absolútne tuhé

V skutočnosti však ani upnutie ani podopretie hrotom nie sú absolútne tuhé, ale prejavujú určitú poddajnosť v dôsledku čoho je deformácia hriadeľa väčšia ako podľa uvedeného výpočtu a tuhosť je menšia. Pokusy Šrajera ukázali, že pre výpočet v tomto prípade možno použiť vzorec

$y = \frac{F_y.L^3}{CEJ}$; $\quad k_h = \frac{F_y}{Y} = \frac{CEJ}{L^3} \quad [\,N.mm^{-1}\,]$ $\quad$ C – Šrajerova konštanta (90 – 100)

2.1.4. Tuhosť obrábacieho stroja

Tuhosť stroja závisí od tuhosti jeho častí. Tuhosť častí určujeme experimentálne a potom vypočítame tuhosť stroja



Predpokladajme sústruženie v hrotoch keď nôž je v strede obrobku. Keďže nám ide o výpočet tuhosti stroja a nie celej sústavy zanedbáme deformácie obrobku – budeme ho považovať za absolútne tuhý.

deformácia suportu

$$y_s = F_y . W_s$$

deformácia koníka, stredu pinoly

$$y_k = \frac{F_y}{2} w_k$$

Deformácia stredu vreteníka

$$y_v = \frac{F_y}{2} w_v$$

Ako vidieť pre výpočet deformácie koníka a vreteníka sa dosadzuje len polovičná F_y, lebo rezné sily sa rozkladajú na vreteník a koník rovnomerne.

Premiestnenie stredu obrobku sa rovná polovičnému súčtu premiestnenia vreteníka a koníka

$$y_c = \frac{1}{2}\left(\frac{F_y}{2} w_v + \frac{F_y}{2} w_k\right) = \frac{F_y}{4}(w_v + w_k)$$

Výslednú deformáciu stroja, ktorá sa prejaví na hrote noža dostaneme ako súčet premiestnenia suportu a premiestenia stredu obrobku.

$$y_c = F_y . w_s + \frac{F_y}{4}(w_v + w_k)$$

Deformácia stroja vyjadrená pomocou poddajnosti $y_c = F_y . w_c$ porovnaním oboch výrazov pre k_c dostaneme

$$F_y w_c = F_y w_s + \frac{F_y}{4}(w_v + w_k)$$

a po krátení F_y výsledná poddajnosť $w_c = w_s + \frac{1}{4}(w_v + w_k)$

V podstate každá súčiastka obrábacieho stroja je poddajná. To znamená, že pri pôsobení sily (pri zaťažení), nastáva jej deformácia, ktorá pri pružných deformáciách pri prerušení zaťaženia (pri prerušení pôsobiacej sily) zanikne.

Druhy tuhosti

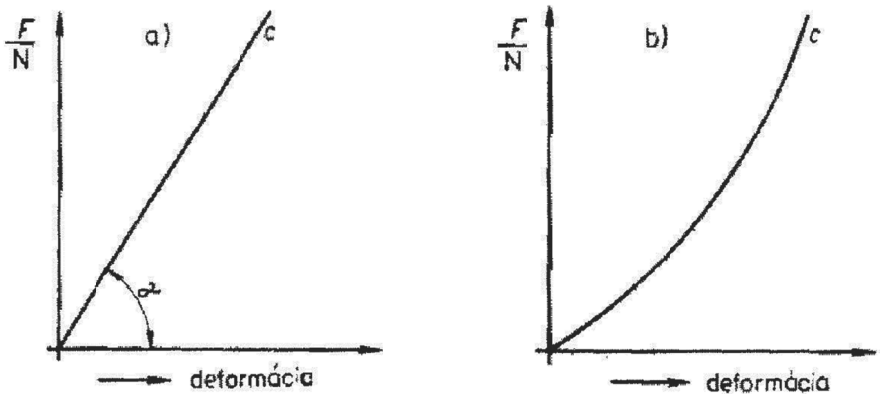
a) čiastková
b) dĺžková

Čiastkovou tuhosťou rozumieme tuhosť len jednej súčiastky bez hodnotenia vplyvu deformácií ďalších častí stroja. Čiastková tuhosť v hraniciach Hookovho zákona je konštantná, takže závislosť deformácií od zaťaženia je priamka, ktorá prechádza začiatkom a tuhosť *c* je matematicky vyjadrená

$$c = \tan\gamma$$

Podľa druhu zaťaženia je čiastková tuhosť v ťahu, tlaku, kmite a ohybe.

Celková tuhosť zahŕňa vplyv deformácií celej skupiny súčiastok. Nie je konštantná ale závisí od veľkosti zaťaženia, takže závislosť deformácie od zaťaženia znázorňuje krivka



a – pri konštantnej tuhosti

b – pri premenlivej tuhosti

c – tuhosť

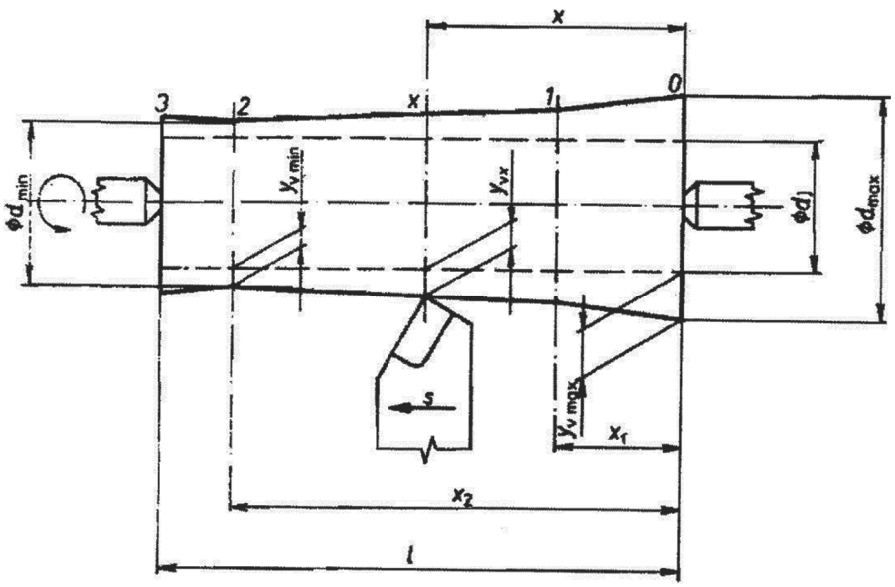
Závislosť deformácie od zaťaženie

Keď je zaťaženie stále, potom tuhosť označujeme ako statickú. Keď zaťaženie periodicky premenlivé, je to dynamická tuhosť. Keď meriame vzájomné posunutie dvoch súčiastok proti sebe, hovoríme o relatívnej tuhosti. Pri meraní posunutia súčiastky vzhľadom na súčiastku, ktorá je označená ako absolútne tuhá, ide o absolútnu tuhosť.

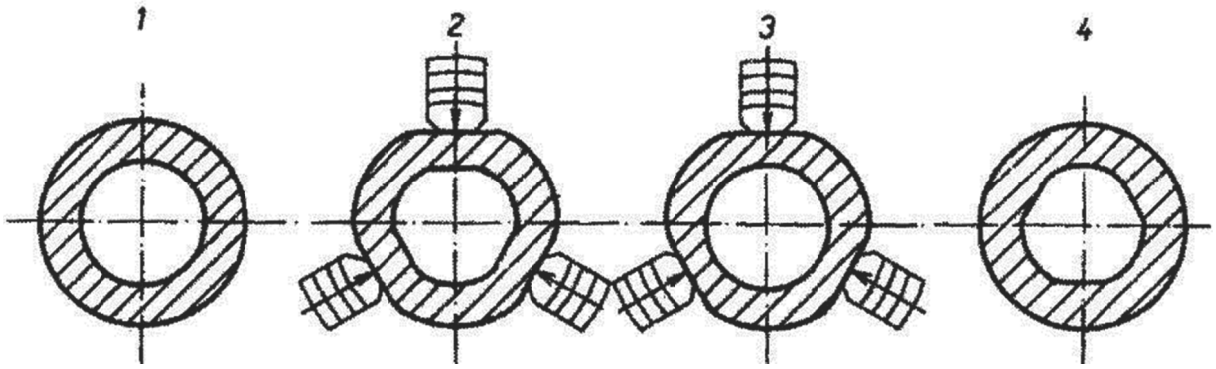
2.1.5. Vplyv tuhosti na presnosť obrábania

Nedostatočná tuhosť technologickej sústavy (napr. obrábacieho stroja) má vplyv na dodržanie presnosti tvarov, kvality povrchu a rozmerov obrobku. Premenlivosť síl, ktoré zaťažujú technologickú sústavu, spôsobujú stále zmeny polohy nástroja vzhľadom na obrobok. Poddajnosť rezného nástroja vplýva na vznik rozmerových odchýlok.

Deformácia obrobku od upínacích síl. Málo tuhé obrobky sú deformované upínacími silami. Aj keď sú pri obrábaní rozmery, aj tvar, správne po uvoľnení obrobku nastane deformácia.



Vplyv premenlivej tuhosti na rozmery sústruženého valca



Deformácia obrobku vzniknutá upínacími silami
1 – pred upnutím, 2 – po upnutí, 3 – po obrobení diery, 4 – po uvoľnení zo skľučovadiel

Nedokonalá tuhosť sústavy stroj – nástroj – obrobok – prípravok sa prejavuje kmitaním.

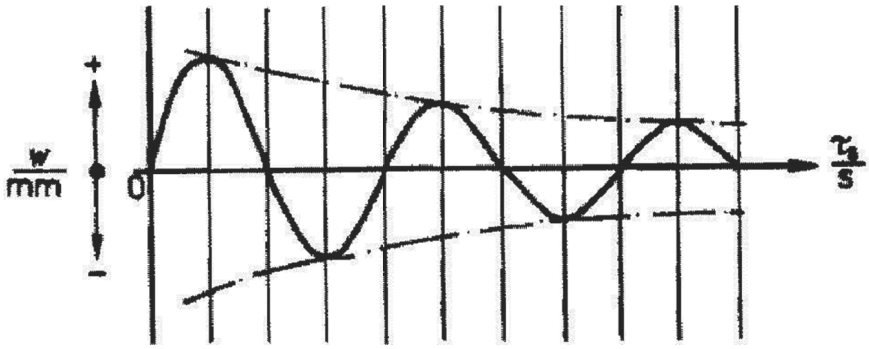
2.1.6. Kmitanie pri obrábaní kovov

Kmitanie pri obrábaní je niekedy také malé, že nemá nepriaznivý účinok keď je však veľmi intenzívne, stroj vydáva zvláštny zvuk alebo nástroj charakteristicky zvučí.

Druhy kmitania

- vlastné
- vynútené
- samobudené

Vlastné kmitanie obrábacieho stroja sa môže vyvolať nejakým rázom napr. zapnutím spojky. Udržiava sa pôsobením pružných síl, vplyvom odporov sa tlmí. Vlastné kmitanie má malý vplyv na obrábací proces a možno ho v praxi zanedbávať. Časový priebeh vlastných kmitov.

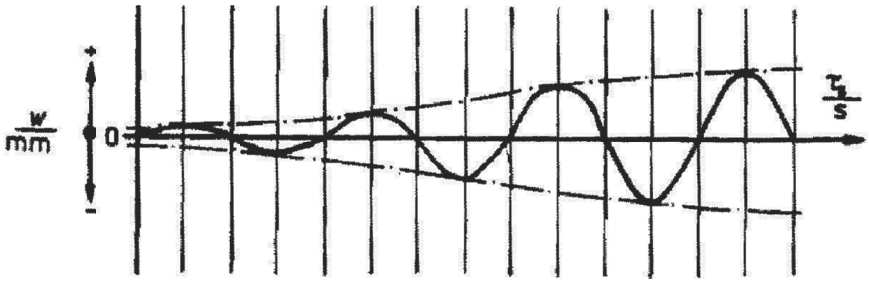


Časový priebeh vlastného kmitania

w – odchýlka

τ_s – časový priebeh

Vynútené kmitanie vznikne, keď na sústavu, ktorou môže byť obrábací stroj, periodicky pôsobí premenlivá sila. Frekvencia vynúteného kmitania sa musí zhodovať s frekvenciou budiacej sily. Budiaca sila musí mať periodický charakter. Pokojné teleso sa rozkmitá pôsobením budiacej sily. Časový priebeh znázorňuje graf na ktorom amplitúda kmitania sa ustáli na určitej hodnote, ktorá je úmerná amplitúde pôsobiacej sily.



Časový priebeh vynúteného kmitania

w – odchýlka

τ_s – časový priebeh

Vynútené kmitanie vzniká dynamickými účinkami rotujúcich súčiastok. Zdrojom môže byť rotujúci obrobok ako aj niektoré časti stroja ako vreteník, hriadeľ, rotory elektromotorov. Ďalšou príčinou vzniku je vyvolanie vlastným procesom rezania v ktorom sa periodicky prerušuje alebo mení rezný odpor. Zmeny rezného odporu sú vyvolané napr. zmenou prierezu odoberanej triesky alebo prerušovaným rezom. Pri čelnom valcovom frézovaní vznikajú vynútené kmity, ktoré spôsobuje periodicky prerušované rezanie jednotlivých rezných hrán frézy alebo hádzanie frézy. Vynútené kmity môžu vznikať aj prenášaním z okolia obrábacieho stroja (lisy, buchary) cez podlahu dielne a cez základ stroja.

Samobudené kmitanie vyvolávajú samobudené kmity vznikajúce medzi obrobkom a rezným nástrojom bez periodického vonkajšieho budiaceho účinku. Samobudené kmitanie sa pri obrábaní prejavuje ako drnčanie, niekedy doprevádzané nepríjemným hlukom. Zhoršuje kvalitu obrobenej plochy.

Na vznik samobudeného kmitania vplýva

- tuhosť
- rezná rýchlosť
- hĺbka rezu
- uhol nastavenia
- polomer zaoblenia hrotu rezného nastroja

- uhol čela
- obrábaný materiál
- rezný materiál

Rozhodujúci vplyv na vznik samobudeného kmitania a predovšetkým tuhosť a to tuhosť obrobku a jeho upnutia, tuhosť obrábacieho stroja, nástroja a jeho upnutia. Zabrániť vzniku kmitania pri obrábaní nie je v podstate možné. Snaha je zabrániť vzniku vynútených kmitov aby rotujúce súčiastky (hriadeľ, rotory elektromotorov) sa dynamicky vyvážili. Dbať na kvalitu pri výrobe jednotlivých súčiastok stroja ako sú ozubené kolesá ako sú ozubené kolesá, spojky, dokonalú montáž stroja.

Pri konštrukcií treba venovať veľkú pozornosť tuhosti rozhodujúcich častí obrábacieho stroja, postavenie obrábacieho stroja na základy (pružné podložky pod stroje) a jeho uvedenie do prevádzky. Pri prevádzke obrábacieho stroja možno vznik samobudených kmitov obmedziť týmito spôsobmi:

- pri použití rezného nástroja zo spekaných karbidov používať väčšie rezné rýchlosti a posuvy
- pri rezných nástrojoch z rýchloreznej ocele (najmä pri hrubovaní) má vplyv na kmitanie, vznik a zánik nárastku, odporúča sa preto obrábať pri nižších rezných rýchlostiach
- zmenou hĺbky rezu
- zväčšením počtu súčasne režúcich rezných hrán nástroja (pri frézach sa odporúča nepárny počet zubov)
- zväčšenie uhla nastavenia $\varkappa$, zväčšením nástrojového normálového uhla čela γ_n a zmenšením polomeru zaoblenia hrotu r_ε rezného nástroja
- použitím reznej kvapaliny

Nedodržaním týchto zásad sa zvyšuje opotrebovanie obrábacieho stroja a často sa porušujú aj rôzne hlavne zvárané spoje. Nástroje z nástrojových ocelí sa rýchlo otupujú, nástroje zo spekaných karbidov sa vyštrbujú, ba aj lámu, trvanlivosť keramického rezného materiálu sa znižuje a často pri kmitaní sa aj obmedzuje.

Súhrnné cvičenia

1. Popíšte význam tuhosti pre obrábací proces
2. Definujte tuhosť a napíšte vzťahy pre jednotlivé časti obrábacieho procesu
3. Vysvetlite čo je to poddajnosť
4. Uveďte príklady aký vplyv na presnosť obrábania
5. Popíšte ako sa prejaví nízka tuhosť sústavy v procese obrábania
6. Ako vzniká kmitanie v procese obrábania
7. Vymenujte druhy kmitania a jeho priebeh
8. Ako obmedzíme kmitanie pri prevádzke obrábacieho stroja
9. Charakterizujte nepriaznivé účinky kmitania na obrábací proces

3. OPTIMALIZÁCIA REZNÝCH PARAMETROV

Význam optimalizácie

Parametre rezania sa pri praktických úlohách optimalizácie chápu ako technologické (hĺbka rezu, posuv, rezná rýchlosť). Ich optimalizácia sa zameriava na dosiahnutie maximálnej výrobnosti alebo maximálnej hospodárnosti. Riešenie úlohy zabezpečiť maximálnu výrobnosť vychádza zo vzťahov produktivity a hospodárnosti.

3.1. Maximálna výrobnosť

Maximálna výrobnosť vo výrobných závodoch je najčastejšie charakterizovaná vzťahom

$$N_p = \frac{\tau_{sm}}{\tau_k}$$

kde τ_{sm} – čas zmeny (min)
τ_k – kusový čas (min)

Zo vzťahu vidno, že objem výroby pracoviska nepriamo závisí od kusového času. Zvyšovať výrobnosť znamená skracovať kusový čas. Výrobnosť pracoviska vzťahovaná na jeden obrobok sa nazýva výrobnosť operácie.

Parametre rezania rôznym spôsobom ovplyvňujú zložky kusového času. Keď časy rovnakého charakteru zhrnieme pre kusový čas dostaneme

$$\tau_k = \tau_h + \tau_{xv} + \tau_{xo}$$

τ_k – kusový čas (min) na výrobu jedného kusa

τ_{xv} – vedľajší čas (min) spojený na výmenu nástroja

τ_{xo} – ostatné vedľajšie časy (min), ktorých hodnota závisí od voľby parametrov rezania a od trvanlivosti nástroja. Sem patria napr. aj časy na ustavenie a upnutie obrobku, časy na nastavenie stroja, čas organizačnej obsluhy, čas prípravy a zakončenia práce, prestávok a prirodzených potrieb a pod.

Pre hlavný čas odvodiť vzorec

$$\tau_h = \frac{Li}{s_m} \quad [\,min\,]$$

kde L je dĺžka strojového posuvu (mm), t.j. súčet dĺžky obrobenej plochy, nábehu a výbehu nástroja
i – počet záberov
s_m – posuv ($mm.min^{-1}$)

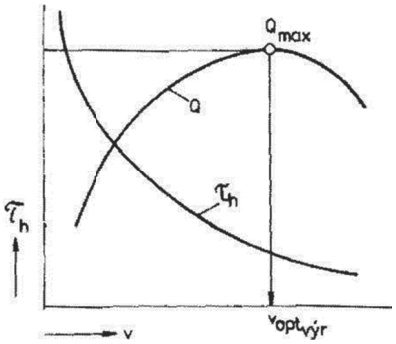
Minútový posuv závisí od otáčok vretena a tým aj od reznej rýchlosti. Preto pre určitý konkrétny prípad obrábania možno pre hlavný čas napísať

$$\tau_h = \frac{konšt}{sv} \quad [\,min\,]$$

kde *s* je posuv (mm.ot^{-1})

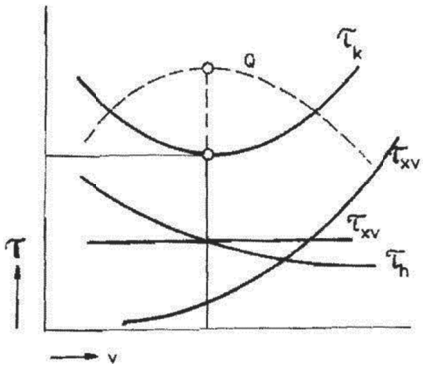
v - rezná rýchlosť

Strojový čas vždy charakterizuje úroveň metódy rezania alebo operácie. Podiel času na výmenu nástroja τ_{xv} – možno vypočítať na základe trvanlivosti reznej hrany T. Keby pri voľbe rezných parametrov išlo len o zníženie strojového času volili by sme najvyššie rezné podmienky, ktoré by boli prístupné z technologického hľadiska (drsnosť povrchu, výkon stroja, tuhosť, kmitanie, teplota atď.). Vysoké rezné parametre však zvyšujú časové straty v dôsledku enormného zníženia trvanlivosti, z čoho vyplýva častejšia výmena nástrojov, nastavenie stroja a ostrenie nástrojov. Vedľajšie časy sa tým predlžujú. Pri týchto podmienkach a pri istej hodnote τ_h výrobnosť klesať.



Závislosť Q a τ_h od funkcie reznej rýchlosti

Od určitej hodnoty rezných podmienok sa teda kusový čas začne zvyšovať aj keď sa strojový čas zmenšuje. Priebeh zložiek kusového času a výrobnosť pri zmene vidíme z diagramu. Extrémne hodnoty τ_k a Q sa dosahujú pri určení parametrov z pozície dosiahnutia maximálnej výrobnosti operácie



Závislosť jednotlivých zložiek času rezania od reznej rýchlosti

3.1.1. Maximálna hospodárnosť

Existuje prístup, ktorý uprednostňuje maximálnu hospodárnosť alebo minimálne náklady na operáciu. Pre každý prípad obrábania platia len jedny hodnoty rezných podmienok, pri ktorých prebehne proces rezania optimálne. Sú to tzv. **optimálne rezné podmienky**. Pri ich určení vychádzame najmä z týchto zásad:

- rezné podmienky musia zistiť dodržiavanie kvalitatívnych požiadaviek predpísaných výkresom (rozmerová a tvarová presnosť, drsnosť povrchu)

- musia zistiť úber, ktorý zodpovedá maximálnej výrobnosti alebo maximálnej hospodárnosti operácie
- musia zodpovedať technickým parametrom stroja a nástroja (výkon, pevnosť, tuhosť, aby nedošlo k strate stability rezania alebo k havárií)

Pri určovaní rezných podmienok sa využívajú zákonitosti z procesov rezania. Keď sú uvažované rezné podmienky v pásme stabilného rezania, zabezpečujú požadovanú kvalitu obrobeného povrchu alebo tvarovanie triesky, tak pri voľbe sa využíva zákon konštantnej trvanlivosti. Pri určovaní rezných podmienok pri hrubovaní resp. pri dokončovacích prácach preto rozširujeme aj iné hľadiská.

Zo zákona konštantnej trvanlivosti vyplýva výhodnosť maximálnej hĺbky rezu a maximálne technologicky prípustného posuvu. Tieto parametre majú obmedzujúce faktory

Príčina obmedzenia	Obmedzujúci činiteľ
Obrábací stroj	maximálne prípustné zložky celkovej reznej sily
	rozsah a počet stupňov otáčok pracovného vretena, pri strojoch s relatívnym pohybom nástroja – rozsah a počet stupňov jeho rýchlosti
	rozsah a počet stupňov posuvu
	maximálny výkon hlavného motora
	maximálna veľkosť krútiaceho momentu na pracovnom vretene pri daných otáčkach vretena
	maximálna priebežná sila strojov s priamočiarym prevádzkovým pracovným pohybom
	tuhosť rozhodujúcich súčiastok stroja
Nástroj	trvanlivosť reznej hrany
	pevnosť reznej hrany
	tuhosť nástroja
Obrobok	obrobiteľnosť materiálu
	rozmerová a tvarová presnosť
	drsnosť obrobenej plochy
	tuhosť obrobku
Prípravok	upnutie obrobku
	tuhosť prípravku

Pri hrubovaní je účelné voliť hĺbku rezu rovnajúcu sa technologickému prídavku na obrábanie, ktorý limituje veľkosť hĺbky rezu. Veľkosť posuvu limitujú také faktory, ako je drsnosť obrobeného povrchu, pevnosť nástroja, pevnosť mechanizmu, prevod a pod. Požiadavka maximálnej výrobnosti alebo maximálnej hospodárnosti sa uplatňuje cez výber reznej rýchlosti. Výber reznej rýchlosti sa vykonáva cez trvanlivosť nástroja. Pre trvanlivosť sa dajú odvodiť vzťahy, ktoré zodpovedajú takej trvanlivosti nástroja, pri ktorej sa dosiahne maximálna výrobnosť alebo hospodárnosť. Takéto hodnoty trvanlivosti sa dajú odvodiť analytickými úvahami a nazývajú sa optimálna trvanlivosť. Určí sa zo vzťahu, ktorý vyjadruje zákon konštantnej trvanlivosti. Optimálna trvanlivosť z hľadiska maximálnej výrobnosti sa môže vyrátať ako extrém funkcie $\tau_k = f(T)$.

3.1.2. Stanovenie výrobných nákladov

Čím sú náklady na obrábanie súčiastky nižšie, tým hospodárnejšie je súčiastka obrobená. Celkové výrobné náklady na jednotku výroby, čiže na vykonanie operácie alebo na obrobenie celej súčiastky, sa skladajú z nákladov na

- obrábanie, čiže z nákladov na prácu na stroji (N_s)
- upínanie a meranie obrobkov (N_v)
- nástroj (N_n)
- prácu počas prípravy a zakončenia (N_{pz})

Keď celkové výrobné náklady označíme N_{cj} môžeme písať

$$N_{cj} = N_s + N_v + N_n + N_{pz}$$

3.1.3. Stanovenie optimálnej trvanlivosti

Pri výpočte optimálnej trvanlivosti vychádzame s rovnice pre výpočet celkových nákladov N_{cj} a z predpokladu, že veľkosť týchto nákladov závisí iba od reznej rýchlosti, čiže nezávisí od veľkosti posuvu s a hĺbky rezu h. Potom T_{opt} vypočítame z rovnice

$$T_{opt} = \frac{60N_T}{D_s}\frac{1}{\tau}(m-1)$$

kde N_T – náklady na nástroj za čas jeho trvanlivosti T

D_s – celkové náklady na jednu hodinu práce stroja

τ – pomer dĺžky strojového času k dĺžke záberu nástroja

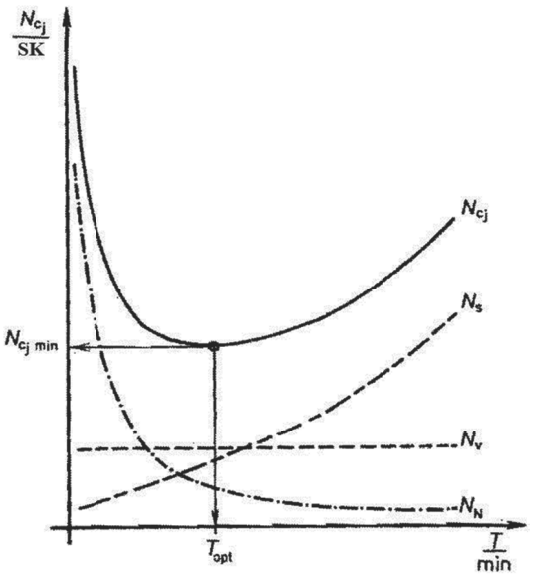
$\tau = \frac{L}{L_0}$ kde L je dĺžka strojového posuvu

L_0 – dĺžka záberu nástroja

Hodnoty exponentu m

Materiál reznej časti nástroja	Exponent *m* (1)
Legovaná nástrojová oceľ	8 až 10
Rýchlorezná oceľ	5 až 8
Spekané karbidy	2,5 až 5
Keramické materiály	1,5 až 2,5

Hodnotu T_{opt} môžeme získať aj grafickým znázornením rovnice pre celkové náklady



Celkové výrobné náklady na jednotku výroby v závislosti od trvanlivosti reznej hrany nástroja

T_{opt} – optimálna trvanlivosť reznej hrany nástroja

$N_{cj\ min}$ – minimálne celkové náklady na jednotku výroby

N_v – náklady na upínanie a meranie obrobkov

N_s – náklady na obrábanie (náklad na prácu na stroji)

N_n – náklady na nástroj

Na výpočet optimálnej trvanlivosti z hľadiska maximálneho výkonu, čižč maximálne dosiahnuteľného úberu materiálu za časovú jednotku použijeme rovnicu

$$T_{opt} = \frac{1}{\tau} t_{vn}(m-1)$$

t_{vn} – čas potrebný na výmenu otupeného nástroja

Veľkosť optimálnej trvanlivosti závisí aj od posuvu a hĺbky rezu materiálu. Závislosť je menej výrazná ako pri reznej rýchlosti.

Súhrnné cvičenia

1. Vysvetlite význam optimalizácie
2. Napíšte a vysvetlite vzťah pre maximálnu výrobnosť
3. Charakterizujte hlavný čas výroby
4. Charakterizujte kusový čas výroby a jeho zložky
5. Popíšte príklady znižujúce zložky kusového času
6. Uveďte činitele obmedzujúce rezné podmienky
7. Od čoho závisia výrobné náklady (zložky)
8. Charakterizujte optimálnu trvanlivosť a jej výpočet
9. Vysvetlite stanovenie optimálnej trvanlivosti z grafického znázornenia
10. Vysvetlite vzťah pre výpočet optimálnej trvanlivosti na základe času potrebného na výmenu otupeného nástroja
11. Ako závisí optimálna trvanlivosť od posuvu a hĺbky rezu materiálu v porovnaní s reznou rýchlosťou

4. NOVÉ NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY PRE CNC STROJE

Význam nástrojových materiálov

Nástrojové materiály vo veľkej miere ovplyvňujú produktivitu a hospodárnosť obrábania. Vývojom nových druhov rezných materiálov sa snažíme zvyšovať rezné parametre, čím skracujeme hlavné časy na obrábanie, ktoré priamo vplývajú na zvyšovanie produktivity. Ďalšími výhodnými vlastnosťami, ktoré zvyšujú hospodárnosť obrábania je ich vysoká tepelná stabilita a tým aj trvanlivosť

4.1. Vlastnosti nástrojových materiálov

Súhrnnou vlastnosťou všetkých parametrov obrábania vplývajúcich na zvyšovanie výkonov obrábania zahrňujeme pod spoločný názov reznosť. Reznosť nástroja sa odvádza od rezného materiálu. Jeho vlastnosti sa posudzujú na úrovni jeho vývoja a používania. Reznosť predstavuje súhrn vlastností, ktoré vyjadrujú schopnosť rezného materiálu rezať obrábaný materiál na fyzikálnych podmienkach, ktoré sú rezaniu charakteristické. Z rôznych podmienok práce vyplývajú aj rôzne požiadavky na nástrojové materiály. Aby nástroj mal vysokú životnosť a trvanlivosť treba druh rezného materiálu voliť na základe hlbšieho poznania javov, ktoré prebiehajú v zóne rezania. Najdôležitejšími vlastnosťami nástrojových ocelí sú trvanlivosť pri vysokých teplotách, mechanická pevnosť a technologické vlastnosti.

4.1.1. Trvanlivosť a tvrdosť pri vysokých teplotách

Sa niekedy ako pojmy stotožňujú, treba ich však rozlišovať. Tvrdosť pri vysokých teplotách je pružnou vlastnosťou. Pri odstránení vonkajšieho faktora (teploty) nadobúda tvrdosť rezného materiálu pôvodné hodnoty. Trvanlivosť pri vysokých teplotách je nevratný vplyv teploty ohriatia. Rozdiel v týchto dvoch pojmoch si možno objasniť na schéme.

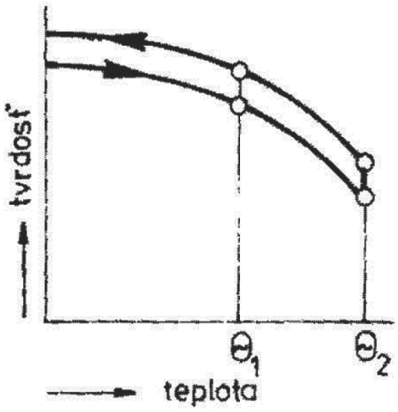


Schéma objasnenia pojmov tvrdosť a trvanlivosť pri vysokých teplotách. Horná krivka znázorňuje zmenu tvrdosti v závislosti od teploty. Ohriatie na teplotu 1 a ochladenie na izbovú teplotu nevyvolá zmenu tvrdosti. Ohriate na teplotu 2 a zotrvanie na tejto teplote vyvolá zmenu štruktúry (napr. rozpad martenzitu) v dôsledku čoho potom tvrdosť pri izbovej teplote bude nižšia ako pôvodná. Kritérium trvanlivosti pri ohriatí na vysoké teploty je teplota, pri ktorej sa po štvorhodinovom ohrievaní zníži pôvodná tvrdosť na hodnotu 58HRC.

4.1.2. Mechanická pevnosť

Je veľmi dôležitým ukazovateľom vlastnosti rezných materiálov. Skúsenosti z praxe ukazujú, že veľké percento nástrojov sa vyraďuje z práce preto, že sa lámu a vyštrbujú. Krehkejšia oceľ sa rýchlejšie opotrebúva pre vyštrbovanie jednotlivých častí rezného klina.

4.1.3. Technologické vlastnosti

Zahrňujú viacero vlastností, ktoré sa menia v závislosti od technológie. K nim patrí: kaliteľnosť, prekaliteľnosť, náklonnosť na premenu zvyškového austenitu, náklonnosť na oduhličovanie, obrábateľnosť, najmä spôsobilosť podrobovať sa brúseniu a mnohé ďalšie vlastnosti, ktoré treba zaradiť do komplexnej charakteristiky.

Nástrojové ocele

- uhlíkové (19 0 – 2)
- legované (19 3 – 7)
- rýchlorezné (19 8)

Uhlíkové nástrojové ocele obsahujú 0,6% – 1,5% C a prvky mangán, fosfor a síru. Ich tvrdosť po kalení je 62 – 65 HRC. So zväčšovaním obsahu uhlíka však narastá odolnosť proti opotrebeniu. Najvyššiu pevnosť majú uhlíkové ocele s obsahom 1,1% uhlíka. Pre zvyšovanie nárazového namáhania prerušované rezy majú mať obsah 0,7% C. Pre požiadavky vysokej odolnosti proti opotrebovaniu a možnosti použiť aj krehký rezný materiál treba sa orientovať na ocele s obsahom uhlíka 1,3%.

Trvanlivosť uhlíkových ako i legovaných ocelí sa obmedzuje hranicou 250 – 300 °C.

Legované cele obsahujú 0,8 – 1,2 % uhlíka a legovacie prvky (mangán, kremík, volfrám). Ako stály komponent je tu chróm asi jedno percento, čím sa dosahuje úplná prekaliteľnosť.

Rýchlorezné ocele majú vysokú trvanlivosť pri ohriatí na vysoké teploty (550 °C) a vysokú tvrdosť v zakalenom a popustenom stave. Vysoká tvrdosť po zakalení je dôsledkom martenzitickej štruktúry s dostatočným obsahom uhlíka v roztoku. Vysokú trvanlivosť pri vysokých teplotách možno objasniť tým, že rozpusteným karbidov legovacích prvkov a uhlíka vzniká tuhý roztok.

Spekané karbidy

Obsahujú veľké množstvo karbidov, ťažko taviteľných kovov (volfrámu, titánu a pod.). Týmito karbidmi sa dosahuje vysoká trvanlivosť a odolnosť proti opotrebovaniu pri vysokých teplotách. Spojivo tvorí tuhý roztok karbidov v kobalte. Kobalt zvyšuje ich pevnosť napr. jeho obsah 3% dosahuje ohybovú pevnosť 1000 MPa. Podľa chemického zloženia ich rozdeľujeme do dvoch skupín

- jednokarbidové (karbid volfrámu – kobaltové spojivo)
- dvojkarbidové (karbid volfrámu – karbid titánu – kobaltové spojivo)

Môžu pracovať pri vysokých teplotách 950 – 1000 °C, majú vysokú tvrdosť, ktorá prevyšuje tvrdosť rýchlorezných ocelí o 10 HRC. Rezná rýchlosť je až štvornásobne vyššia ako rýchlorezných ocelí. Spekané karbidy pre svoju krehkosť neznášajú nárazové namáhanie. Pri zohriatí na 300 – 400 °C sa dvojnásobné zvýši ich vrubová húževnatosť. Spekané karbidy majú spravidla lepšiu tepelnú vodivosť ako rýchlorezné ocele, čo je z hľadiska procesu

rezania priaznivé. Jednokarbidové druhy SK s vysokým obsahom Co je výhodné používať pri obáraní legovaných ocelí vysokej pevnosti. Dobre výsledky sa získavajú pri obrábaní ocele s pomerne nízkymi rýchlosťami a pri veľkých prierezoch triesky. Dvojkarbidové SK sa používajú na obrábanie ocelí a kovov v plastickom stave. Zachovávajú si fyzikálno – mechanické vlastnosti a rezné vlastnosti pri vyšších teplotách. Majú vyššiu odolnosť proti chemickodifúznemu opotrebeniu. Majú menšiu náklonnosť zliepať sa s oceľovou trieskou počas rezania.

Nekovové rezné materiály

Sú to nové rezné materiály ako silicidy, nitridy, boridy alebo oxidy, ktoré sú chemickými zlúčeninami kovu s kremíkom, dusíkom, bórom alebo kyslíkom a sú príbuzné s karbidmi bóru alebo kremíka.Pretože tvrdosť potrebnú na obrábanie majú nielen karbidy kovov, ale aj silicidy, nitridy a niektoré oxidy, svedči o akýchsi latentných možnostiach používať tieto materiály na rezné nástroje. Dobré výsledky sa dosiahli aj s bóridmi, ktoré dosahujú pevnosť najtvrdších spekaných karbidov a majú aj vyššiu odolnosť proti opotrebovaniu. Efektívne výsledky pri obrábaní sa dosahujú s takými oxidickými materiálmi, ktoré sú zhotovené na báze oxidu hlinitého Al_2O_3. V súčasnosti vyrábame tri skupiny keramických rezných materiálov na báz oxidov.

1. Čisté oxidy (Al_2O_3 do 99%)

Tieto materiály sú veľmi krehké, majú však vysokú tvrdosť až 93 HRA.

2. Cermety

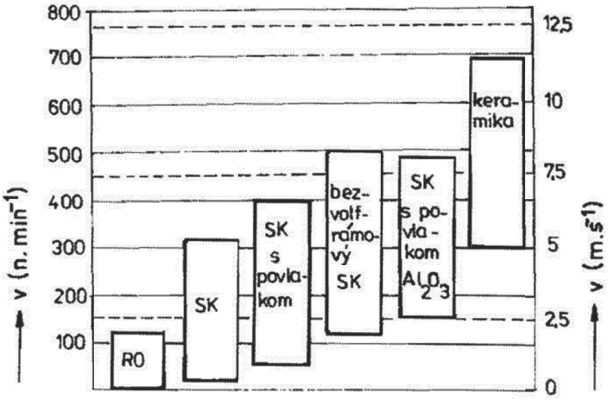
Základnou látkou je oxid hliníka (asi 60%) zvyšok sú kovy alebo karbidy kovov. Sú o niečo menej tvrdé a krehké ako čisté oxidy

3. Karbidové oxidy

Základnou látkou je Al_2O_3 (asi 75%) zvyšok tvoria karbidy kovov. Sú húževnatejšie ako ostatné keramické materiály a lepšie sa brúsia.

Každá skupina keramického materiálu sa vyrába špeciálnymi metódami, ktoré sú založené na princípe práškovej metalurgie. Pri výrobe sa práškovité suroviny lisujú a spekajú pri vysokých teplotách až 1800 °C. Vyrábajú sa rôzne tvary keramických platničiek a predávajú sa už naostrené. Dobrou vlastnosťou keramických platničiek je ich vysoká tvrdosť. Nevýhodou sú pevnostné vlastnosti, ktoré sú omnoho nižšie ako u kovových rezných materiálov. Preto ich môžeme používať len v podmienkach plynulých záberov čomu vyhovujú CNC stroje, ktorých pri záberoch do materiálu sa vychádza zo spomaľovacích bodov. Pri kmitaní je trvanlivosť keramiky veľmi nestabilná, a preto sa neodporúča keramikou obrábať málo tuhé súčiastky (napr. hriadele s pomerom l/d = 12 a viac). V poslednom období však záujem o keramické materiály vzrástol. Zlepšenie technológie výroby spočíva najmä v použití lisovania za tepla, kontrole mikroštruktúry základných zložiek a prímesí a v používaní zmesi 15 – 30 % TIC. Zlepšenie keramických materiálov tkvie v tom, že majú dostatočnú pevnosť a môžu sa používať do posuvu 0,4 $mm.ot^{-1}$ a sú

vhodné na frézovanie liatiny a ocele. Odporúčané rezné rýchlosti pre jednotlivé druhy materiálov sú znázornené diagramom.



Rezné rýchlosti odporúčané pre jednotlivé druhy nástrojových materiálov v porovnaní jednotiek $m.min^{-1}$, $m.s^{-1}$.

Diamantové zrná sa ako rezný materiál používajú na obrábanie keramiky, gumy a plastov a sú vhodné aj na obrábanie hliníka, mosadze, bronzu a medi. Nie je vhodný na obrábanie ocele a liatiny. Diamantové nástroje sú vhodné aj na frézovanie hliníka a jeho zliatin, pričom je nástroj dostatočne trvanlivý a je aj hospodárny aj napriek vysokej cene (je 20 – 25 krát drahší ako SK).

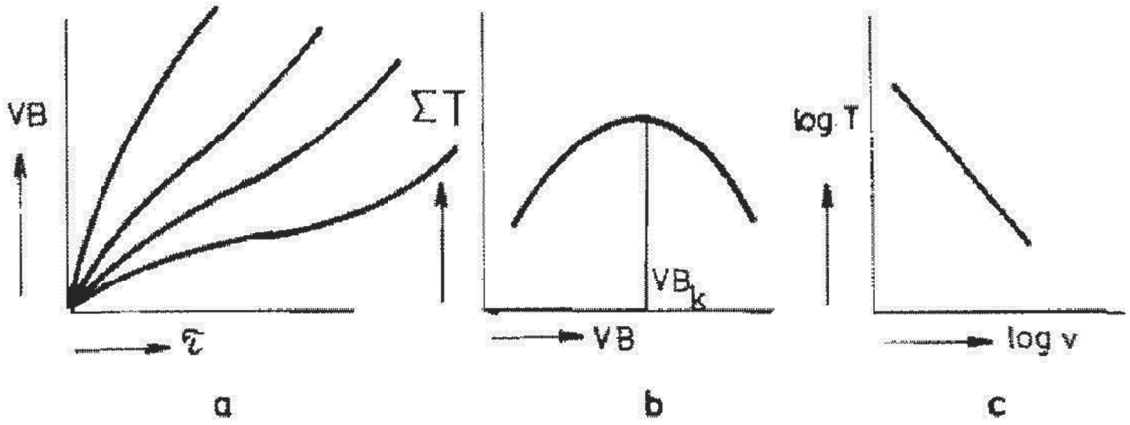
4.1.4. Skúšky reznosti

Rezné vlastnosti nástrojov možno skúšať:

- bezprostredne rezaním
- v podmienkach, ktoré modelujú proces
- na špeciálnych trecích strojoch

Kritérium reznosti môže byť:

- rezná rýchlosť pri konštantnej trvanlivosti
- rozmerová trvanlivosť pri konštantnej reznej rýchlosti

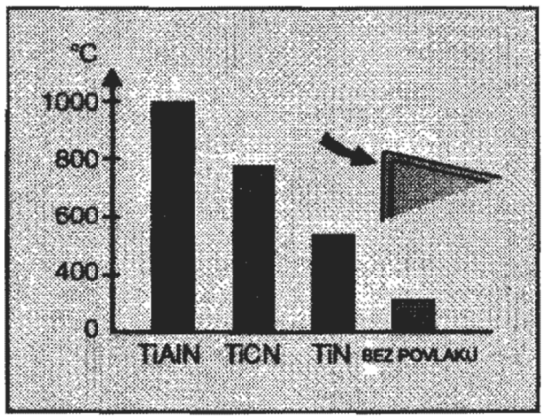


Postup pri skúške reznosti nástroja

a – zostrojenie závislosti VB (šírka opotrebenia na čase τ), VB = f(τ)
b – závislosť ∑T na šírke opotrebovania VB, ∑T = f(VB)
c – závislosť trvanlivosti T na reznej rýchlosti v, T = f(v)

4.1.5. Rezné nástroje pre HSC – rýchlostné obrábanie

Pre požiadavky HSC vysokorýchlostného obrábania, ktoré je realizované v oblasti vysokých teplôt (900 °C a viac) používame spekané karbidy, cermety, CBN (kubický nitrid bóru) a monolitné frézovacie nástroje. Tieto druhy materiálov aby odolávali vysokým teplotám musia byť povlakované chemickou metódou (CVD) kde sa nanáša povlak TiN, ktorý má výrazne lepšie podmienky z hľadiska opotrebovania rezného klina nástroja. Jeho výhodou je, že pri v_c = 400 m.min^{-1}, nevzniká nárastok, čo spôsobuje nárast trvanlivosti. Najpoužívanejšie povlaky pre SK sú TiN, TiCN, TiAlN a TiC. Tieto povlaky sa vyznačujú veľmi vysokou tvrdosťou a doporučuje sa ich použiť pre tvrdé obrábanie pri nižších rezných rýchlostiach (v_c < 200 m.min^{-1}). TiAlN má síce nižšiu tvrdosť ale zato odoláva vysokým tepelným vplyvom, preto je vhodný pre HSC – tvrdé obrábanie.



Tepelná odolnosť jednotlivých druhov povlakov

V dnešnej dobe sa začínajú presadzovať a používať multivrstvové povlaky nanášané najčastejšie MT – CVD metódou (MT – stredná teplota). Táto metóda má oproti konvenčnej CVD až 3 x vyššiu súdržnosť na základe TiC, TiN, Ti (C, N), Al_2O_3. Tento povlak môže mať 10 a viac vrstiev o hrúbke cca 0,2 μm a je veľmi dobre odolný vyšším rezným teplotám.

Monolitné frézovacie nástroje

Používame stopkové frézy u ktorých je nutné sledovať pohybovú a únavovú pevnosť. Väčšie posuvu spôsobujú nárast rezného odporu a ohybového namáhania frézy a tým rýchlejšie opotrebovanie rezného klina. Pri zvolených procesných rezných podmienkach je z hľadiska trvanlivosti ako optimálna rezná rýchlosť v blízkosti 320 m.min^{-1}.

4.1.6. Konštrukčné riešenie nástrojov

Konštrukcia nástroja pre HSC musí byť sama o sebe symetrická. Musí byť zabezpečené krátke uloženie nástroja a maximálna možná tuhosť, predimenzovaný driek najmä pri nástrojoch pre malé priemery a zvýšený priemer jadra. Ako ochrana proti vibráciám a záruka nízkych rezných síl sa volí krátka rezná hrana a malá dĺžka kontaktu rezného elementu s obrábaným materiálom. Nosné teleso rezného elementu je z mikrozrnitého SK povlakovaného prednostne TiAlN. Konštrukcia nástroja musí umožniť prístup chladiacej kvapaliny alebo vzduchu cez telo nástroja, dôvodom je zachovanie optimálnych rezných podmienok s spoľahlivé odstránenie triesok.

Guľové frézy

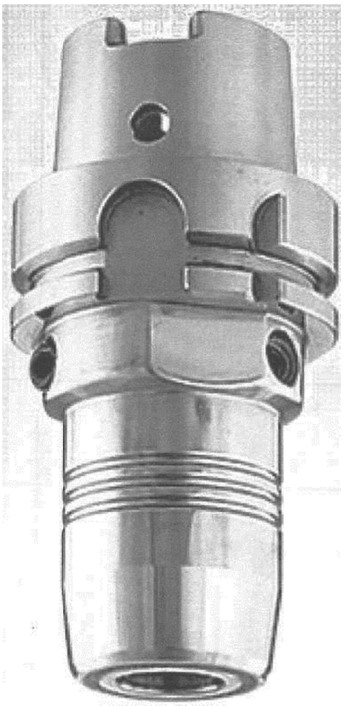
Majú veľký polomer, čo je dôsledkom dobrého rozloženia rezných síl a odvodu tepla. Fréza je spoľahlivá pri vysokých rezných rýchlostiach a posuvoch. Používa sa pri frézovaní šikmých stien, zápustiek a foriem.

Doporučené rezné podmienky pre rádiusové frézy na hrubovanie

Pre obrábanie ocele triedy 11 730 priemerom frézy väčšej ako 16 mm je doporučený posuv 0,156 pri reznej rýchlosti 160 $m.min^{-1}$ a teplota prehriatia nad 1000 °C. Vysoká rýchlosť posuvu, vplyvom vysokej teploty prehriatia miesta rezu niekoľko násobne skracuje čas obrábania čím sa zvyšuje produktivita obrábania. Stály vývoj a skvalitňovanie rezných materiálov firmami Sandvik, Cormant a Pramet vydávajú katalógy rezných nástrojov pre trieskové obrábanie a ich oblasti použitia rezných parametrov.

4.1.7. Upínanie nástrojov

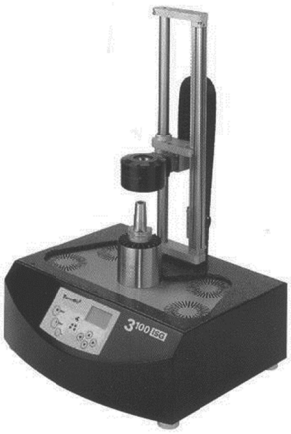
Pre vysoké parametre obrábania je požadovaná vysoká tuhosť a presnosť upnutia. Najvýhodnejšie je použiť tepelne zmrštiteľný upínač, ktorý umožňuje rýchle upínanie a odopnutie monolitných tvrdokovových fréz s valcovou stopkou. Druhý spôsob upínania pomocou hydroplastickej hmoty. Tlak na hydroplastickú hmotu vytvoríme mechanicky, prípadne hydraulicky. Využite Pascalovho zákona o šírení rovnomernosti tlaku zabezpečí celoplošné upnutie a súčasné vyváženie vysoko otáčkových monolitných nástrojov.



Praktické riešenie upínačov

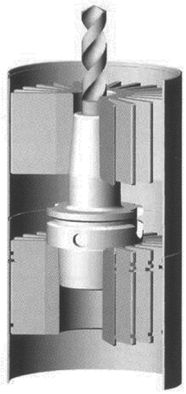
Princíp upínania tepelným upínačom je nahriate upínača vysokofrekvenčným generátorom napájacieho napätia 230 V a prúdom 16 A, pri dosiahnutý 300 – 340 °C s časom ohrevu 5 – 10 s. Táto teplota vykoná rozťažnosť vnútorného otvoru do ktorého nasunieme

valcovú stopku nástroja od priemeru 3 – 32 mm. Po nasunutí začne pôsobiť ochladzovanie hliníkovým telesom s veľkou plochou chladiča zväčšenou rebrovaním a odvod tepla sa zvyšuje prípojným ventilátorom. V krátkej a lokálnej fáze ohrevu nemá zostávajúca časť upínača sa možnosť ohriať. Malé množstvo energie uložené v upínacom puzdre umožňuje rýchle ochladenie. Dosiahnutá presnosť upnutia z hľadiska obvodového hádzania je veľmi vysoká - 0,3 μm.



Vysokofrekvenčný generátor

Upínacie puzdro

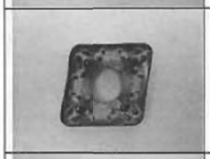
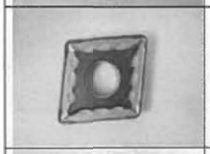
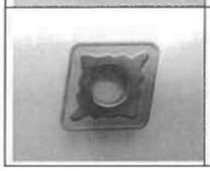


Chladič upínacieho puzdra

Výhody použitia tepelných upínačov

- rýchle zmrštenie a uvoľnenie
- maximálne dosiahnuteľné upínacie sily
- zvyšná trvanlivosť a životnosť nástroja a upínacieho vretena
- tuhosť upnutia umožňuje dosiahnuť vysoké kvality obrobeného povrchu
- dobrá ohybová radiálna tuhosť pri veľkej dĺžke sústavy s toleranciou
- iba miestne veľmi homogénne ohriatie v oblasti upínania
- rýchle schladenie nástroja pomocou chladiča zaručuje jeho minimálny ohrev
- obvodové hádzanie sústavy menšie ako 3 μm
- vysoká bezpečnosť práce v dôsledku odstránenia horúcich dielov sústavy
- použitie pre najvyššie otáčky
- procesorom riadené prispôsobovanie potrebného množstva energie na daný priemer
- lokálna väzba energie v oblasti upínania umožňuje minimalizáciu tepelnej energie na puzdro
- minimálny ohrev zovretého nástroja
- jednoduchá obsluha
- rovnakým upínacím puzdrom ide upínať nástroje z SK i RO
- štíhly tvar puzdra

Používané rezné nástroje v moderných technológiách obrábania vo firmách na výrobu ložísk

Obr.	Označenie +výrobca	rε rádius rezného klina	Použitie na VRL
	CNMM 190624 Lámač NHG sorta AC2000 Sumitomo	rε =2,4 mm Rez. podmienky Vc(110-180)/150 f (0,3- 1) / 0,7	Použitie pre **neprerušovaný a mierne preruš. rez**(plniaci otvor) pri posuve f = 0,7 mm/ot. Cez kolík používať tupý uhol. Hĺbka záberu ap = max.10mm. (Najpoužívanejšia rez. doštička pre hrubovanie s rádiusom rezného klina 2,4mm)
	CNMM 190624 Lámač NHG sorta AC900G Sumitomo	rε =2,4 mm Rez. podmienky Vc(140-220)/180 f (0,3- 1) / 0,7	Použitie pre plynulý rez s posuvom f = 0,7 mm/ot a väčšju reznú rýchlosť. Nevhodné pre prerušovaný rez a väčšie hĺbky záberu. Hĺbka záberu ap max 10mm, podľa výrobcu.
	CNMG 190616 Lámač NMU sorta AC900G Sumitomo	rε =1,6 mm Rez. podmienky Vc(140-220)/180 f (0,2- 0,6) / 0,45	Použitie pre plynulý rez s posuvom f = 0,6mm/ot. Nevhodné pre prerušovaný rez. Hĺbka záberu ap max 6mm, podľa výrobcu
	CNMG 190616 Lámač NMU sorta AC2000 Sumitomo	rε =1,6 mm Rez. podmienky Vc(140-220)/180 f (0,2- 0,6) / 0,45	Použitie pre plynulý a mierne preruš. rez (plniaci otvor) pri posuve f = 0,6 mm/ot. Cez kolík používať tupý uhol. Hĺbka záberu ap max 6mm, podľa výrobcu. (Najpoužívanejšia rez. doštička pre hrubovanie s rádiusom rezného klina 1,6mm)
	CNMM 190624 Lámač NHP sorta AC2000 Sumitomo	rε =2,4 mm Rez. podmienky Vc(110-170)/140 f (0,4- 1,2) / 0,8	Hrubovacia doštička pre plynulý a prerušovaný rez s posuvom f = 0,7 mm. Pre najväčšie hĺbky záberu ap max 11mm, podľa výrobcu.
	CNMG 190616 Lámač NMX sorta AC2000 Sumitomo	rε =1,6 mm Rez. podmienky Vc(140-220)/180 f (0,2-0,6) / 0,45	Použitie pre prerušovaný rez s posuvom f = 0,6mm/ot. (Najpoužívanejšia rez. doštička pre prerušovaný rez s rádiusom rezného klina 1,6 mm, kde nieje možné použiť tupý uhol). Hĺbka záberu ap max 6mm, podľa výrobcu
	CNMG 190616 Lámač NUX sorta AC2000 Sumitomo	rε =1,6 mm Rez. podmienky	Katalógové doporučenie pre dokončovanie a menšie posuvy, hĺbka záberu ap max 5mm. Vo výrobe používané pre plynulý a prerušovaný rez s posuvom f = 0,6 mm.
	CNMG 190624 Lámač MR7 sorta TP2000 Seco	rε =2,4 mm Rez. podmienky Vc(180-240)/210 f (0,3- 1,8) / 0,7 ap(1,5-8) / 6	Obojstranná hrubovacia doštička pre plynulý rez s posuvom f = 0,7 mm. Nevhodné pre prerušovaný rez. Hĺbka záberu ap max 8mm, podľa výrobcu

Súhrnné cvičenia

1. Popíšte význam a vlastnosti nástrojových materiálov
2. Charakterizujte spekané karbidy, rozdelenie a použitie
3. Popíšte nekovové rezné materiály, rozdelenie a vlastnosti pre obrábanie
4. Aké poznáte skúšky reznosti
5. Charakterizujte rezné nástroje pre HSC – rýchlostné obrábanie
6. Popíšte spôsoby upínania nástrojov pre HSC obrábanie
7. Vysvetlite princíp tepelných upínačov
8. Popíšte výhody tepelných upínačov

5. VÝROBNÉ POSTUPY

Význam výrobných postupov

Plán výrobného postupu, ktorým sa polotovar mení na výrobok nazývame výrobným postupom. Správne poradie prác uvedieme na tlačive výrobného postupu a niekedy ho dopĺňame aj náčrtkami. Vo výrobnom postupe sa uvádzajú aj stroje, zariadenia a náradie potrebné na výrobu. Výrobné postupy zabezpečujú produktívnu hospodárnu výrobu a vytváranie zisku pre podnikateľský subjekt.

5.1. Druhy výrobných postupov

Popri výrobných postupov pre obrábanie a tvarovanie, pre hutnícku výrobu, výrobu polotovarov (ako odliatkov, výkovkov a zváraných kusov) sú tiež výrobné postupy pre tepelné spracovanie, povrchovú úpravu a konečnú montáž výrobkov – montážne postupy.

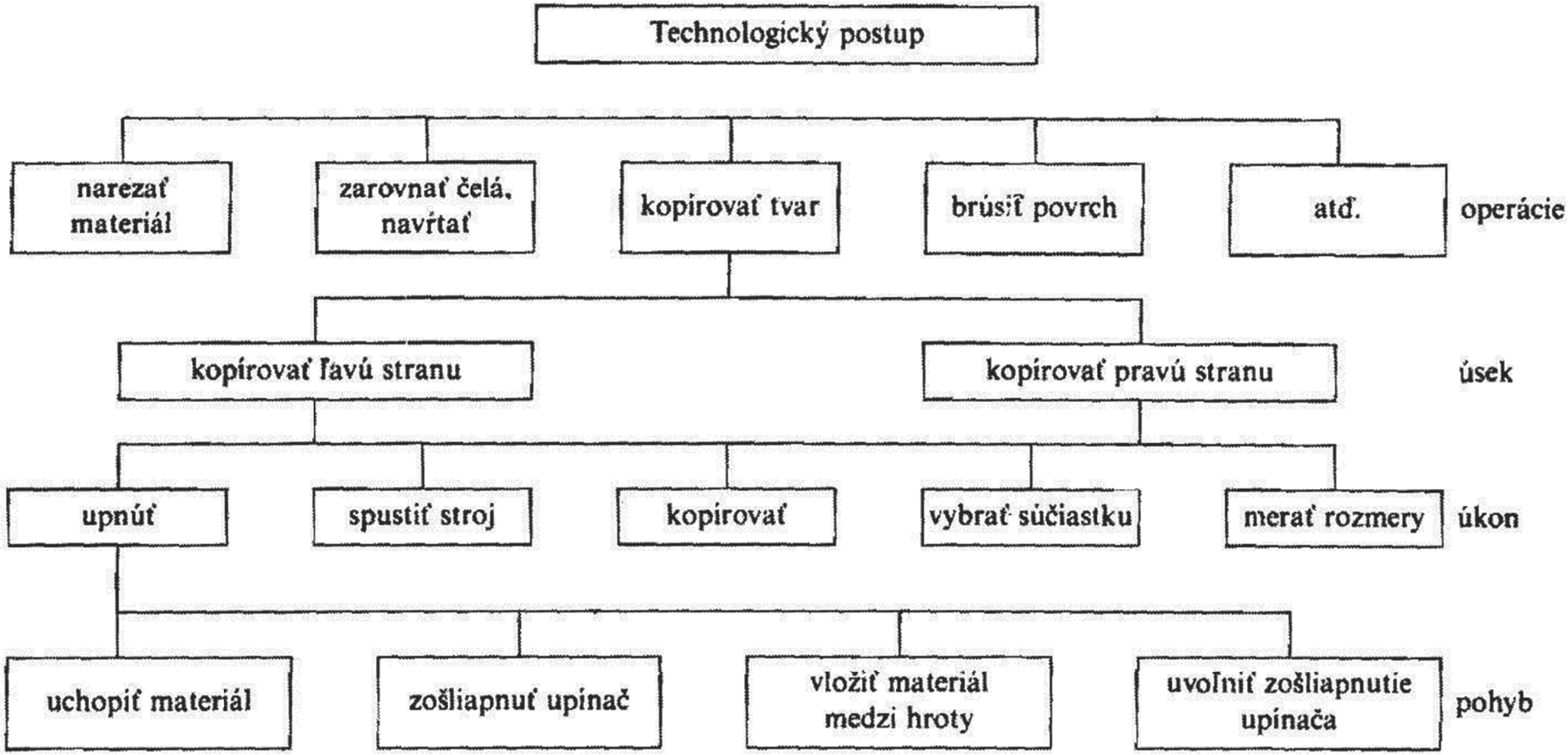
5.1.1. Technologické postupy

Výrobné postupy do ktorých doplníme technologické podmienky obrábania ako sú rezné podmienky pre konkrétne obrábanie nazývame technologické postupy.

Technologické postupy členíme:

1. Operácie – sú časťou technologického postupu, ktoré vykonávame na určitej súčiastke alebo skupine súčasne obrábaných súčiastok jedným pracovníkom alebo skupinou pracovníkov a to nepretržite na jednom pracovisku (napr. sústruženie, frézovanie, brúsenie a pod.)
2. Operačný úsek – je časť operácie ktorá sa robí na určitej ploche súčiastky v tej istej polohe alebo ustavení súčiastky pri nemeniacich sa rezných podmienkach. Každá operácia a úsek sa vo výrobnom postupe číslujú poradovo. Spôsoby číslovania sú rozličné. V našom prípade použijeme označovanie číslo operácie/číslo operačného úseku. Napríklad v prvej operácií (sústruženie) sa tretí operačný úsek označí 1/3. V druhej operácií napr. frézovanie sa prvý operačný úsek (zuhlovanie) sa označí ako 2/1.
3. Ustavenie – je časť operácie v ktorej sa urobí technologická zmena pri jednom upnutí súčiastky. Napríklad ustavenie a upnutie na prvú základňu a pre ďalšie upnutie bude vykonaná zmena na druhú základňu.
4. Úkon – jednoduchá a dokončená časť operácie rovnakého charakteru
5. Pohyb – najmenšia pozorovateľná a merateľná samostatná časť operácie napr. zapnutie stroja, spustenie spojky a pod.

Uvedené členenie závisí od charakteru výroby (kusová, sériová, hromadná). Pri kusovej výrobe vystačíme obvykle s členením na operácie s popisom prac. činnosti pretože tam pracujú vysokokvalifikovaní robotníci, ktorí poznajú podmienky obrábania. V sériovej výrobe postup členíme aj na operačné úseky kde uvedieme stroje, nástroje a rezné podmienky pretože tam pracujú menej kvalifikovaní pracovníci. V hromadnej výrobe je postup najpodrobnejší s doplnením náčrtov a všetkých údajov pre zapracovaných pracovníkov.


Technologický postup
narezať materiál
zarovnať čelá, navŕtať
kopírovať tvar
brúsiť povrch
atď.
operácie
kopírovať ľavú stranu
kopírovať pravú stranu
úsek
upnúť
spustiť stroj
kopírovať
vybrať súčiastku
merať rozmery
úkon
uchopiť materiál
zošliapnuť upínač
vložiť materiál medzi hroty
uvoľniť zošliapnutie upínača
pohyb

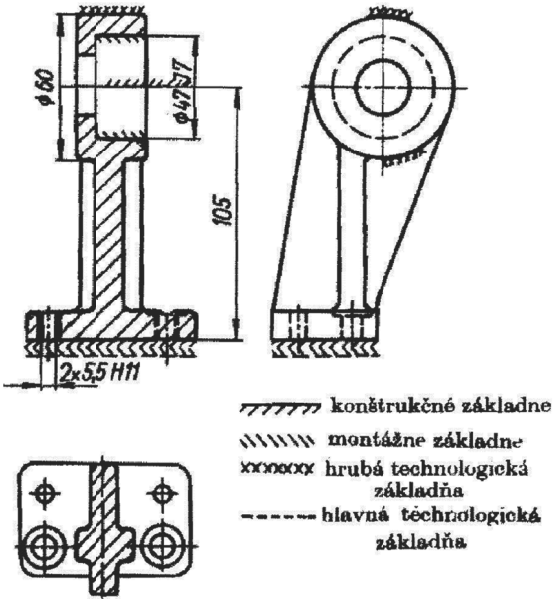
Konštrukčná základňa – je základňa, ktorá nesie predpísaný rozmer na súčiastke.

Technologická základňa – je základňa, ktorá sa opracúva ako prvá napr. (zarovnať čelo) a od tejto sa obrábajú ďalšie plochy.

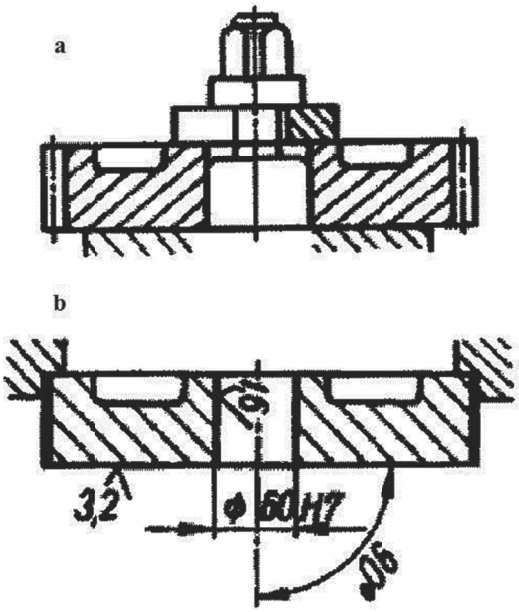
Hrubá technologická základňa – je plocha, ktorá ma prídavok na prvú operáciu opracovania.

Hlavná technologická základňa – je prvá opracovaná plocha od ktorej sa vykonáva opracovanie ďalších rozmerov súčiastky.

Často je výhodné použiť konštrukčnú alebo montážnu základňu ako základňu technologickú. Takáto základňa sa nazýva technologická základňa. Vedľajšie technologické základne slúžia napr. ako vystreďovacie jamky pri hriadeľoch.



Ložiskový stojanček



a – použitie dvoch technologických základní pre ďalšie obrábanie
b – hrubá technologická základňa pre obrábanie diery ϕ60H7

5.1.2. Požiadavky na vypracovanie technologické postupu

Technologický postup spracúva pracovník technickej prípravy výroby TPV – technológ postupár,

Pri zostavovaní technologického postupu prihliada na:

- požadovanú presnosť výrobku podľa výrobného výkresu
- vlastnosti materiálu – z ktorého sa bude výrobok vyhotovovať
- charakter výroby (kusová, sériová, hromadná)
- strojové vybavenie podniku (vyťaženie strojové parku, produktivitu práce)
- kvalifikáciu výrobných robotníkov

- celkové usporiadanie výrobne

Technológ postupár, musí dokonale poznať vyrovnaný výrobný podnik, pretože len tak zostaví technologický postup, ktorý by zabezpečoval rýchlu, presnú a hospodárnu výrobu súčiastok.

Technologický postup musí byť:

- úplný, nesmú v ňom chýbať nejaké údaje potrebné na výrobu
- správny, nesmú v ňom byť chyby, ktoré by mohli byť zdrojom nepodarkovosti
- stručný, heslovite písaný (neurčitku, sústružiť, frézovať a pod.)
- zrozumiteľný a jednoznačný, musí jasne určovať poradie vykonávanej práce
- úhľadný – vonkajšia úprava má nepriamy vplyv na kvalitu výroby
- hospodárny, musí využívať výrobné zariadenia výrobného podniku pri minimálnych nákladoch a vysokej produktivite práce

V technologickom postupe sa uvádza:

- opis prác a výrobných metód vo vhodnom poradí
- počet vyrábaných kusov
- výrobné prostriedky, čiže stroje, nástroje, prípravky a meradlá
- technologické podmienky
- režimy práce stroja
- rozmery polovýrobku pred obrábaním a zmeny počas obrábania
- mzda za vykonanú prácu

Technologický postup je podkladom na určenie:

- času potrebného na vykonanie jednotlivých operácií – úsekov, úkonov, pohybov
- vhodného vystrojenia pracovísk strojmi, zariadeniami a náradím
- kapacít, čím rozumieme počet pracovísk a pracovníkov
- plánovaných vlastných nákladov výroby
- podkladov na odmeňovanie
- organizácie plánovania a riadenia výroby

Technologické podklady

Skôr než technológ postupár začne spracúvať technologický postup na výrobu súčiastky, musí mať k dispozícií:

- výkresovú dokumentáciu súčiastky
- základné technické podmienky stroja
- údaje o výrobnom zariadení v podniku
- údaje o počte vyrábaných strojov v kalendárnom roku
- normatívy pre práce vykonávané na obrábacích strojoch, v podniku na stanovenie obrobiteľnosti, rezných podmienok a technických noriem času

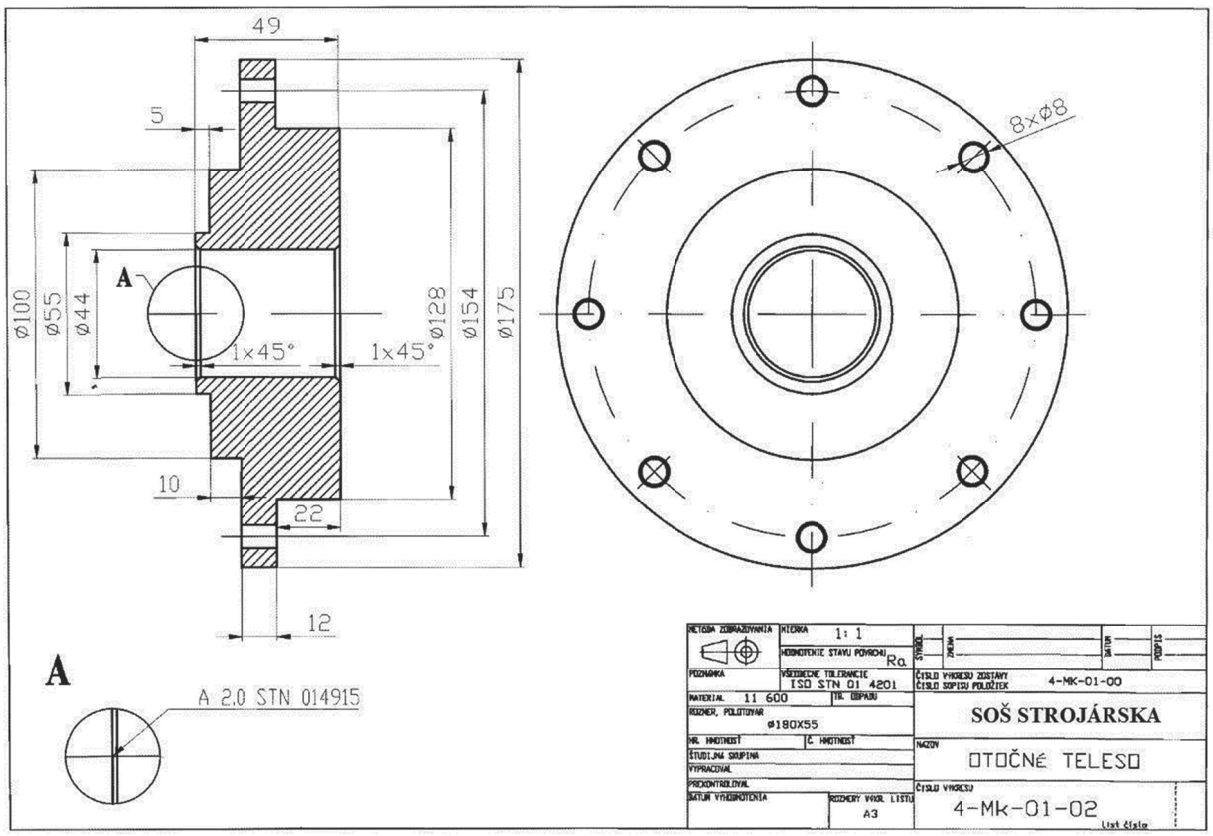
- ďalšie špeciálne údaje dané charakterom výroby

Zostavenie technologického postupu

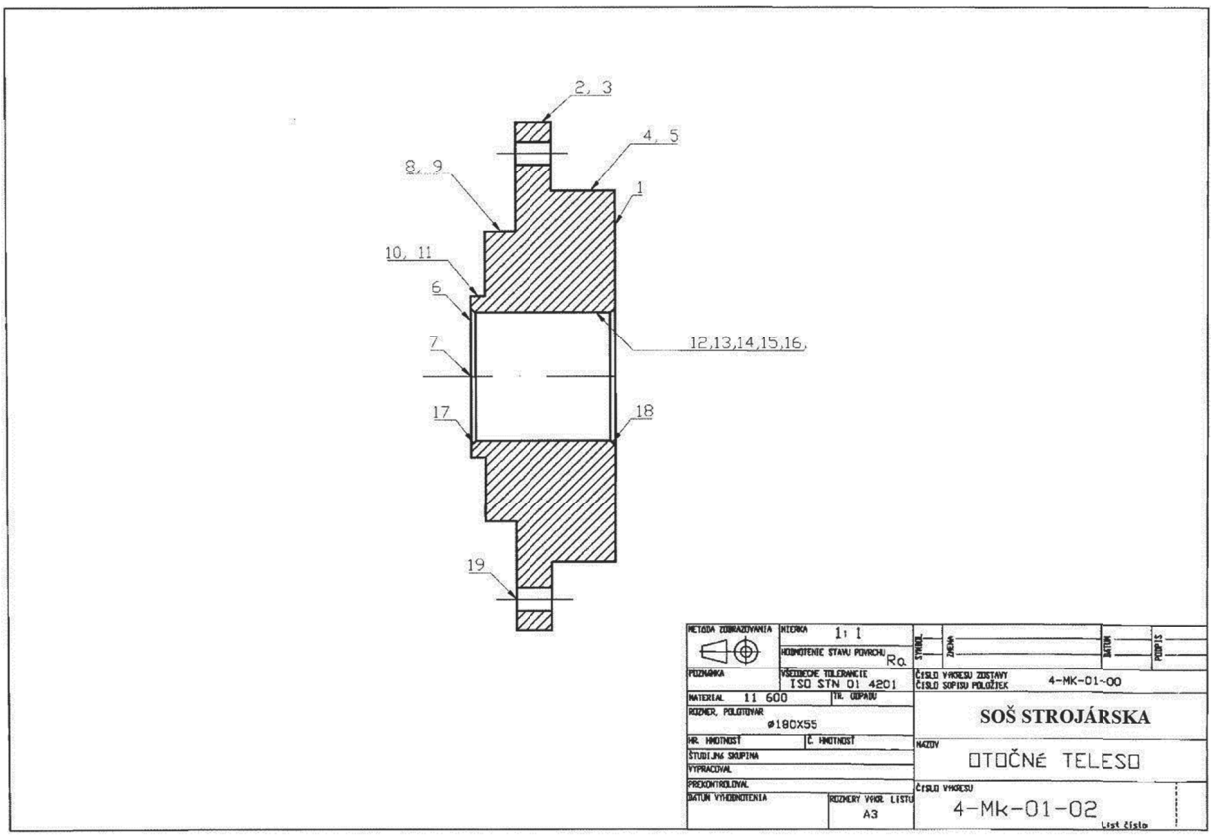
- preštudovanie výkresu
- preverenie východiskového materiálu
- určenie technologickej základne
- zostavenie predbežného sledu prác
- rozpísanie operácií a konečné stanovenie sledu oprácií
- určenie výrobného zariadenia a stanovenie pracovísk
- určenie výrobných pomôcok
- zabezpečenie kooperácie
- určenie rezných podmienok a stanovenie technických noriem
- výpočet výkonu obrábania a porovnanie s výkonom stroja
- kontrola dohodnutého postupu
- vypracovanie technologického postupu na čisto

5.1.3. Vlastné vypracovanie postupu

Technológ postupár preštuduje výrobný výkres z pohľadu zobrazenia zakótovania rozmerov udania materiálu, tepelného spracovania a povrchových úprav



V ďalšej časti návrhu technológ postupár myšlienkovite rozčlení jednotlivé operácie obrábania od prvej operácie technologickej základne s takým následným postupom aby čas opracovania bol čo najnižší. Jednotlivé operácie označí číselne a budú tvoriť základ popisnej časti do tlačiva technologického postupu



Po návrhu členenia operácií technológ postupár zistí hrubovací cyklus v ktorom použije najvyššie technologické parametre obrábania. Tieto parametre, hĺbka rezu t, posuv s, a rezná rýchlosť v, ktorých závislosť je daná normatívom rezných podmienok na základe kvality materiálu nástroja, najpoužívanejšie je použitie spekaných karbidov. Druhým kritériom je tvrdosť obrobku, ktorá je charakterizovaná jeho obrobiteľnosťou najčastejšie triedou 14b. Pre túto obrobiteľnosť je stanovený merný rezný odpor p, ktorý sa rovná 2000 N/cm^2. Z týchto údajov vypočítame hlavnú reznú silu pre nasledovné údaje voľby rezných parametrov. Použitý stroj SV18RA má výkon elektromotora na štítku stoja 6 kW.

t = 4 mm – hĺbka záberu
s = 0,35 mm/ot – strojový posuv
v = 100 m/min – rezná rýchlosť

Výpočet hlavnej reznej sily:

$F_z = p.t.s$

$F_z = 2000.4.0,35$

$F_z = 2800N$

Výkon potrebný na odrezanie triesky (teoretický výkon)

$$P_{už} = \frac{F_z . v}{60.10^3} = \frac{2800.100}{60000} = \frac{280000}{60000} = 4{,}6\ kW$$

Skutočný výkon elektromotora (bude vyšší o straty stroja dané účinnosťou)

η = 0,6 ÷ 0,8 – pre obrábacie stroje

$$P_{sk} = \frac{P_{už}}{\eta} = \frac{4{,}6}{0{,}8} = 5{,}83\ kW$$

Porovnanie a kontrola výkonu

$P_{sk} \leqq P_{el}$ na štítku stroja

5,83 ≦ 6 kW – navrhnuté podmienky obrábania využívajú maximálne výkon elektromotora obrábacieho stroja.

Príklad vypracovania technologického postupu na tlačivá pre sériovú výrobu, kde okrem rozpisu operácií, strojov a nástrojov a rezných podmienok uvedieme aj náčrty jednotlivých operácií, ktoré sprehľadňujú postup výroby pre menej kvalifikovaných pracovníkov.

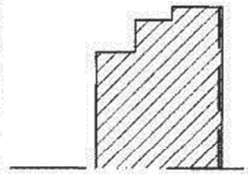
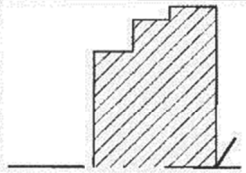
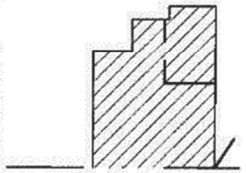
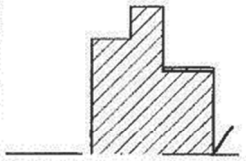
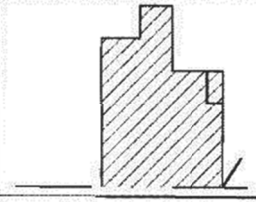
TECHNOLOGICKÝ POSTUP

POČET LISTOV 4
LIST ČÍSLO 1

OPER ÚSEK	POPIS PRÁCE	ROZMER PODĽA VÝKRESU	TECHNOL. ROZMER	STROJ TYP	NÁSTROJ MERADLO STN	REZNÉ PODMIENKY p	a	i	v	s	n	ČAS	NÁČRT
1	SÚSTRUŽENIE -upniť obrobok -zarovnať čelo	52	55	Sústruh SV18 RA	Čelný uberací nož posuvné meradlo	3	3	1	170	0,35	340		
2	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø175 na hrubo do l=35mm	ø176	ø180	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nož posuvné meradlo	4	2	2	186	0,35	340		
3	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø175 na čisto do l=35mm	ø175	ø176	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nož posuvné meradlo	1	1	1	186	0,35	340		
4	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø128 na hrubo do l=22mm	ø130	ø175	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nož posuvné meradlo	45	3	15	160	0,35	340		
5	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø128 na čisto do l=22mm	ø128	ø130	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nož posuvné meradlo	2	1	2	211	0,35	450		

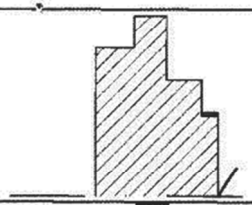
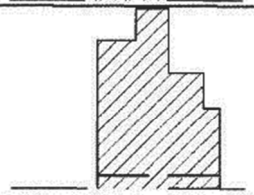
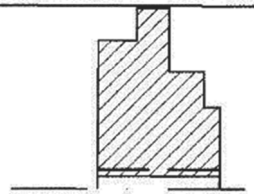
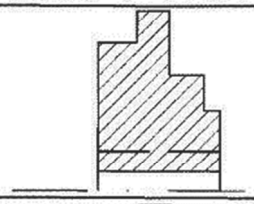
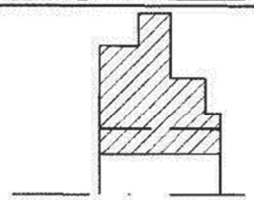
TECHNOLOGICKÝ POSTUP

POČET LISTOV 4
LIST ČÍSLO 2

OPER ÚSEK	POPIS PRÁCE	ROZMER PODĽA VÝKRESU	TECHNOL. ROZMER	STROJ TYP	NÁSTROJ MERADLO STN	REZNÉ PODMIENKY p	a	i	v	s	n	ČAS	NÁČRT
6	SÚSTRUŽENIE -obrátiť obrobok a upnúť obrobok za vonkajší ø128 -zarovnať čelo	49	52	Sústruh SV18 RA	Čelný uberací nôž posuvné meradlo	3	3	1	170	0,35	340		
7	VŘTANIE -navŕtavanie strediaceho otvoru ø2 tvaru A	ø2		Sústruh SV18 RA	Navŕtavák posuvné meradlo	2	2	1	6		1000		
8	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø100 na hrubo do l=15mm	ø102	ø180	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nôž posuvné meradlo	78	3	261	160	0,35	340		
9	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø100 na čisto do l=15mm	ø100	ø102	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nôž posuvné meradlo	2	1	2	141	0,35	450		
10	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho ø55 na hrubo do l=5mm	ø58	ø100	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nôž posuvné meradlo	42	3	14	78	0,35	450		

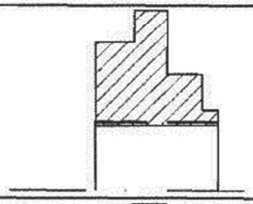
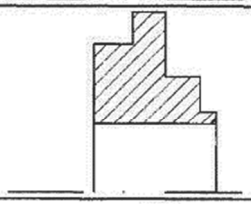
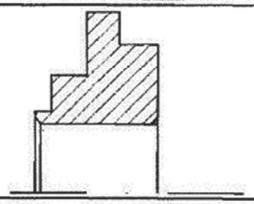
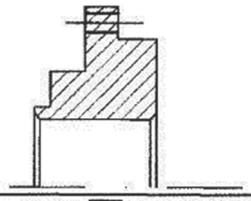
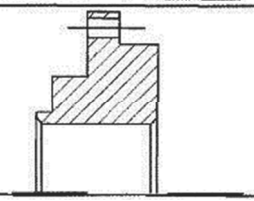
TECHNOLOGICKÝ POSTUP

POČET LISTOV 4
LIST ČÍSLO 3

OPER ÚSEK	POPIS PRÁCE	ROZMER PODĽA VÝKRESU	TECHNOL. ROZMER	STROJ TYP	NÁSTROJ MERADLO STN	REZNÉ PODMIENKY p	a	i	v	s	n	ČAS	NÁČRT
11	SÚSTRUŽENIE -sústruženie vonkajšieho Ø55 na čisto do l=5mm	Ø55	Ø58	Sústruh SV18 RA	Stranový uberací nôž posuvné meradlo	3	1,5	2	96	0,35	560		
12	VŔTANIE -vŕtanie priechodzieho otvoru Ø6	Ø6		Sústruh SV18 RA	6vrták s kužeľovou stopkou posuvné meradlo	6	3	1	9,5		1000		
13	VŔTANIE -vŕtanie zväčšovanie priechodzieho otvoru Ø6 na Ø10	Ø10	Ø6	Sústruh SV18 RA	10vrták s kužeľovou stopkou posuvné meradlo	4	2	1	31		1000		
14	VŔTANIE -vŕtanie zväčšovanie priechodzieho otvoru Ø10 na Ø25	Ø25	Ø10	Sústruh SV18 RA	25vrták s kužeľovou stopkou posuvné meradlo	15	7,5	1	26		340		
15	SÚSTRUŽENIE -vnútorné sústruženie na hrubo -zväčšenie priechodzieho Ø25 na Ø43	Ø43	Ø25	Sústruh SV18 RA	Nôž S16M SCKCR09 posuvné meradlo	18	2	9	56	0,35	450		

TECHNOLOGICKÝ POSTUP

POČET LISTOV 4
LIST ČÍSLO 4

OPER ÚSEK	POPIS PRÁCE	ROZMER PODĽA VÝKRESU	TECHNOL. ROZMER	STROJ TYP	NÁSTROJ MERADLO STN	REZNÉ PODMIENKY p	a	i	v	s	n	ČAS	NÁČRT
16	SÚSTRUŽENIE -vnútorné sústruženie na čisto -zväčšenie priechodzieho Ø43 na Ø44	Ø44	Ø43	Sústruh SV18 RA	Nôž S16M SCKCR09 posuvné meradlo	1	1	1	62	0,35	450		
17	SÚSTRUŽENIE -sústruženie zrazenie hrany na priemere Ø44 na čisto 1x45° -uvoľnenie obrobku	1x45°		Sústruh SV18 RA	Ohnutý uberací nôž posuvné meradlo	1	1	1	62		450		
18	SÚSTRUŽENIE -obrátiť obrobok a upnúť obrobok za vonkjší priemer Ø100 -sústruženie zrazenie hrany na priemere Ø44 na čisto 1x45° -uvoľnenie obrobku	1x45°		Sústruh SV18 RA	Ohnutý uberací nôž posuvné meradlo	1	1	1	62		450		
19	FRÉZOVANIE -upnutie obrobku na otočný stôl za Ø128 -frézovanie otvorou Ø8 po kruznici pod uhlom rozostúpenia dier 45°a vzdialenosti stredov 154mm -uvoľnenie obrobku	8xØ8		Frézka FGS 40	8 drážkovač posuvné meradlo	8	4	1	23		1800		
20	OTK				?								

Vo väčších závodoch kde sa vyrábajú výrobky v sériách sa do tlačiva technologického postupu uvádzajú aj normy času na určenie výrobných nákladov podľa veľkosti vyrábanej dávky. Z postupu sa na dielenských sprievodkách operácií vypíšu mzdové a materiálové lístky a priložia sa ku kusovníku. Sprievodka operácií sa zhoduje s technologickým postupom. Len technická norma času a jej zodpovedajúca odmena sú na dielenskej sprievodke.

5.1.4. Technická norma času

Pre stanovenie celkového výrobného času tento rozčleníme na nasledujúce ukazovatele.

Z normatívov sme zistili:

čas prípravy a zakončenia t_{pz} = 30 min,
hlavný čas t_h = 3,2 min,
vedľajší čas t_v = 4,2 min.

Podľa zvyklostí volíme čas:
obsluhy pracoviska t_{xo} 10% operačného času,
na oddych a prirodzené potreby pracovníka t_{xd} 15% operačného času.

Riešenie:

Operačný čas:

hlavný čas t_h	3,2 min
vedľajší čas t_v	4,2 min
operačný čas t_0	7,4 min

Kusový čas:

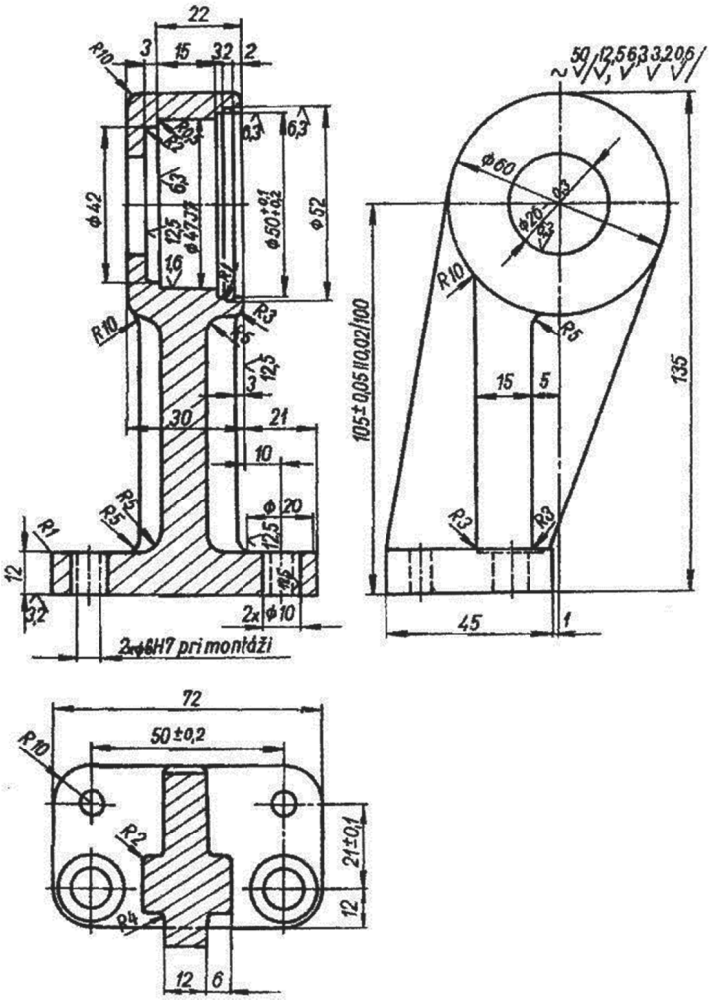
operačný čas t_0	7,4 min
čas obsluhy pracoviska t_{x0} (10 % t_0)	0,74 min
čas na oddych a prirodzené potreby t_{xd} (15 % t_0)	1,11 min
kusový čas na jeden obrobok t_k	9,25 min

čas prípravy a zakončenia t_{pz} 30,00 min, tento čas je pre prípravu celej dávky v počte 50 ks.

Príklad vypracovania postupu pre dávku 50 kusov pre výrobný výkres ložiskový stojanček.

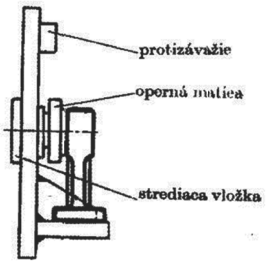
Pre určenie rezných podmienok pre obrobok z odliatku 42 24 21, bude obrobiteľnosť liatiny 10a a preto rezné parametre budú znížené násobeným koeficientom z tabuľky

Obrobiteľnosť	9a	10a	11a	12a	13a
k_{vs}	0,72	0,8	0,9	1,0	1,0



Presný výkres ložiskového stojančeka. Keďže sa jedná o nepravidelný tvar obrobku musíme voliť špeciálne náradie hlavne na vyváženie obrobku aby nedošlo k jeho uvoľneniu.

Zákazkové čís. 3-14-5835-002		Výrobok-typ: Ložiskový stojanček		Žiadanka špeciálneho náradia číslo: 29		
Číslo výkresu súčiastky:		Názov súčiastky:		Kusov: 50/rok	Druh náradia, prípravku	
Norma spotreby:	Obj. kusov	Označenie špec. výrob. pomôcky: SM-ONA	Pre operáciu 6	Termín vyrobenia:		Stredisko: 334
		Výkres špec. výrob. pomôcky:		Termín pre konštruktéra náradia:		
	1	Názov špec. výr. pomôcky: prípravok na sústruženie	Pracovisko: 4125	Konštrukčná prácnosť v hod.:		
				Termín pre technológa		
Náčrt — popis náradia				Normohodiny	plán	skut.
				Náklady	mater.:	mzdy:
				Cena 1 kusa	Hmotnosť 1 kusa:	
				Priebeh zak. špec. náradia:		
				Útvar	dňa	prevzal	dňa	vybavil



Dátum	Zákazkové číslo	Bežné číslo Kusovník č.	Kusov	Ks na 1 stroj	Dielec	Stroj	Č. v.	Pos.
4.6	1-27-0001	04008	50	5	Ložiskový stojanček	SV 18 R Zhotovenie	3-14-5824-02	8

Materiál	Druh	Rozmer-Model-Zápustka	Kusov	Hmot. kg	Kat. odp.	Zostava 42
	42 2421	odliatok 14-5835-002	50	1,74		Kusovník

Oper. Tr. práce	Kčs	Tk	Kčs	Tpz	Pracovisko Kčs celk.	Opis práce	Technické podmienky	Náradie, špeciálne prípravky	Normálne náradie
	Tech. zdôv. norma								
	Kčs	Tk	Kčs	Tpz					
1					9412	Od orysovaného stredu náboja orysovať			
						na výšku 105 rysku po obvode základnej plochy			
2					5218	Frézovať podľa orysovania dosadaciu plochu na čisto			
	3,40		60,0						
4	0,30		5,35						
3					9421	Zraziť ostrie dosadacej plochy			
3	1,80		5,0						
	0,17		0,39						
4					4645	2 × ∅10 so zarovnaním dosadacej plochy ∅ 20,		OSA 2617	
	5,4		20,0			2 × ∅ 6 H7 na ∅ 5,5 H11 pre prístroj		EVS 1725	
4	0,48		1,78						
5					4125	Zarovnať náboj ∅ 60, ∅ 47 J7 do hrúbky 22 od náboja		ONA 2917	
	9,25		30,0			∅50 +0,1+0,2 v dĺžke 7, ∅ 42 s R2 začistiť ∅ 26—0,3		ENA 2124	
	0,95		3,0			a drážku R1 na ∅ 52			
6					9421	Upraviť tvar, zraziť hrany			
	1,4		5,0						
3	0,11		0,39						
7					9863	Celková kontrola			
Celkom					Kčs celk.				

Zmeny	Zmena	Deň	Mesiac	Rok	Podpis	Dát. Pod.	Postup vyhotovil	Prístr. vpísal val	Prácu normoval	Schválil	Schválil	Schválil	Výkres podob. súč.

5.1.5. Rozbor postupov

Je posledná fáza vypracovania postupu v ktorej oddelenie technickej prípravy výroby TPV a konkrétne úseky technologické, výrobné a ekonomické prehodnotia hospodárnosť postupu. V praxi na vypracovanie postupu nemáme stanovené striktné pravidlá, ale konkrétne vypracujeme viacej postupov nezávisle viacerými technológmi postupármi. Ako najlepší

technologický postup sa vyhodnotí ten, ktorý po konkrétnom vyrobení výrobku je najproduktívnejší z celkového pohľadu výrobného času. Aj najdôležitejšie hľadisko – hospodárnosť, ktorá zahrňuje aj celkové náklady na výrobu musí byť pre najlepší postup najefektívnejšia.

5.1.6. Technologické podklady pre výrobu súčiastky na programovo (číslicovo riadených obrábacích strojoch)

Prípravu výrobnej dokumentácie pre programovo (číslicovo) riadené obrábacie stroje delíme na:

- technologickú prácu
- programátorskú prácu

Na riadenie automatického pracovného cyklu programovo (číslicovo) riadeného obrábacieho stroja treba zostaviť rad po sebe nasledujúcich informácií. Každá z týchto informácií sa zaznamenáva do vopred pripraveného formulára. Všetky podklady sú potrebné na vypracovanie programu, podľa ktorého možno vyrobiť požadovanú súčiastku. V oddelení technológie so zavedením programovo (číslicovo) riadených obrábacích strojov do procesu výroby vznikla nová profesia pracovníkov: technológ programátor.

Technológ programátor plne rozhoduje o využití obrábacieho stroja. Programovo (číslicovo) riadené obrábacie stroje vyžadujú pre svoju činnosť podrobné informácie. Súhrn týchto operácií tvorí riadiaci program stroja. Tento program zahŕňa podrobne definovaný cyklus jednotlivých nástrojov, určenie zodpovedajúcich rezných podmienok, určenie zmyslu, smeru a dĺžky pohybu pracovných mechanizmov a ďalšie pomocné údaje (pomocné funkcie M a prípravné funkcie G). Aby sa mohol program na zhotovenie obrobku zostaviť treba vypracovať technologickú dokumentáciu.

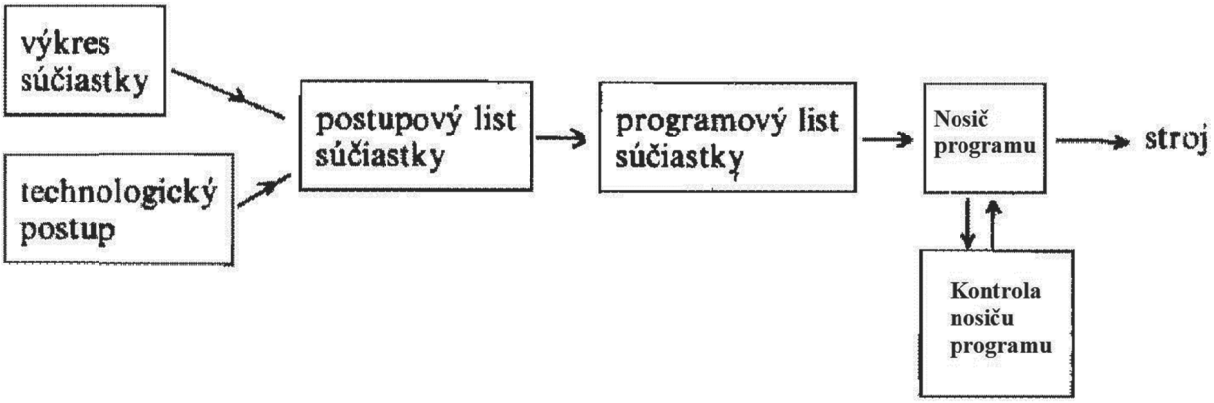


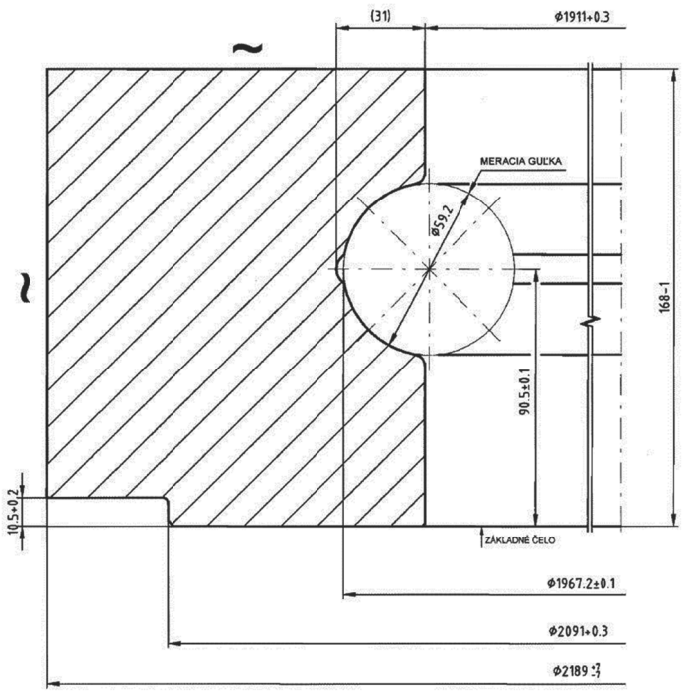
Schéma zostavenia programu NC stroja

Technológ postupár po preštudovaní výkresu súčiastky vykoná rozbor súčasnej technológie výroby danej súčiastky pričom posúdi, či niektoré operácie, doteraz vykonávané na niekoľkých strojoch nemožno zlúčiť do jednej operácie vykonávanej na NC stroji.

Príklad technologického postupu a programu moderného závodu s využitím čo najvyšších ukazovateľov produktivita a hospodárnosti výroby vo firme PSL a.s.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP	Označenie výrobku	Názov súčiastky	Číslo súčiastky	Č.listu
		Vonkajší krúžok		Poč.listov

PRED TEPELNÝM SPRACOVANÍM



ZOZNAMOVÝ A MATERIALOVÝ LIST TECHNOL. POSTUPU	*Ozn. výrobku:* Špeciálne guľkove ložisko - VZOR *Názov sučiastky:* Vonkajší krúžok	*Číslo sučiastky:*	2 10

Číslo výkresu súčiastky	*Akostná norma*	*Rozmerová norma*	*Východzí rozmer*
.....	42CrMo4 V		2189 ±7 / 1896 ±7 x 175 ±8

Polotovar-číslo výkresu	*Čistá váha*	*Hrubá váha*	*%využitie*	*Trieda odpadu*	*Počet kusov na 1 prev.*	*Počet operácií*
/1	769.000	1328.000		1	1	18

Zoznam operácií

0010	0020	0030	0040	0050	0060	0070	0080	0090	0100	0110	0120	0130	0140	0150
0160	0170	0180												

Postup vypracoval	*Datum*	*Postup kontroloval*	*Datum*	*Postup normoval*	*Datum*

Zmena	*Vypracoval*	*Číslo zmenového listu*	*Datum*

TECHNOLOGICKÝ POSTUP | *Ozn. výrobku:* Špeciálne guľkové ložisko - VZOR | *Číslo sučiastky:* ..... | 3 / 10

Názov sučiastky: Vonkajší krúžok

Cislo op. / *TU*	*Pracovisko/Typ stroja* / *Popis úkonu*	*Upínače*	*Nástroje*	*Meradla*
0010	**CNC sústruh / karusel**			
SC	Sústružiť základné čelo na *168 -1;	Čeluste	Nože	Posuv.mer.

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
2189	1896	10	130	0,7		20

SH -otvor na *PR. 1911+0,3;

*L (L*D)[mm]*	*Prídavok[mm]*	*D (1)[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
168	10	1911	130	0,7		22

SC -osad.na čele od povrchu *PR. 2091+0,3 do hĺbky 10,5+0,2 od zákl.čela;

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
2189	2091	10	130	0,7		19

SH -hrubovať obežnú dráhu;

*L (L*D)[mm]*	*Prídavok[mm]*	*D (1)[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
276	5	1911	130	0,6		22

SH -sústružiť obežnú dráhu : Mer.obež.dráhy

*L (L*D)[mm]*	*Prídavok[mm]*	*D (1)[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
75	5	1967,2	130	0,7		21

dodržať rozmer *90,5 ±0,1 od zákl.čela; (merané cez guľky PR.59,2) Nástav.mer.

Profil obežnej dráhy podľa PN .....(podniková norma) ;

SZ -zápich R8 v obežnej dráhe do hĺbky 31+0,3 od PR. 1911; Hĺbkomer

L-dĺžka [mm]	*Prídavok [mm]*	*D-Priemer [mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
3	1	1973	130	0,5		21

SY -zrazit hrany R5 na obežnej dráhe;

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*Dĺžka[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n [ot/min]*
1911	1911	2	5	130	0,3		22

SY -zrazit hrany 1x45°;

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*Dĺžka[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n [ot/min]*
2091	1911	1	1	130	0,3		21

-kontrolovať: radiálne hádzanie max.0,2mm; axiál.hádzanie max.0,1mm;

0020 **Indukčný kaliaci stroj**

KD Indukčne kaliť obežnú dráhu do hĺbky min.6,5mm na HRc 59 ±4; Induktor

D-ob.dráhy[mm]	*Dochlad.[min]*	*Posuv[mm/min]*	*- Gul.(1)/val.(0)*	*- D-gul./valčeku*	*- Hĺbka prekal.*
1967,2	1	200	1	60	6,5

Prechodové pásmo kalenia dráhy značiť písmenom "X";

0030 **Defektoskop. pracovisko**

RV Kontrolovať podľa návodky TN.....(technologická návodka);

TECHNOLOGICKÝ POSTUP | *Ozn. výrobku:* Špeciálne guľkové ložisko - VZOR | *Číslo sučiastky:* ..... | 5 / 10

Názov sučiastky: Vonkajší krúžok

Cislo op. / *TU*	*Pracovisko/Typ stroja* / *Popis úkonu*	*Upínače*	*Nástroje*	*Meradla*
0040	**Elektrická pec**			
XH	Popustiť v elektrickej peci na požadovanú tvrdosť;			

Hlavný čas
180

0050 **Lis hydraulický**

Kontrolovať: radiálne hádzanie obežnej dráhy *max.0.2mm; Otočný stôl Posuvné meradlo

-ovalita obežnej dráhy *max.0.4mm;(merať na PR.1911) Stojan s indikátorom

-axiálne hádzanie základného čela *max.0.2mm;

-podľa potreby rovnať;

0060 **Sústruh / karusel**

SC Sústružiť druhé čelo na *160,5 -0,2; Čeluste Nože Posuv.mer.

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
2189	1911	5	110	0,5		17

(plocha pre tesnenie od PR. 1911 v šírke 12mm opracovanie 2,5)

SH -povrch na *PR. 2173,5 ±0,15;

*L (L*D)[mm]*	*Prídavok[mm]*	*D (1)[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n[ot/min]*
150	5	2173,5	110	0,5		16

SY -zrazit hrany 6x45° na povrchu;

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*Dĺžka[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n [ot/min]*
2173,5	2173,5	2	6	110	0,3		16

SY -zrazit hranu 1x45° v otvore;

D1[mm]	*D2 [mm]*	*Prídavok[mm]*	*Dĺžka[mm]*	*v [m/min]*	*Posuv[mm/ot]*	*Poč.rezov*	*- n [ot/min]*
1911	1911	2	1	110	0,3		18

-kontrolovať: radiálne hádzanie max.0,2mm; axiál.hádzanie max.0,1mm;

0070 **Fréza na ozubenie**

FO Frézovať ozubenie podľa konštrukčného predpisu; Opierky Mod.freza Mikrometr

Modul	*Počet zubov*	*Výška kusov[mm]*	*Pr.pos.[mm/min]*	*Sp.pos.[mm/min]*	*Výbeh[mm/min]*	*Pr.pris.[mm/min]*	*Počet rezov*
18	118	150	400	3000	750	400	

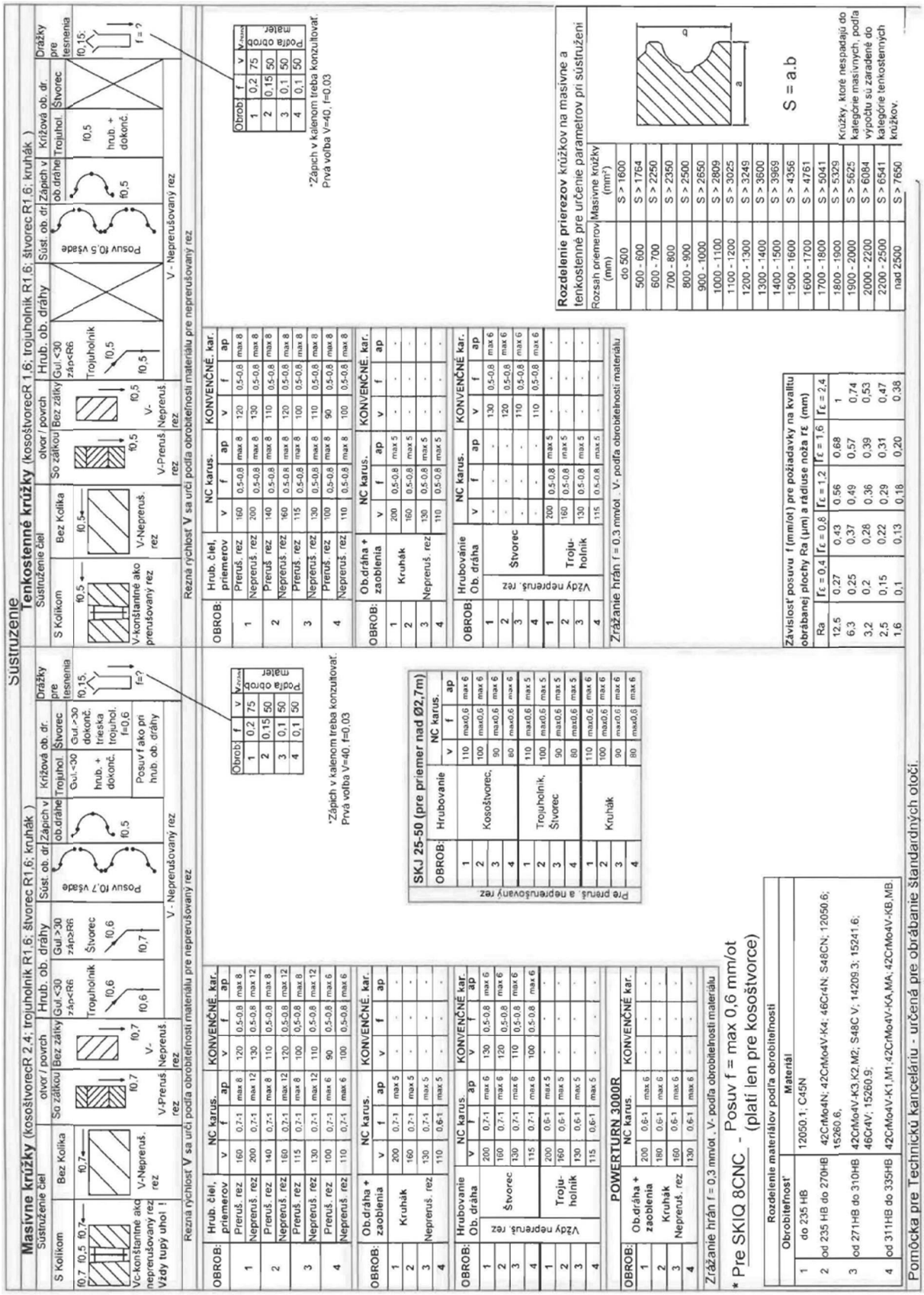
Miera cez 15 zubov pred kalením = 805,95 -0,1; Úpinky

0080 **Ručne**

XV Čistiť krúžok po odvalovaní ozubenia; Handra

AOV -zrazit hrany 2x45°po profile; po hlave 1x45° podľa TN..... Biaska

Doporučené rezné parametre pre jednotlivé výrobné operácie a druhy tvarov rezných doštičiek



Súhrnné cvičenia

1. Popíšte význam výrobných postupov a delenie
2. Charakterizujte členenie technologických postupov
3. Uveďte podklady pre zostavovanie technologických postupov
4. Vykonajte výpočet výkonu obrábania a porovnanie s výkonom stroja
5. Uveďte členenie technologickej normy času
6. Ako sa rozdeľujú technické a výrobné podklady pre prípravu programu na CNC stroje
7. Význam rozboru technologických postupov
8. Popíšte používané tlačivá na vypracovanie technologických postupov
9. Vysvetlite rozdiel vo vypracovaní technologického postupu vo výrobnom závode
10. Uveďte aké podklady k vypracovaniu technologického postupu má technológ programátor k dispozícii vo výrobnom závode
11. Popíšte ekonomické zdôvodnenie vypracovania technologického postupu z hľadiska produktivity a hospodárnosti výroby

6. UPLATNENIE NC A CNC STROJOV VO VÝROBE

Význam uplatnenia NC CNC strojov vo výrobe

Súčasná strojárska výroba prechádza na kusové a malosériové výroby. Je to podmienené znížením požiadavok trhu na väčšie vyrábané množstvá, ktoré niesú cenrálne riadené pre širšie spektrum odberateľov ako v minulosti. Stroje s tvrdou automatizáciou pre klasické výrobné linky sú nepotrebné. Kusové a malosériové výroby požadujú stroje, ktorých nastavenie je podstatne jednoduchšie a ľahšie a tým sa dosiahne rýchla zmena jedného typu výrobku na iný. Takéto stroje pri ktorých možno pomerne ľahko meniť výrobný program nazývame obrábacími strojmi s pružnou automatizáciou. Význam automatizácie pri všetkých spôsoboch výroby prispieva k znižovaniu produktivity praáce a súčasne k znižovaniu výrobných nákladov. Uplatnenie vedeckých poznatkov v praxi riešia progresívne metódy výroby čo sú hlavné úlohy na uspokojavanie potrieb obyvateľstva.

6.1. Charakteristika NC (Numerical control) strojov

Obrábacie stroje s pružnou automatizáciou zabezpečujeme prevažne číslicovým riadením. Pri číslicovo riadených obrábacích strojoch ide o automatické riadenie výrobného procesu na základe číselných údajov z číslicového riadiaceho počítača. Riadiaci systém spracováva a prenáša údaje jednotlivým mechanizmom a akčným členom na vykonávanie jednotlivých operácií obrábania. Automatické obrábanie zabezpečuje aj odmeriavacie zariadenie, ktoré na elektronickom princípe sníma rozmerové údaje, spätnou väzbou ich vysiela do časti spracovania údajov. Pri zhodných údajoch – vstup – výstup ukončí proces obrábania. V prípade rozdielu diferenčné členy v jednotlivých osiach údaje vyrovnajú, vydiferencujú aby výrobok mal vstupné požadované hodnoty.

6.1.1. Výhody a prednosti NC strojov pred konvenčnými strojmi

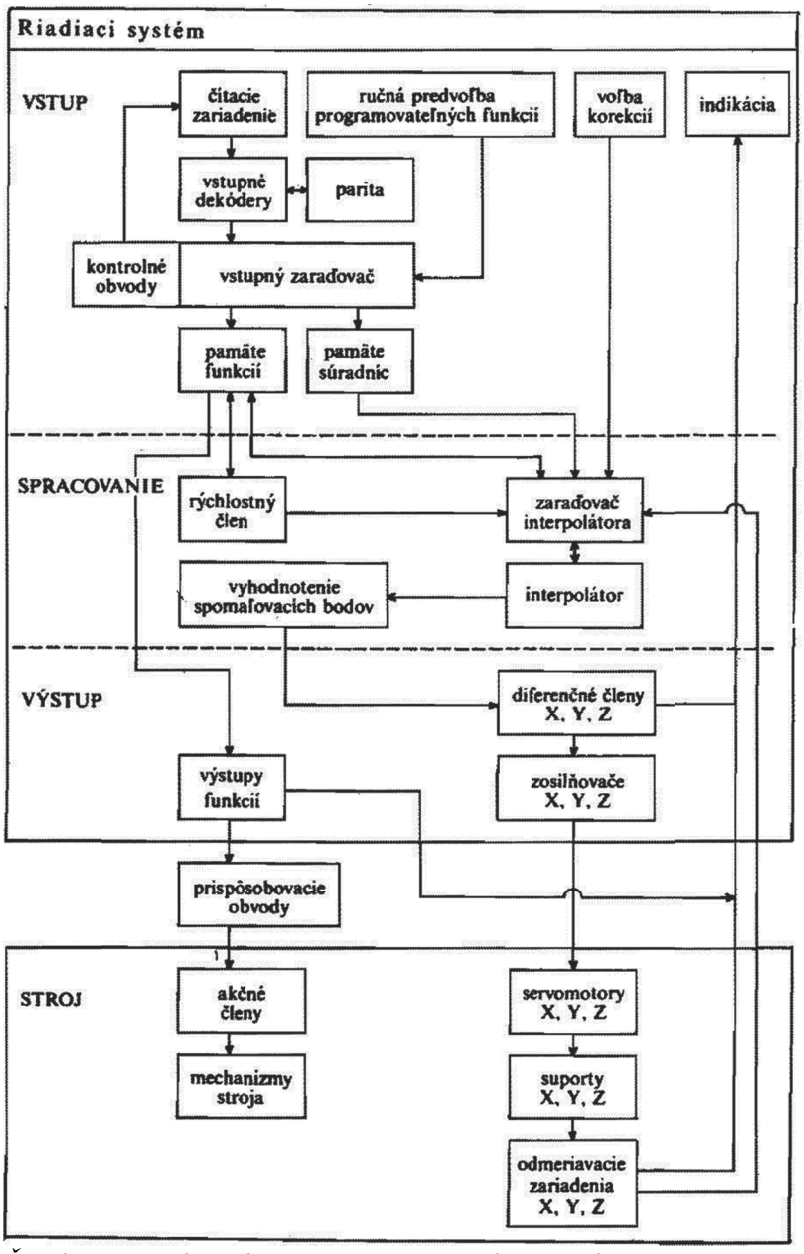
Číslicovo riadené stroje rad výhod a predností pred konvenčnými obrábacími strojmi, napr.

- výroba na číslicovo riadených strojoch je produktívnejšia a hospodárnejšia
- odpadá výroba, skladovanie, údržba a obsluha rysovacích, vŕtacích a iných prípravkov
- odpadá výroba šablón, vzorových súčiastok a súčasne ich skladovanie atď.
- takto možno výrobné programy meniť
- možnosť zmenšiť náklady náhradných súčiastok, požadovanú súčiastku možno vyrobiť pomocou archivovaného programu, čo je veľmi výhodné najmä pre staršie výrobky
- zvýši sa kvalita výrobkov, odpadajú chyby a nepresnosti spôsobené nepozornosťou, únavou pracovníkov atď.
- zmenšujú sa požiadavky na kvalifikáciu pracovníkov na obsluhu
- výrobný čas je presne určený programom a nezávisí od obsluhy
- umožňuje výrobu súčiastok, ktorých tvar je zadaný matematickými funkciami napr. profily lopatiek turbín, kompresory a rôzne druhy tvarových súčiastok
- umožňuje rýchle zavádzanie nových typov strojov do výroby

- na druhej strane sa vyžaduje vyššia kvalifikácia pracovníkov pre výrobu a servis

6.1.2. Charakteristika NC strojov

Pre číslicové riadenie je charakteristické práve to, že na nositeľ informácií v číselnej forme zaznamenávajú všetky informácie potrebné na vyhotovenie súčiastky. Riadiaci systém je schopný všetky tieto údaje v podobe číselných údajov prijímať, spracúvať a odovzdávať jednotlivým mechanizmom stroja. To je jediný charakteristický znak číslicovo riadených obrábacích strojov, ktorým sa tieto stroje líšia od ostatných programovo riadených strojov



Štruktúra riadiaceho systému so súvislým riadením

Každý riadiaci systém obsahuje tri základné funkčné časti:

- vstupná časť riadiaceho systému
- časť riadiaceho systému na spracovanie informácií
- výstupná časť

Vstupná časť riadiaceho systému

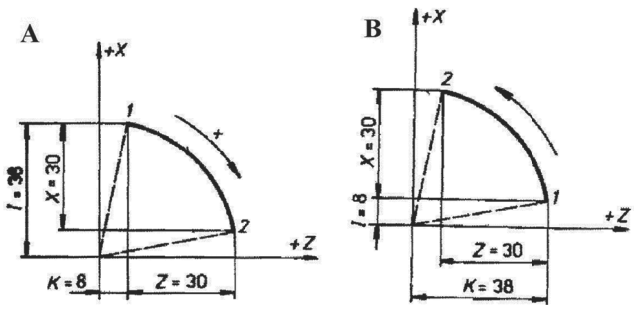
Obsahuje zariadenia, ktoré zabezpečujú vstup informácií do riadiaceho systému, kontroly správnosti, dekódovanie a ukladanie do pamäti systémov. Táto časť sa obvykle skladá z čítačky, prvkov na ručné vkladanie informácií, vstupných dekóderov, kontrolných obvodov, zaraďovania pamäti. Čítačka môže byť paralelná alebo sériovo paralelná a podľa konštrukcie mechanická, pneumatická alebo fotoelektrická, ktorá sa pri doterajších riadiacich systémoch doteraz používa.

Vstupný dekóder má premeniť signál prečítaný čítačkou na tvar vhodný na ďalšie spracovanie. Dekóder obsahuje obvody, ktoré zaručujú vkladanie dekódovaných signálov do pamäte riadiaceho systému a obvody pre zariadenie na kontrolu čítaných znakov. Najčastejšie sa používa kontrola párnou alebo nepárnou paritou. Pri nesplnení podmienky parity obvod preruší čítanie a dá povel na opakované čítanie, alebo vyšle signál upozorňujúci obsluhu na chybu čítania. Signáli z dekóderu sa pri sériovoparalelnom čítaní pomocou zoraďovača informácií ukladajú do pamäťových prvkov riadiaceho systému. Usporiadanie zoraďovača informácií a pamäťových prvkov udáva formát bloku.

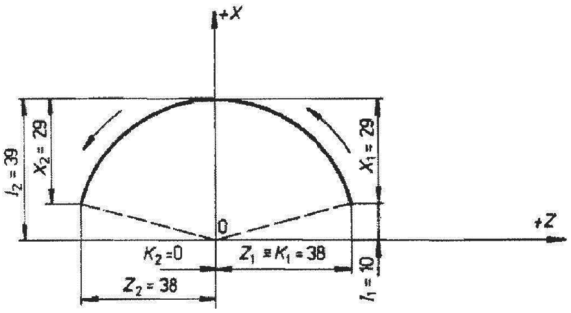
Časť na spracovanie informácií

Obsahuje vhodný typ aritmetickej jednotky alebo interpolátora s radom ďalších číslicových obvodov, ktoré umožňujú číslicovo vyhodnocovať rozdiel medzi skutočnou a programovou hodnotou. Pri vlastnom výpočte dovoľujú číslicové obvody uvažovať požadované korekcie, posunutia začiatku súradnicového systému, spomaľovacie body, možné prechody, indikáciu polohy na svetelnom displeji, riadenie pevných cyklov, nabiehanie z jednej strany, zrkadlenie a pod.

Interpolátor je modelové zariadenie, ktoré vypočítava hodnoty súradníc medzi dvoma bodmi tak, aby vyhovovali danému matematickému vzťahu. Interpolátor pracuje tak, že všeobecnú dráhu, ktorú má nástroj vykonať nahrádza buď krátkymi úsečkami, alebo krátkymi parabolickými alebo inými obvodmi.



Zadanie súradníc a interpolačných konštánt pre interpoláciu. A – v smere hodinových ručičiek, B – proti smeru hodinových ručičiek pre jeden kvadrant



Zadanie súradníc a interpolačných konštánt pre interpoláciu proti smeru hodinových ručičiek pre dva kvadranty

Interpolátormi možno obrábať všeobecné tvary v rovine alebo v priestore. Rýchlosť interpolácie závisí od požadovanej rýchlosti posuvu a od veľkosti inkrementu dráhy, pre ktorú

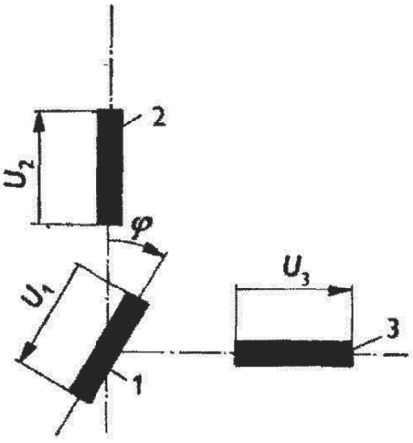
interpolátor vykonáva výpočty. Najčastejšie sa používa inkrement 0,01 alebo 0,001. So zmenšujúcim sa inkrementom rastie presnosť generácie dráhy, ale zväčšujú sa požiadavky na presnosť interpolácie. Z interpolátora idú príslušné pokyny k polohovým servomechanizmom, ktoré sledujú zadanú dráhu s požadovanou presnoťou.

Výstupná časť riadiaceho systému

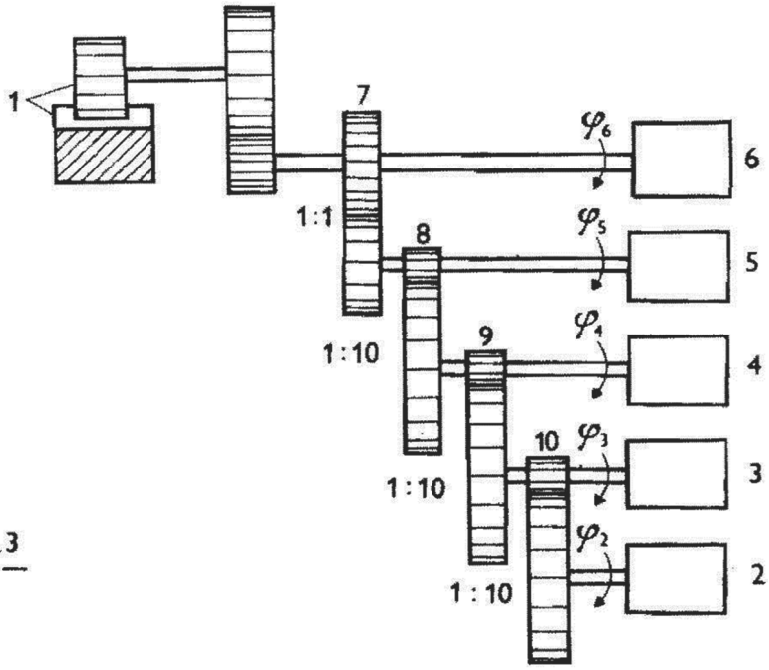
Slúži na nadviazanie obvodov riadiaceho systému na prispôsobovacie obvody. Zabezpečuje predovšetkým zosilnenie výstupných signálov z riadiaceho systému na také hodnoty aby mohli byť ovládané jednotlivé mechanizmy a servomotory a suporty obrábacieho stroja.

Odmeriavacie zariadenie

Sníma informácie o rozmeroch opracovania podľa údajov z programu a v prípade nezhody údajov sa rozdiely diferencie vyrovnávajú v časti spracovania informácií s tým, že proces obrábania sa opakuje na dosiahnutie súladu zadaných a opracovaných rozmerov. Princíp odmeriavania je elektronický. Najčastejšie sa používajú tzv. selsyn, ktoré odmeriavajú uhlové pootočenie na základe otáčok guličkovej skrutky a premieňajú ich na fyzikálne veličiny. Najčastejšie sa používa tzv. selsyn – rozkladač, ktorý má dve statorové vynutia posunuté o 90°. Tieto sú napájané trojfázovým napätím a na rotore sa indukuje elektromagnetické napätie, ktoré zachytávajú zberacie kefky a krúžky. Keď sa na statorové cievky pripojí trojfázové napätie vznikne točivé magnetické pole podobným spôsobom ako pri asynchrónnom motore. Rozlišovacia schopnosť selsynov je 3 – 10 uhlových minút.



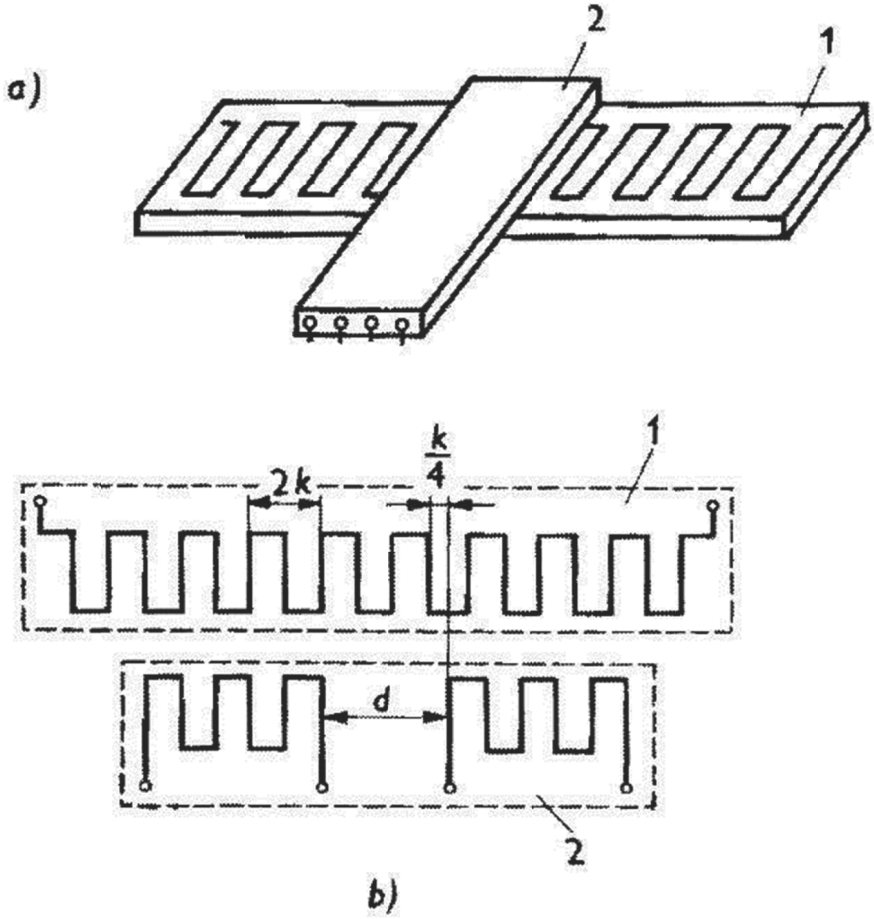
Selsyn rozkladač s fázovým napájaním statoru.
$U_2 = A \sin \omega t$;
$U_3 = A \sin(\omega t - \pi/2)$;
$U_1 = B \sin(\omega t - \varphi)$.



Príklad zväčšenia absolútne odmeriavanej dráhy pripojením selsynov na prevody 1:10. Selsyny sa pripojujú na guličkové skrutky, alebo sa na ne prenáša pohyb z pracovného stolu cez hrebeň s pastorkom.

Induktosyny

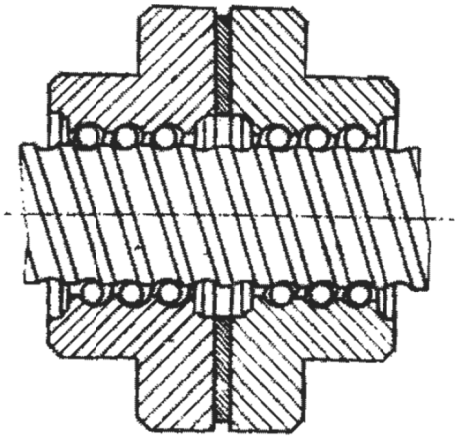
Sú polohovacie transformátory, ktoré sa svojim princípom podobajú selsynom. Obidve vynutia primárne aj sekundárne sú rozložené v rovine. Skladajú sa z dvoch dielov, pevnej časti – pravítka 1 a pohyblivej časti – jazdca 2. Pravítka majú najčastejšie dĺžku 250 mm a montujú sa na strojoch za sebou v takom počte aby pokryli požadovaný rozsah odmeriavania. Jazdec sa pohybuje tesne nad pravítkom vo vzdialenosti 0,5 – 0,15 mm. Pravítko a jazdec sú z hrubej oceľovej dosky, ktorá má tepelnú rozťažnosť pokiaľ možno rovnakú s odmerávanou časťou stroja. Na tieto dosky je naplátovaný na izolačnej dosky tlačený spoj s vinutím. Obraz vinutia pravítka má tvar pravouhlého meandru s krokom (periódou) K = 2 mm. Na jazdci sú dva kratšie úseky rovnakého vynutia, ktoré sú vzájomne posunuté o štvrtinu kroku. Keď napájame obidve vynutia jazdca striedavým napatím (fázové napájanie), má magnetické pole vytvorené v blízkosti jazdca charakter posúvajúceho sa poľa, ktoré indukuje vo vinutí pravítka napätie sínusového priebehu. Podobne ako u selsynov rozdiel fáz medzi vstupným napätím a jednou napájacou fázou je úmerný posunutiu jazdca a nesie informáciu o polohe. Induktosyn sa používa na priame odmeriavanie a umožňuje presnosť odmeriavania väčšiu ako 0,01. Obvykle sa uvádza presnosť ± 0,0025 mm, opakovaná presnosť ± 0,001.



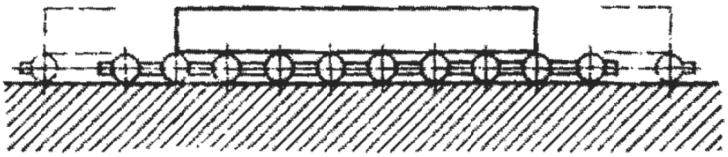
Princíp odmeriavania pomocou induktosynov
a – usporiadanie induktosinu
b – obrazec vinutia pravítka a jazdca

6.1.3. Požiadavky na konštrukciu NC a CNC strojov

Základnou požiadavkou pre hospodárne uplatnenie NC a CNC strojov vo výrobe je ich maximálne využitie počas pracovnej doby. To predpokladá vysokú spoľahlivosť, životnosť a musia byť na vysokej technickej úrovni. Do tejto oblasti zaraďujeme vysokú rozmerovú geometrickú presnosť ako i najnižší charakter (drsnosť) povrchu. K najzávažnejším otázkam konštrukcie patria otázky vôle a trenia, ktoré ovplyvňujú presnosť a trenie naviac väčšie deformácie vplyvom prehriatia mechanizmom, čím sa zníži ich tuhosť a zväčšia sa pružné deformácie. Znižovanie trenia zabezpečíme zmenšením trecích plôch v pohybových mechanizmoch nasledujúcimi úpravami.

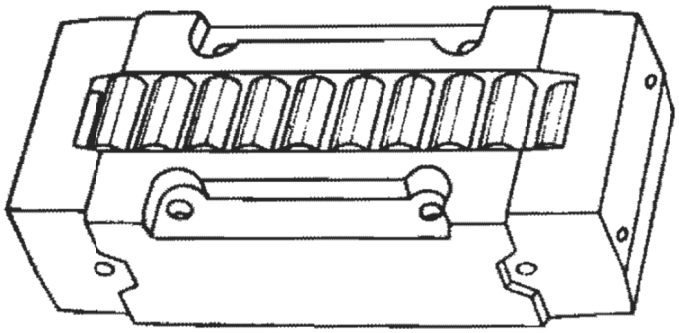


Guličková skrutka s predpätým vedením guličiek dvojitou maticou.

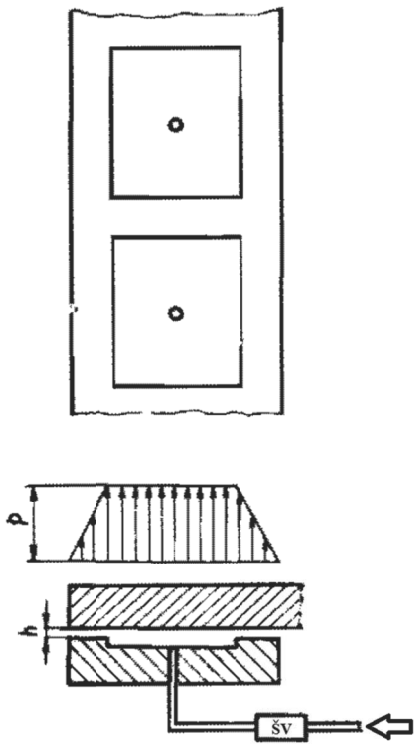


Príklad usporiadania valčekového vedenia.

V obidvoch prípadoch sa ploché - klzné trenie zmení na styk guličky s plochou znamenajúci bodový styk a tým niekoľkonásobné zníženie trenia. Guličky sa pohybujú medzi závitmi skrutky a matice, pričom v určitom mieste sú prevádzané späť, takže neustále recirkulujú medzi jednotlivými závitmi. Z obrázku je zrejmé, že sú použité dve matice, ktoré k sebe dotiahnuté tak, aby vymedzili vôľu a vymedzili určité predpätie. Pri valčekovom vedení je valček s povrchom v priamkovom styku a sú riešené po častiach v blokoch s recirkuláciou valivých teliesok označovaných ako valivé hniezda.



Blok valivého vedenia s recirkuláciou valivých teliesok. Počet blokov pre konkrétny prípad sa volí rôzny podľa dĺžky a zaťaženia, ktoré vedenie prenáša. Aj valivé vedenie býva predpäté, čím sa zvýši tuhosť a vymedzí vôľa.



Príklad usporiadania a priebeh tlakov otvoreného hydrostatického vedenia. Tlakový olej sa privádza od zubového čerpadla v smere šípky cez škrtiaci ventil ŠV. Olej prúdi do tzv. kapies, ktoré sú usporiadané pozdĺž vedenia cez otvory a uniká veľkou rýchlosťou okolo ich hrán. V dôsledku toho rozloženie tlakov naprieč a podĺž kapies je rovnaký (Pascalov zákon) a tým aj veľkosť medzery h na obidvoch stranách je rovnaká, čím je zaručená vysoká presnosť. V prípade zväčšenia zaťaženia vedenia zmenší sa veľkosť medzery h, čo má za následok zväčšenia tlaku v jednotke, čo zabezpečuje škrtiaci ventil. Hydraulické vedenia vykazujú vysokú tuhosť čo znamená že dosahujú minimálne zmeny alejového filmu v závislosti na zmene zaťaženia. Ďalej sa venuje u NC a CNC strojov veľká pozornosť tuhosti rámu a opotrebeniu vodiacich plôch. Dôležitá je tiež ich tepelná stabilita aby bolo možné využiť inštalovaných výkonov v oblasti čo najväčších rezných podmienok. Toto sa zabezpečuje vnútorným chladením, ktoré je realizované obiehajúcim olejom, ktorý je chladený.

6.1.4. Kódy NC strojov

Programové informácie je možné vyjadriť rôznym spôsobom t.j. v rôznom kóde.

Kódy rozlišujeme:

- číslicové – programové informácie sú vyjadrené niekoľko miestnym číslom
- abecedné – programové informácie sú vyjadrené písmenom , z ktorých každé má význam niektorej číslice
- abecedno – číslicové – informácie sú zakódované (adresou) a viacmiestnym číslom
- iné kódy číslicové – sú kombináciou predchádzajúcich druhov

Kód dvojkový binárny

Je najpoužívanejší lebo dvojková sústava čísel najlepšie vyhovuje povahe všetkých prístrojov na spracovanie údajov. Prvky týchto prístrojov relé a pod. majú len dva stavy t.j. sú buď zapojené alebo odpojené. Môžu sa priamo vyjadrovať len dvoma číslami 0 (vypnuté) a 1 (zapnuté).

V dvojkovej sústave sú čísla tvorené násobkom mocnín základu dva. Čísla zapísané v desiatkovej sústave sa dajú ľahko previesť do sústavy dvojkovej. Napr. číslo 1725 v dvojkovom kóde sa vyjadrí delením dvomi a pri zvyšku jedna sa táto informácia zaznamenáva na nosič programu.

Toto číslo znázorníme polynómom

$$1.2^{10} + 1.2^{9} + 0.2^{8} + 1.2^{7} + 0.2^{6} + 1.2^{5} + 1.2^{4} + 1.2^{3} + 1.2^{2} + 0.2^{1} + 1.2^{0} = 1725$$

	zbytok
1725	
862	1
431	0
215	1
107	1
53	1
26	1
13	0
6	1
3	0
1	1

Smer čítania čísla v dvojkovej sústave.

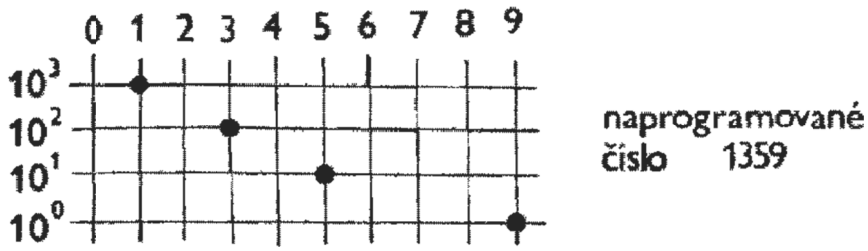
Na záznam potrebujeme jedenásť diernych miest v smere čítania a v desiatkovom kóde je potrebných 40 diernych miest. Desatinné miesto v dvojkovej sústave nemožno vyjadriť, preto sa s daným číslom počíta ako s celým, t.j. násobí sa takou mocninou desiatich aby posledná číslica bola nultej rady. Pri zobrazovaní čísla v dvojkovej sústave sa používa dvoch odlišných signálov, kde elektronicky možno zobraziť 0 a 1 dvoma spôsobmi.

Staticky – používajú sa dve rôzne úrovne napätia. Vyššie prislúcha hodnote 1 a nižšie hodnote 0.

Dynamicky – zobrazenie sa tomto prípade vykonáva elektrickými impulzmi. Existencia kladného impulzu je znázornená hodnotou 1, 0 je záporný impulz – neexistujúci.

Na priradenie informácií sa bežne používajú americké normy EIA RS244, ktoré sú veľmi podobné najnovšej medzinárodnej norme ISO RS840 na použitie ktorej prechádzajú všetci výrobcovia NC a CNC strojov. Oba kódy majú tzv. paritnú kontrolu, t.j. všetky znaky príslušného kódu tvoria buď párny (kód ISO), alebo nepárny (kód EIA) počet otvorov. Pri snímaní kód ISO má znaky označené písmenami veľkej abecedy a paritnú doplňujúcu stopu číslo 8, kód EIA má znaky označené malými písmenami a neparitnú stopu číslo 5.

Paritná kontrola sa zakladá na požiadavke, že každý znak má buď párny alebo nepárny počet signálov – otvorov, ktorý zaručuje väčšiu presnosť čítania. Keď sa vyskytne znak, ktorý túto podmienku nedodrží, potom systém oznámi chybu a čítanie sa zastaví. Paritná kontrola napomáha teda správnosti čítania. V obidvoch kódoch sa používa 1 – 4 stopa na vyjadrovania číslic binárnych v dekadickom kóde. Prvá stopa sa označuje číslom 1 a je v nej vyjadrené číslo v binárnom kóde 1.2^0, druhá, tretia a štvrtá stopa 1.2^1, 1.2^2, 1.2^3. S výnimkou nuly možno vhodnou kombináciou otvorov v týchto stopách vyjadriť číslom 1 – 9. Písomný a číslicový znak tvoria programovateľné slovo, ktoré sa skladá z adresnej a významovej časti. Adresná časť je vyjadrená v kóde EIA, ISO písmenami a významová časť je pri týchto kódoch vyjadrená v binárnom dekadickom kóde. Pri tomto kóde sa ponechávajú dekády z desiatkovej sústavy a kvantitatívne zastúpenie jednotlivej dekády sa vyjadruje dvojkovou číselnou sústavou alebo binárne.

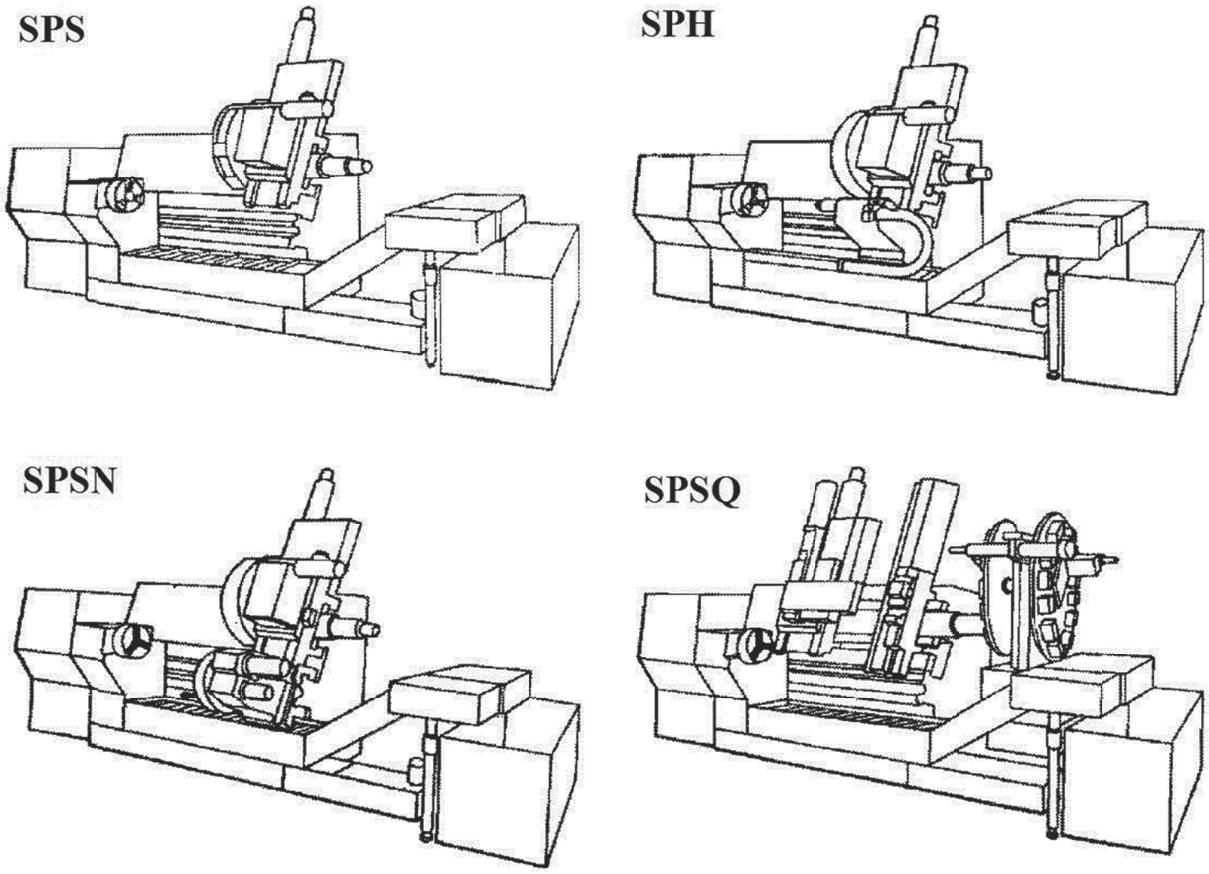


Príklad vyjadrenia čísla v dekadickom kóde

znak	EIA RS 244									význam použitých adries	ISO DR 1314									znak
																2^3		2^2	2^1	2^0	
	8	7	6	5	4		3	2	1		8	7	6	5	4		3	2	1	
0			●			•							●	●		•				0
1						•			●		●		●	●		•			●	1
2						•		●			●		●	●		•		●		2
3				●		•		●	●				●	●		•		●	●	3
4						•	●			čísla na vyjadrenie veľkosti	●		●	●		•	●			4
5				●		•	●		●	funkcie alebo dráhy			●	●		•	●		●	5
6				●		•	●	●					●	●		•	●	●		6
7						•	●	●	●		●		●	●		•	●	●	●	7
8					●	•					●		●	●	●	•				8
9				●	●	•			●				●	●	●	•			●	9
a		●	●			•			●	uhlový rozmer okolo osi X		●				•			●	A
b		●	●			•		●		uhlový rozmer okolo osi Y		●				•		●		B
c		●	●	●		•		●	●	uhlový rozmer okolo osi Z	●	●				•		●	●	C
d		●	●			•	●			tretia posuvová funkcia		●				•	●			D
e		●	●	●		•	●		●	druhá posuvová funkcia	●	●				•	●		●	E
f		●	●	●		•	●	●		posuvová funkcia	●	●				•	●	●		F
g		●	●			•	●	●	●	prípravná funkcia		●				•	●	●	●	G
h		●	●		●	•				zaraďovanie korekcií		●			●	•				H
i		●	●	●	●	•			●	interpolačné konštanty	●	●			●	•			●	I
j		●		●		•			●	(vzdialenosť východiskového bodu	●	●			●	•		●		J
k		●		●		•		●		oblúka od stredu alebo stúpanie závitu)		●			●	•		●	●	K
l		●				•		●	●	rezerva	●				●	•	●			L
m		●		●		•	●			pomocná funkcia		●			●	•	●		●	M
n		●				•	●		●	číslo bloku		●			●	•	●	●		N
s			●	●		•		●		otáčky vretena		●		●		•		●	●	S
t			●			•		●	●	poloha nástrojov	●	●		●		•	●			T
u			●	●		•	●			pohyb rovnobežne s osou X		●		●		•	●		●	U
v			●			•	●		●	pohyb rovnobežne s osou Y		●		●		•	●	●		V
w			●			•	●	●		pohyb rovnobežne s osou Z	●	●		●		•	●	●	●	W
x			●	●		•	●	●	●	primárny pohyb v osi X	●	●		●	●	•				X
y			●	●	●	•				primárny pohyb v osi Y		●		●	●	•			●	Y
z			●		●	•			●	primárny pohyb v osi Z		●		●	●	•		●		Z
/			●	●		•			●	voliteľné vypustenie bloku	●		●		●	•	●	●	●	/
+		●	●	●		•				symbol pre zmysel posuvu			●		●	•		●	●	+
-		●				•							●		●	•	●		●	-
SP				●		•				medzera	●		●			•				SP
DEL		●	●	●	●	•	●	●	●	znak na vyznačenie chybných znakov	●	●	●	●	●	•	●	●	●	DEL
BS			●		●	•		●		späť	●				●	•				BS
TAB			●	●	●	•	●	●		tabulátor - medzera medzi slovami					●	•			●	TAB
	●					•				nový riadok a koniec bloku EOB					●	•		●		LF
STP					●	•		●	●	koniec programu EOP						•				-
						•				spätný pohyb valca písacieho stroja	●				●	•	●		●	
						•				len vodiace otvory - perforácia						•				

6.1.5. Číslicovo riadené obrábacie stroje používané vo výrobe

Vo výrobných podnikoch sú používané CNC stroje pre obrábanie rotačných a skriňových súčiastok. Ich konštrukcia je zameraná predovšetkým na použitie vo výrobných systémoch trieskového obrábania, pre ktoré sú prispôsobené s ohľadom na riadenie technologického i výrobného procesu na počítači. Okrem najvyšších technických parametrov sú konštruované na dosiahnutie maximálnej výslednej produktivity. Pri tom je sledovaná aj možnosť realizácie výrobných systémov s rôznym stupňom automatizácie dopravy a manipulácie tak, aby rozsah použitej techniky bol pre každý konkrétny prípad optimálny. Pre konštrukciu týchto strojov je charakteristické, že ich lóže majú charakteristický skriňový tvar s vysokou tuhosťou. Vodiace plochy sú osadené kalenými lištami. V podstavci lóží je vytvorený priestor pre umiestnenie dopravníku na odvod triesok. Suporty a ich priečne sane majú valivé vedenia v blokoch (valivé hniezda). Pohon posuvu sa uskutočňuje elektrickými servopohonmi priamo napojenými na guličkové skrutky. Pohon vretena stroja sa vykonáva regulačnými jednosmernými motormi.



Základné varianty usporiadania sústružníckych strojov

SPS – je varianta prírubového sústružníckeho poloautomatu 16, 25, 32, 40 NC. Jeho nástrojová hlava je pripevnená na suport a obsahuje podľa veľkosti stroja 12 alebo 16 čelných otvorov pre upínania nástrojových držiakov. Dopravník triesok vynáša triesky z pracovného priestoru a umožňuje ich ďalší transport.

SPH – je varianta hriadeľového poloautomatu 16, 32 NC, ktorý má koník, ktorý je umiestnený na spodnom vedení lóží. Jeho pohyb sa uskutočňuje vodiacou skrutkou

poháňanou elektromotorom. Po dosiahnutí polohy sa koník spevňuje. Prítlačnú silu jeho pinoly je možné hydraulicky meniť.

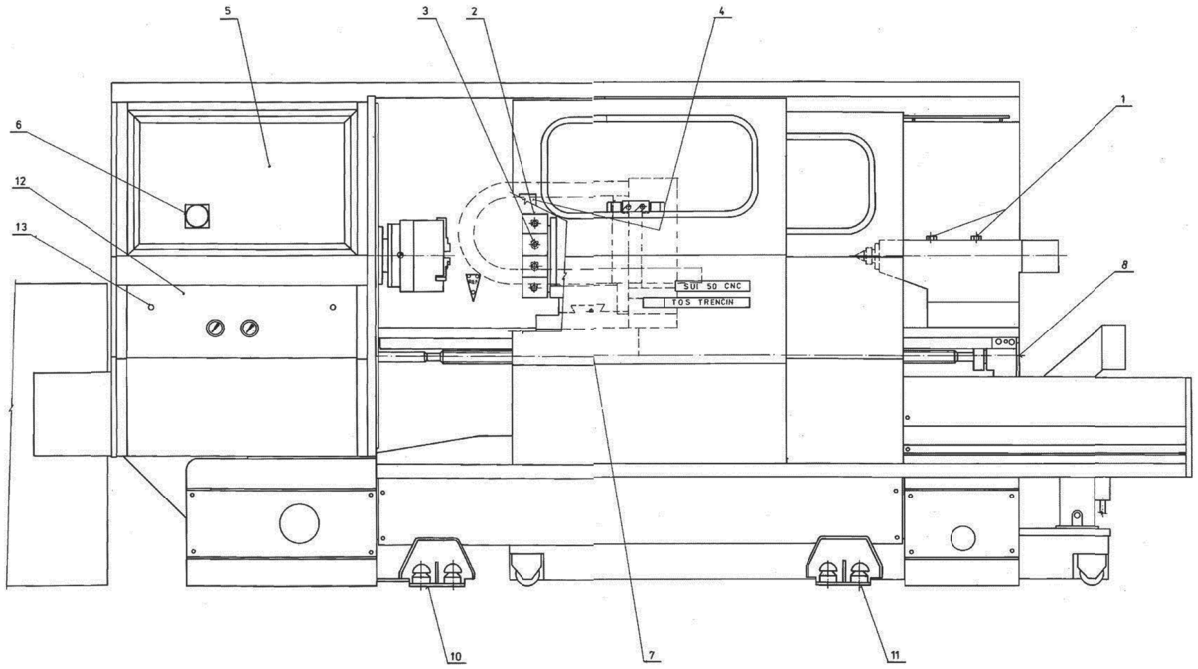
SPSN – je prírubový poloautomat 16, 25, 32, 40 NC, ktorý sa líši od usporiadania SPS prídavnou hlavou pre mimoosové vŕtanie a frézovanie. Hlava má vodorovnú os otáčania a je pripevnená na suporte, ktorý sa pohybuje po spodnom vedení lóží. Držiaky s nástrojmi sa na nej upínajú do ôsmych vretien, ktoré sú rozložené po jej obvode. Vreteno, ktoré v pracovnej polohe dostáva pohyb od jednosmerného regulačného elektromotoru cez trojstupňovú prevodovku s elektromagnetickými spojkami. Pozdĺžny a priečny pohyb hlavy je odvodený od hlavného suportu stroja. Vzájomné spojenie suportov a saní je zabezpečené hydraulicky.

SPSQ – je poloautomat 16, 25, 32, 40 NC vybavený automatickou výmenou nástrojov zo zásobníku. Zásobník nástrojov sa skladá z dvoch výmenných paliet v ktorých možno upnúť 2 x 12 nástrojových držiakov. Rozdelenie zásobníkov do dvoch paliet umožňuje nerušenú výmenu nástrojov alebo celej palety v priebehu pracovného cyklu stroja. Súčasťou zásobníku je presúvacie zariadenie, ktorého úlohou je dopravenie vyhľadaného nástrojového držiaku do manipulátoru. Manipulátor je v podstate krížový suport, ktorý zaisťuje dopravu nástrojov zo zásobníka k upínaču na suport a naopak. Táto manipulácia prebieha počas práce stroja, pričom manipulátor sa pred výmenou priblíži k suportu. Čas výmeny nástroja sa tak znižuje na minimum. Vlastná výmena nástroja prebehne priečnym pohybom šmýkadla manipulátoru súčinnosti s presúvačom, ktorý presúva nástroje zo suportu na manipulátor a opačne z manipulátoru na suport. Po výmene nástroja nasleduje hydraulické upnutie jeho držiaka na suport stroja, stroj vykoná ďalšiu časť pracovného cyklu a prebieha ďalšia fáza výmeny nástrojov atď.

Hriadeľový sústruh SUI50CNC (používaný na odbornom výcviku našej SOŠ strojníckej)

Použitie: obrábanie hriadeľových súčiastok

Obežný priemer nad lóžami		400 mm
Obežný priemer nad suportom		200 mm
Najväčšia vzdialenosť hrotov		1000 mm
Otáčky vretena (8 radov po 4 stupňoch)		90 až 1800 1/min
Hlavný výkon motora		10 kW
Posuvy suportov:	pozdĺžna (os z)	0,04 – 3,15 mm/ot
	priečna (os x)	0,02 až 1,575 mm/ot
Rýchloposuv pozdĺžne/priečne		3400/1700 mm/min
Riadiaci systém		Bosch



1 – hydraulický koník, 2 – ovládanie hydraulického koníka, 3 – elektrické ovládanie koníka, 4 – nastavenie tlaku koníka, 5 – hydraulická prevodovka (3°), 6 – otvor na dopĺňanie oleja, 7 – priečny suport, 8 – pozdĺžny suport (odmeriavanie), 10 – nožné spínače na upínacie skľučovadlo, 11 – nožné spínače na koník, 12 – manometre na meranie tlaku v koníku, 13 – manometre na meranie tlaku v skľučovadle

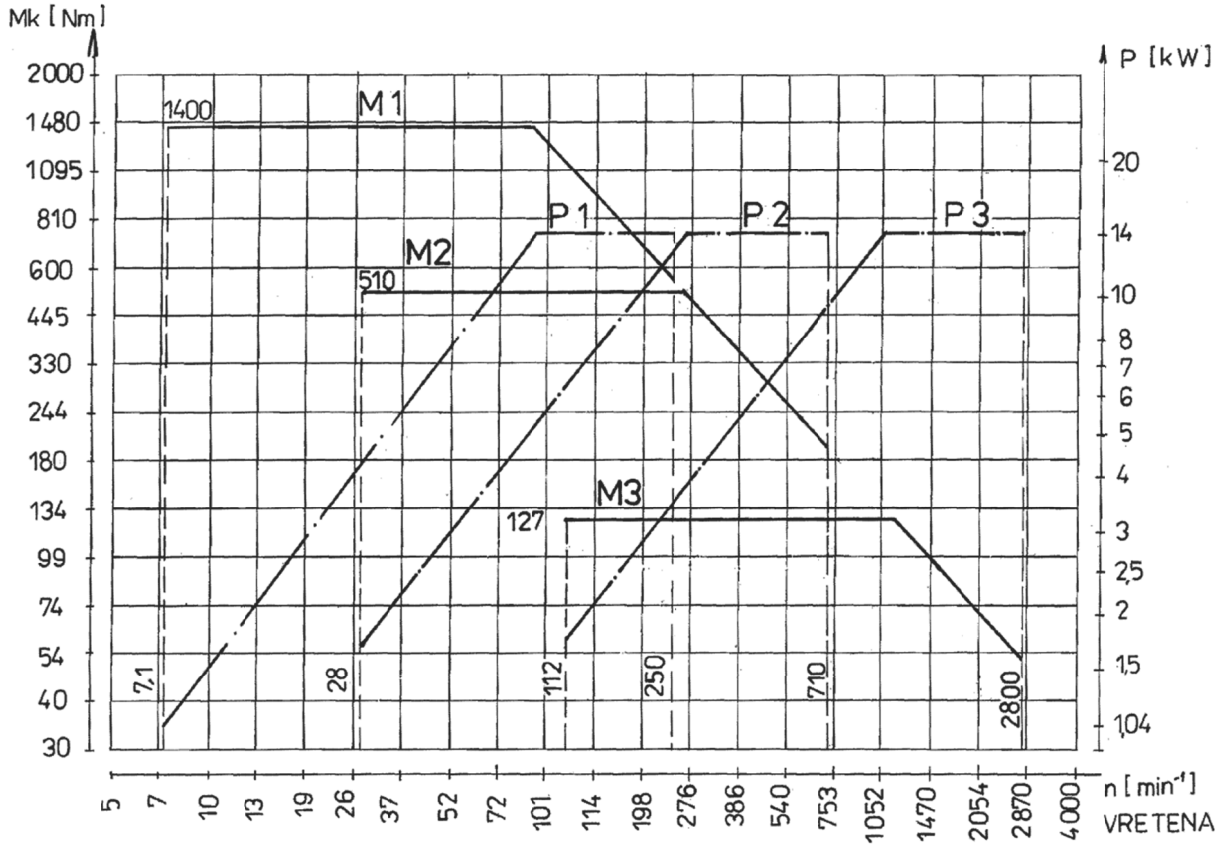


Diagram porovnania momentov krutových M a výkonov P v závislosti na otáčkach n

Zvislé karuselové sústruhy rady SKQ používané vo firme PSL a vo výukovom programe našej strednej odbornej školy je inštalovaný typ SKQ 8 NC

Sústruhy sú konštrukčne riešené ako jednostojanové so zásobníkom s automatickou výmenou 15 nožových držiakov

		SKQ 8 NC	SKQ 12 NC	SKQ 20 NC
Priemer upínacej dosky	mm	800	1250	2000
Najväčší priemer obvodového/ čelného sústruženia	mm	800/900	1250/1400	2000/2200
Najväčšia výška obrobku	mm	630	900	1250
Základné otáčky upínacej dosky	1/min	4 až 400	2,5 až 250	1,6 až 160
Pracovné posuvy		0,05 až 10 mm/ot	1 až 3000 mm/min	
Rýchloposuv			3 m/min	
Výkon hlavného motoru		30 kW	40 kW	63 kW
Riadiaci systém		NS 421, NS 560, NS 510		

Obrábacie centrum vertikálne – MC 100 V (používaný na odbornom výcviku našej SOŠ strojníckej)

Stroj vyhovuje požiadavke na komplexné obrábanie plochých i skriňových súčiastok zo všetkých konštrukčných materiálov (oceľ, liatina, ľahké kovy). Umožňuje frézovať vonkajšie, vnútorné i rotačné plochy, vŕtanie otvorov i rezanie závitov.

Konštrukčné prvky stroja

Stroj má masívny liatinový stojan s vertikálne presuvným vreteníkom a pracovný stôl v priečnom i pozdĺžnom smere. Pracovné vreteno je uložené vo vysokopresných ložiskách s kosouhlým stykom. Uloženie vretena má minimálne dilatácie, nakoľko je automaticky chladené samostatným chladiacim okruhom. Automatická voľba prevodového stupňa 2 – stupňovej prevodovky zaisťuje optimálne podmienky pre pomalé otáčky pri ťažkom obrábaní i vysoké otáčky pri presnom obrábaní ocele i hliníka (rozsah 5 – 8000 1/min). Každý suport sa pohybuje po kalených vodiacich lištách. Klzné plochy sú obložené hmotou TURCITE.

Kvalitu mazania vodiacich plôch zaručuje mazacia sústava BIJUR. Zásobník pre 40 nástrojov jednoduchej konštrukcie je pneumaticky ovládaný s výberom nástrojov priamo i náhodilo. Nástroje vo vedení zásobníka sú chytené v puzdrách s vysokopevného plastového materiálu plneného sklenými vláknami. Maximálny priemer nástroja pri voľných vedľajších miestach je 125 mm. Ovládanie všetkých mechanických funkcií stroja je zaistené výlučne elektro - pneumaticky bez použitia hydrauliky. Tvar krytovania a automatické splavovanie triesok z pracovného priestoru stroja zabezpečuje bezproblémový odvod triesok. Doporučuje sa syntetická chladiaca kvapalina Cincinati Milacron. Stranové vysúvanie nádob na triesky umožní použitie paletových zakladačov. Kvalitná montáž a podmienky preberania stroja zaručujú jeho vysokú spoľahlivosť.

Zvláštne vyhotovenia:

- s dopravníkom triesok
- s paletovým zakladačom
- s pracovným CNC otočným stolom ako 4 – tá riadená os
- s pohonmi osí SIEMENS alebo INDRAMAT
- s ramenom pre výmenu nástrojov BT 40
- s vnútorným chladením nástrojov a upínaním OTT – JAKOB

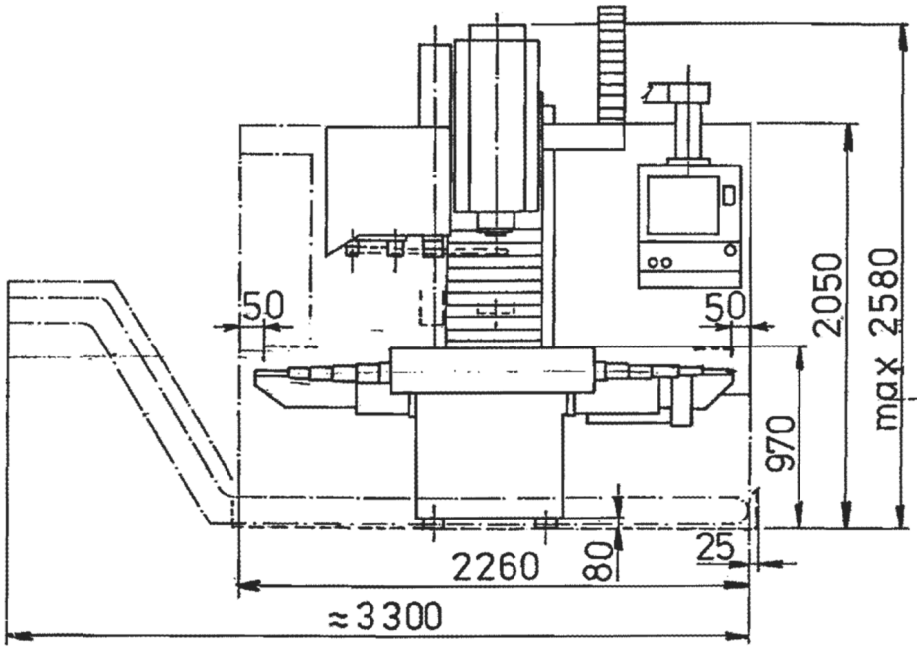
Riadiaci systém **HEIDENHAIN TNC 407/415**

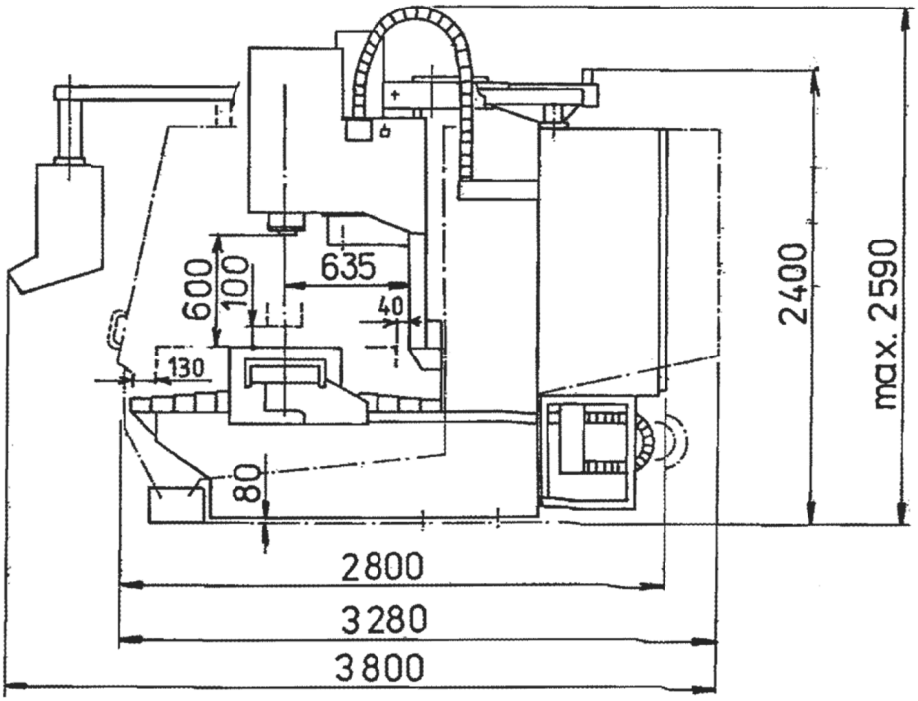
- farebný monitor 14″ (640 x 490 bodov)
- ACSII klávesnica
- Zápis programu DIN/ISO
- Vstupný inkrement 1 μm
- Kapacita pamäte cca 6000 blokov
- Rozhrania V. 24/RS – 232 – C; V. 11/RS – 422
- Voľné kontúrové programovanie FK s grafickou podporou

- podprogramy a obrábacie cykly
- text programu analytický alebo s grafickou simuláciou
- kompenzácia polohovej chyby
- paralelná prevádzka
- centrálna pamäť nástrojov

Pohony osí a vretena

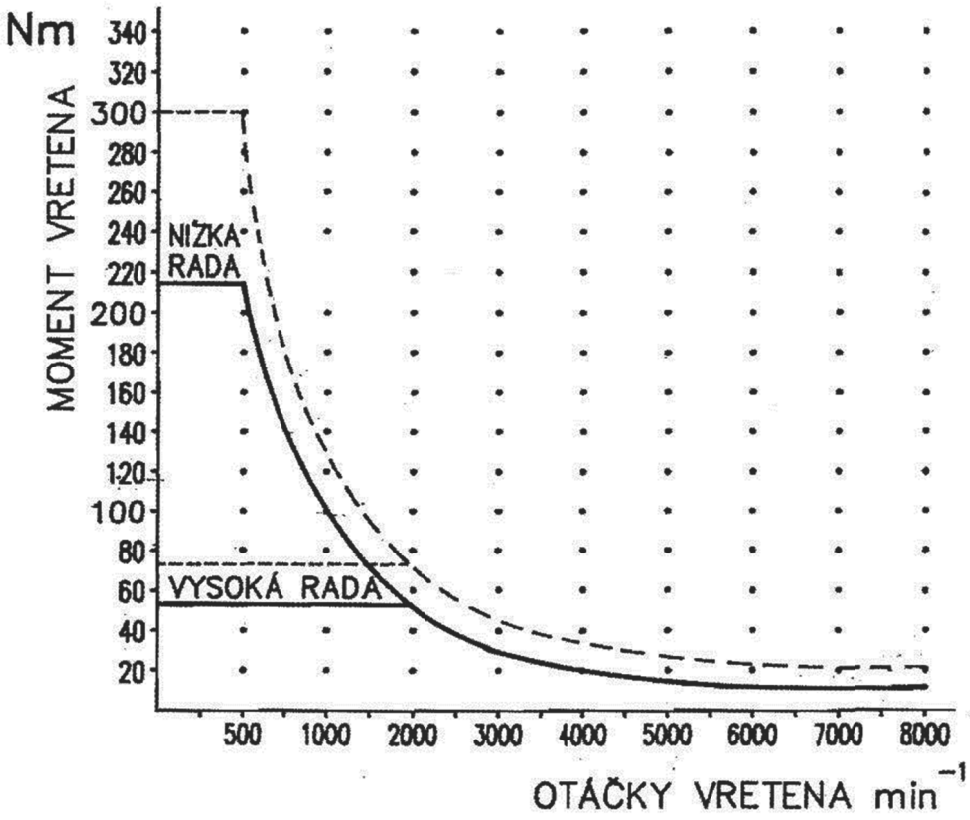
- SIEMENS
- INDRAMAT
  (striedavé, bezkartáčové a bezúdržbové)



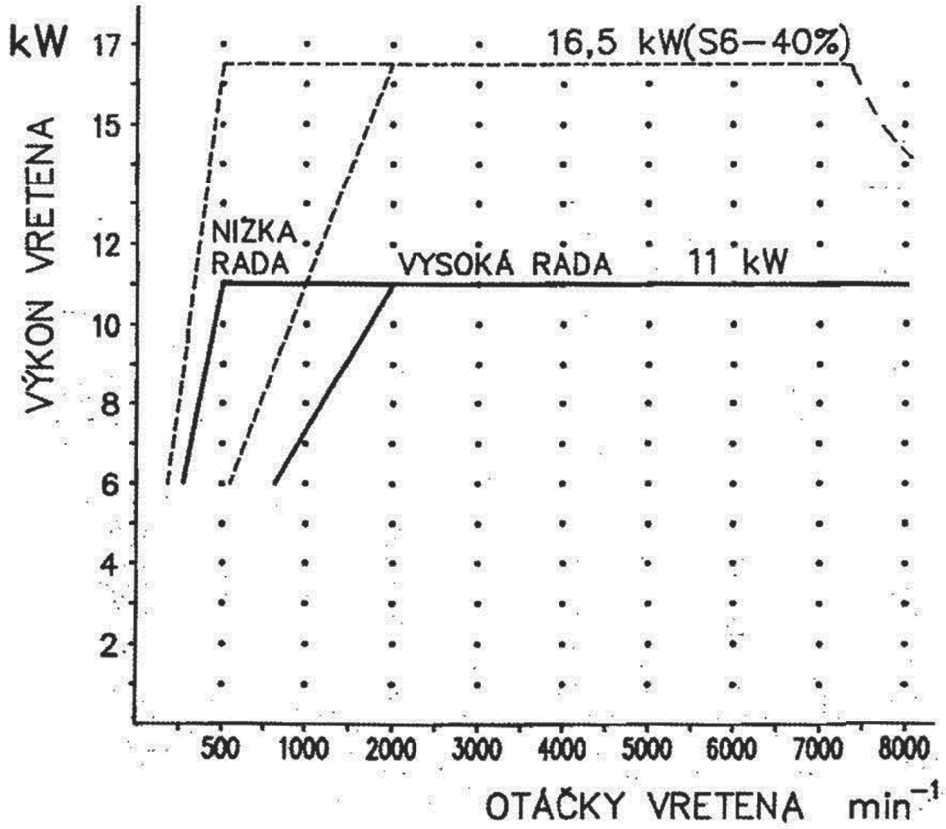


Technické parametre obrábacieho centra vertikálneho MC 100 V

STÔL	Rozmery stola	1080x579 mm
	Pohyb v osi X	1016 mm /40"/
	Y	610 mm /24"/
	Z	508 mm /20"/
	Pracovný posuv	0,25 - 5080 mm.min^{-1}
	Rýchloposuv X - Y - Z	20 - 20 - 15 m.min^{-1}
	Pohon osí	SIEMENS 12 Nm/3000 min^{-1}
	Upínacie drážky	18 mm
	-"- počet x rozstup	3 x 125 mm
	Zaťaženie stola	500 kg
VRETENO	Pohon vretena	SIEMENS 11/16.5 kW
	Otáčky vretena	5 - 8000.min^{-1}
	Orientácia	Elektricka
NÁSTROJE	Nástrojová stopka	No 40 Typ B ISO 7388/1/2 ANSI B5.50-7
	Počet nástrojov v zásobníku	40
	Max. priemer nástroja	102 mm
	Max. priemer nástroja s voľnými vedľajšími miestami	125 mm
	Max. dĺžka nástroja	380 mm
	Max. hmotnosť nástroja	7 kg
	Doba výmeny nástroja	7 sek.
	Výber nástrojov v zásobníku	priamy /náhodilý/
PRACOVNÉ MOŽNOSTI	Vrtanie	ø 40 mm
	Rezanie závitov	M 40
	Frézovacia kapacita oceľ/Al	200/300 ccm.min^{-1}
	Presnosť polohovania	+/-0,0076 mm
	Opakovaná presnosť	+/-0,004 mm
	Rozlišovací inkrement	0,001 mm
STROJ	Hmotnosť	5720 kg
	-"- s chladením	6000 kg
	Šírka x hĺbka	2260 x 3280 mm
	Výška	2400 mm
	-"- s max.zdvihom osi Z	max. 2590 mm
	Pracovný tlak vzduchu	6 bar
	Objem chladiacej kvapaliny	180 l
	Dodávané množstvo kvapaliny	32 l.min^{-1}
	Príkon stroja	30 kVA
	Max. prúd stroja	51 A
	Napätie	3x 380 V/50 Hz
	Riadiaci systém	HEIDENHAIN TNC 407



MOMENTOVÝ DIAGRAM



VÝKONOVÝ DIAGRAM

Karuselová brúska VGM 100

Výrobca: CNMP BERTHIEZ, Paríž

Charakteristika:

Čelný kotúč

- Plynule regulovateľné otáčky 4 – 50 ot^{-1}
- Hnací výkon 4,4 kW

Brúsny suport

- Extrémne otáčky (s meničom frekvencie, pomer 1:3) 1000 – 3000 ot^{-1}
- Hnací výkon brúsneho vretena 23 kW
- Posuv prísunu 0,001 – 0,999 mm/min
- Posuvová rýchlosť 10 – 3600 mm/min
- Indikácia skutočnej hodnoty 0,001

Priečnik

- Posuvová rýchlosť 400 mm/min

Druh polohovania

- Klasický, impulzne po 0,001
- Klasicky ovládané potenciometrom
- Polohovaním zvoleným pamäťovým číslom

Posúvanie priečnika

Priečnik sa posúva nahor i nadol prevodovým motorom, ktorý je namontovaný na stojane. Pop priečniku sa posúvajú po vodiacich dráhach horizontálne suporty s telesom vretena.

Blokovanie priečnika

Priečnik je vo svojej zvolenej polohe zachytený piatimi hydraulickými valcami.

Vretená

Pozostávajú buď z jedného bloku alebo z troch elementov – jedného puzdra pre vreteno a jedného puzdra pre hriadeľ remenice, ktoré sú spojené hnacím hriadeľom a zmontované vo vŕtaní vreteníka. V každom prípade beží vreteno v dvoch valčekových ložiskách s kužeľovým otvorom. Axiálne sily sú zachytené špeciálnymi tlakovými ložiskami. Každý typ vretena má vlastný rozsah otáčok, každý rozsah sa dosahuje výmenou štyroch remeňov remenicou motora.

Brúsny vreteník

Predné vodiace časti otočnej plochy vedú brúsny vreteník na klzných opierkách. Vedenie prilieha proti odklopeniu doľava, doprava, dopredu a dozadu. Brúsny vreteník je poháňaný mechanickým náhonom v otočnej časti.

Súradnicová vŕtačka VR5NB

Súradnicová vŕtačka VR5NB s riadiacim systémom NS315 je stroj s automatickým nastavovaním súradníc určený hlavne pre vŕtanie, vyvŕtavanie a vystruhovanie otvorov k rezaniu závitov, frézovaniu s menšími prierezmi triesok. Je výhodná zvlášť pre obrábanie rozmernejších plochých súčiastok ako šablón, líšt, krytov stolov, prírub a pod. Číslicové riadenie sa u nej uskutočňuje v dvoch osiach x, y a to pri pohybe stola na lóži a vreteníku. Nastavenie súradníc prebieha súčasne. Po nastavení súradníc je stôl a vreteník spevnený. Rameno je výškovo prestaviteľné a hĺbka vŕtania je riadená narážkami na 20 polohovom programovom bubne, ktorý tiež určuje program otáčok a posuvov. Pracovné cykly vretena s nástrojmi sú automatické a zahrňujú cyklus vŕtania s časovou medzerou, cyklus vyvŕtavania s výjazdom vretena, cyklus závitovania a frézovania. Voľba jednotlivých cyklov sa robí číslicovo z nosiča informácie. Výmena nástrojov je ručná. Riadiaci systém NS 315 – nastavovanie súradníc s prírastkovým programovaním. Je vybavený indikáciou polohy, ktorá umožňuje pri ručnom riadení presné nastavenie súradníc.

Základné údaje o stroji

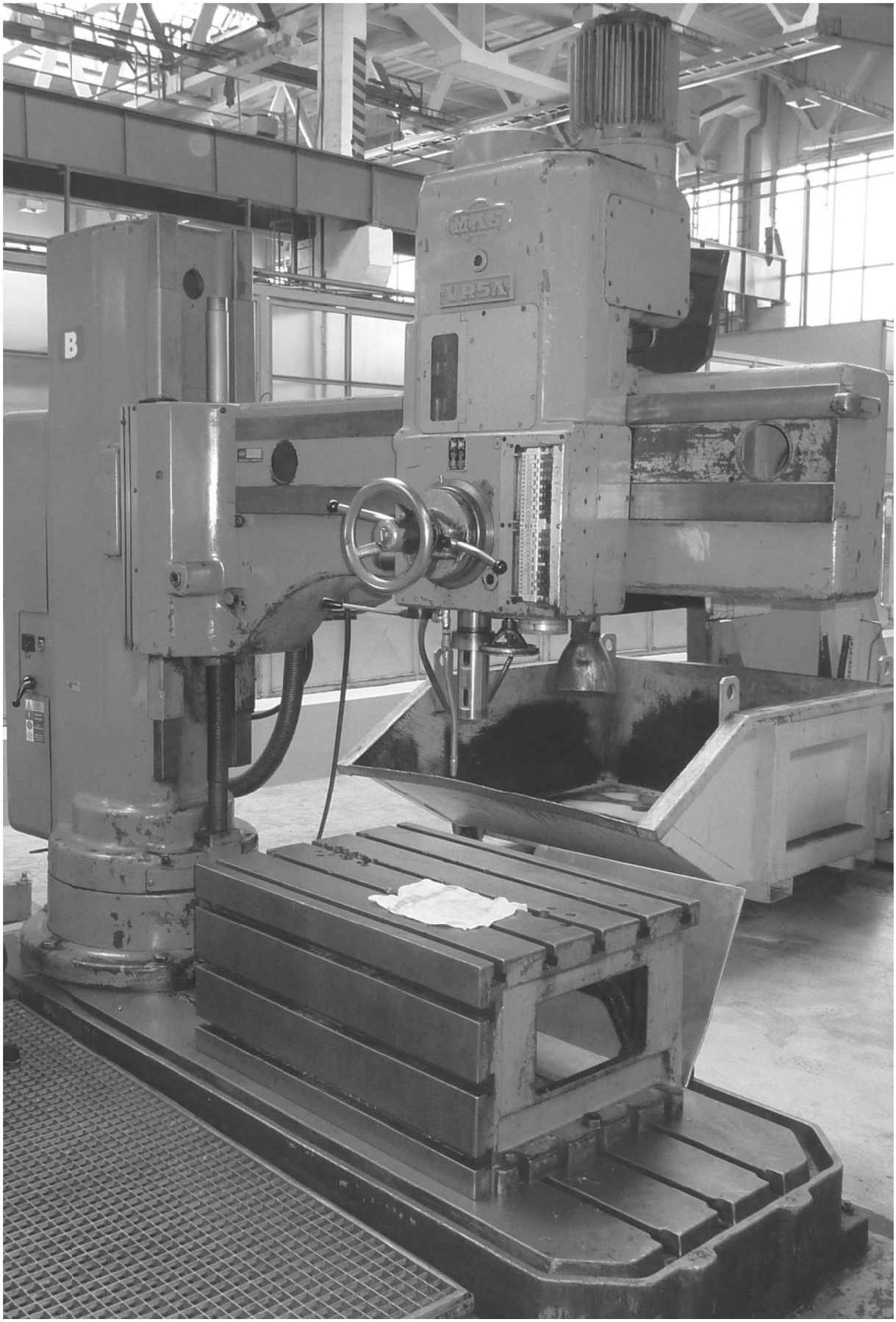
Výrobca: Kovosvit Sezimovo Ústí

Konštrukčné usporiadanie: variant s priečnikom

- Najväčší priemer vŕtania do ocele 50 mm
- Najväčší priemer vyvŕtavania do ocele 120 mm
- Upínacia plocha stola 1000 x 1600 mm
- Prestavenie stola/vreteníka po priečniku 1370/1000 mm
- Výškové prestavenie priečnika 875 mm
- Vzdialenosť konca vretena od stola 0 – 1050 mm
- Zdvih vretena 285 mm
- Otáčky vretena 28 – 2500 1/min
- Posuvy vretena 0,05 – 2 mm/ot
- Presnosť nastavenia súradníc ± 0,02 mm
- Riadiaci systém NS315 alebo NS316, NS632A

Systém nastavovania súradníc

Tento systém má základnú funkciu nastavovanie (polohovanie obrobku voči nástroju postupne do jednotlivých vopred stanovených bodov obyčajne súradníc otvorov). Najčastejšie je riadená jedna súradnica napr. Y a druhá X je vlečená. Po skončení pohybu v smere Y je riadená súradnica X po dráhe až po programový bod. V priebehu nastavovania súradníc nie je stroj v styku s obrobkom. Vlastné obrábanie v tretej osi začína až po skončení nastavení polohy. Tento typ riadenia sa používa u vŕtačiek, vyvŕtavačiek, pripadne lisov alebo sú ním vybavené súradnicové stoly. Z funkcií obsiahnutých vo formáte bloku VR5NB využívame: g00 – vysunutie pinoly do hornej polohy, g81 – pevný cyklus vŕtania, g84 – pevný cyklus závitovania, g86 – pevný cyklus vyvŕtavania, g90 – cyklus frézovania.


B

Pružné výrobné systémy (PVS)

Vývojom systémov číslicového riadenia výrobných strojov a zariadení a súčasne nasadením samočinných počítačov k priamemu riadeniu NC strojov, materiálového toku a celkového chodu výroby sa vytvárajú základné predpoklady pre rozsiahlu automatizáciu v kusových a malosériových výrobách. Doterajšie skúsenosti získané u nás i v zahraniční vedú k doporučeniu aby NC stroje neboli zaradené medzi konvenčné stroje jednotlivo. NC technika predstavuje novú kvalitu pracovných prostriedkov a ako taká vyžaduje i iné podmienky pre optimálnu funkciu. Počiatočné nasadenie (skupinové) NC strojov umožňuje viacstrojovú obsluhu, prechádza ďalším vývojom PVS. Základnou myšlienkou koncepcie PVS je využitie skupín vzájomne prepojených NC strojov. NC stroje poskytujú kapacitu pre vykonávanie väčšiny technologických operácií pre dokončenie ktorejkoľvek súčiastky zo skupiny technologicky podobných súčiastok určených k obrábaniu v ľubovoľnom slede operácií. Pružnosť vzájomného prepojenia skupín C strojov umožňuje efektívnu manipuláciu so vzdialenými sledmi technologických operácií.

Výhody PVS

- Prispôsobivosť výroby potrebám odbytu
- Nezávislosť na veľkosti dávky
- Vysoká úroveň riadenia výroby
- 90% vyťaženosť strojov

- Odpadá zoraďovanie pri zmene obrobkov
- Nezávislosť technologického procesu od obsluhy
- Možnosť trojsmennej prevádzky

V dlhodobej perspektíve vývoja boli projektované výrobné strediská PC (production centre) vybavené číslicovo riadenými pracovnými prostriedkami. Sú úspešne realizované a dosahujú veľmi dobre hospodárske výsledky, čím potvrdili správnosť tejto koncepcie. S prihliadnutím dosiahnutého stavu technickej úrovne u nás i v zahraničí dá sa klasifikovať vývoj PC podľa úrovne do 8 stupňov pričom PC klasifikujeme do 5 stupňa a vyššie sú označované ako integrované výrobné úseky (IVU).

Charakteristika PC (PVS)

Klasifikovaná úroveň automatizácie PC je rozdelená do štyroch funkčných výrobných oblastí

- Dielčie úseky prípravy výroby
- Dielčie úseky technologického procesu
- Dielčie úseky s manipuláciou obrobkov a nástrojov
- Dielčie úseky riadenia výrobného procesu

Prvý najnižší stupeň PC – 0 je charakterizovaný zoradením konvenčných strojov do výrobnej linky pospájaných medzi operačnou dopravou. Všetky funkčné výrobné oblasti mali iba stupne mechanizácie.

PC – 1 výrobné stredisko s dielčou automatizáciou technologického procesu, vybavené ako konvenčnými tak i NC strojmi. Medzioperačná doprava bola zaisťovaná adresným zariadením.

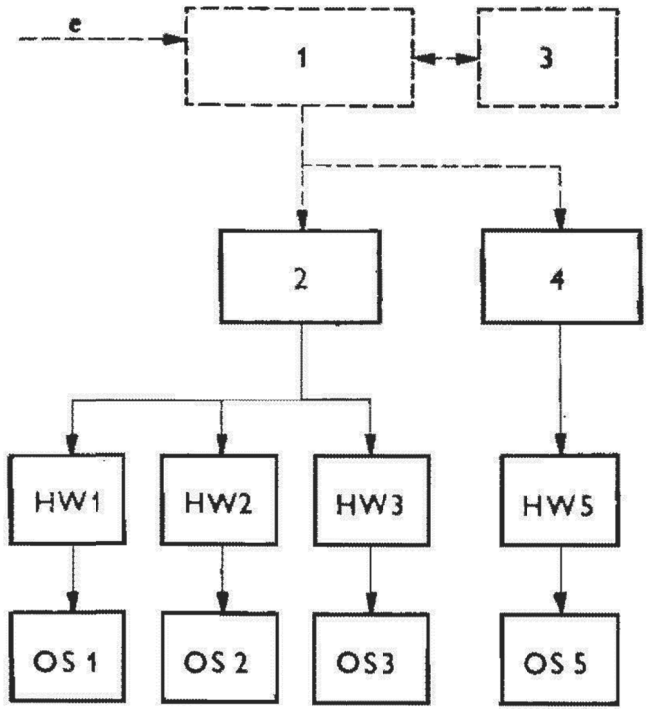
PC – 2 znaky zostávajú rovnaké ako v PC – 1 priame riadenia výrobného procesu vykonáva riadiaci technik na základe informácií riadiaceho počítača výrobného procesu.

PC – 3 výrobné stredisko charakterizované nasadením len NC strojov, dochádza k úplnej automatizácií výrobného procesu.

PC – 4 výrobné stredisko s úplnou automatizáciou výrobného procesu obrábania a procesu manipulácie a skladovania

PC – 5 skladba NC stroju umožňuje aplikovať rôzne formy priameho číslicového riadenia počítačom. Využívame riadenie jednotlivých strojov riadiacimi systémami CNC (computerized numerical control) a využitie skupinových PC systému DNC (direct numerical control) pre organizáciu a riadenie celého výrobného procesu. Tým je prakticky vylúčená nezbytnosť prítomnosti operátora pri strojoch. Medzioperačná doprava je zaisťovaná automaticky zariadením s NC riadením podľa časového rozsahu uloženého v pamäti riadiaceho počítača.

Priame riadenie počítačom – CNC používame univerzálne minipočítače ako základných jednotiek pre priame riadenie obrábacieho stroja. Pretože minipočítače dovoľujú stavebnicové rozširovanie vnútornej pamätí dajú sa používať pre riadenie strojov rôznej zložitosti.



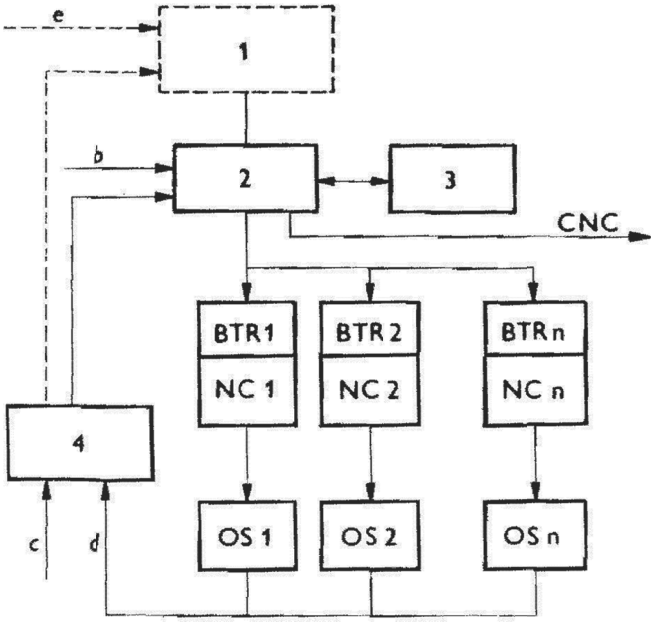
Bloková schéma systému CNC skupinového a individuálneho riadenia

1 – počítač, 2 – počítač CNC skupinového riadenia, 3 – pamäť programov, 4 – počítač CNC individuálneho riadenia, HW1 – HW5 – hardware skladajúci sa zo servosystémov, riadenia funkcií, panel ručného ovládania a edície programu, OS 1 – OS 5 – obrábacie stroje, e vstupné údaje pre programovanie a prípravu výroby.

Priame číslicové riadenie DNC

Riadenie strojov počítačom sa vykonáva tzv. obtokom čítačiek označovaných ako BTR – to znamená, že čítačky sú vyradené v priebehu riadenia z činnosť. V prípade poruchy na centrálnej riadiacej jednotke je výhodné, že jednotlivé stroje môžu byť riadené diernymi páskami a nevznikajú prestoje. Vzhľadom k tomu, že v tomto prípade má každý stroj svoj riadiaci systém, vyžaduje toto usporiadanie vyššie investičné náklady. Počítače v DNC systémoch preberajú archivovanie a manipuláciu s riadiacimi programami pre všetky stroje, ktoré v systéme riadia. Naviac ich ide využiť pre plánovanie, riadenie dopravných prostriedkov pre automatické programovanie a pod. vzhľadom k tomu, že počítače ide vzájomne spájať môže uvedené úlohy plniť niekoľko počítačov. DNC systémy je taktiež možné napojiť na počítač nadmerných informačných systémov. Vzniká tak riadenie, ktoré je v literatúre označované ako riadenie hierarchie počítačov. DNC systémy sa môžu ďalej vyskytovať aj v iných variantách: počítač 1 môže napr. prevziať funkciu počítača 2. Keď predpokladáme, že jednotlivé stroje nemajú vlastné riadiace systémy, znamená to, že z jedného centrálneho PC sú prenášané informácie priamo na riadiace jednotky strojov. Iné riešenie DNC systémov spočíva v tom že počítač 1 zaisťuje programy pre tvarovo zložité súčiastky s obecnými priestorovými plochami a počítač 2 programy pre jednotlivé súčiastky. Okrem toho počítač dva preberá interpolácie pre súvislé riadenie. V jednotlivých uvedených variantoch DNC riadenia bývajú spätné informácie zo strojov vyvedené na terminály s obrazovkou a klávesnicou – spôsob označovaný ako CRT. Tým je umožnená jedna kontrola chodu stroja jednak oprava a doplnenie programov uložených v pamäti. DNC riadením podľa

veľkosti použitých počítačov až niekoľko desiatok NC strojov a sú známe projekty kde sa počíta s riadením aj niekoľko sto strojov.



Bloková schéma systému DNC pri použití NC systémov prepojených kanálom BTR.

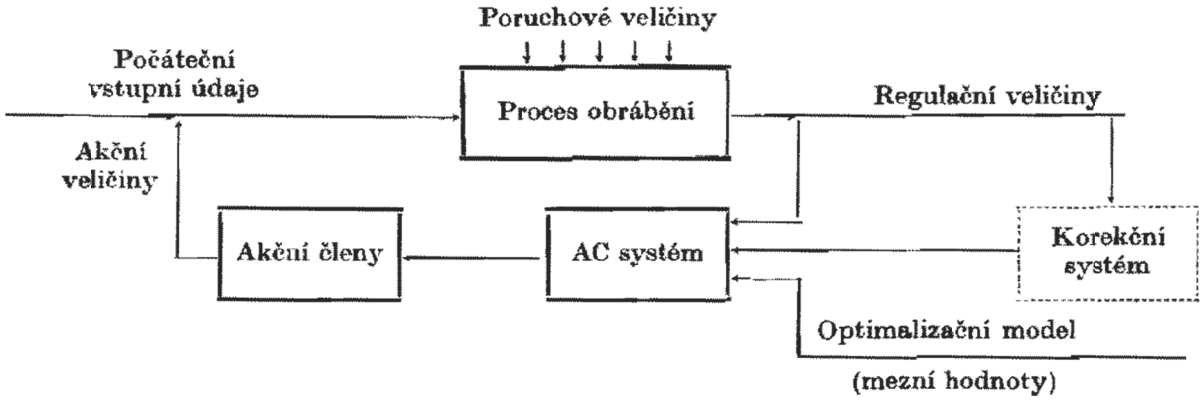
1, 2 – počítače, 3 – pamäť programov, NC 1 – NC n – riadiace systémy strojov OS 1 – OS n, 4 – vstup – výstup informácií, e – vstupné údaje pre programovanie a prípravu výroby, b – plán výroby, c – ručné zásahy, d – spätné hlásenie

Adaptívne riadenie

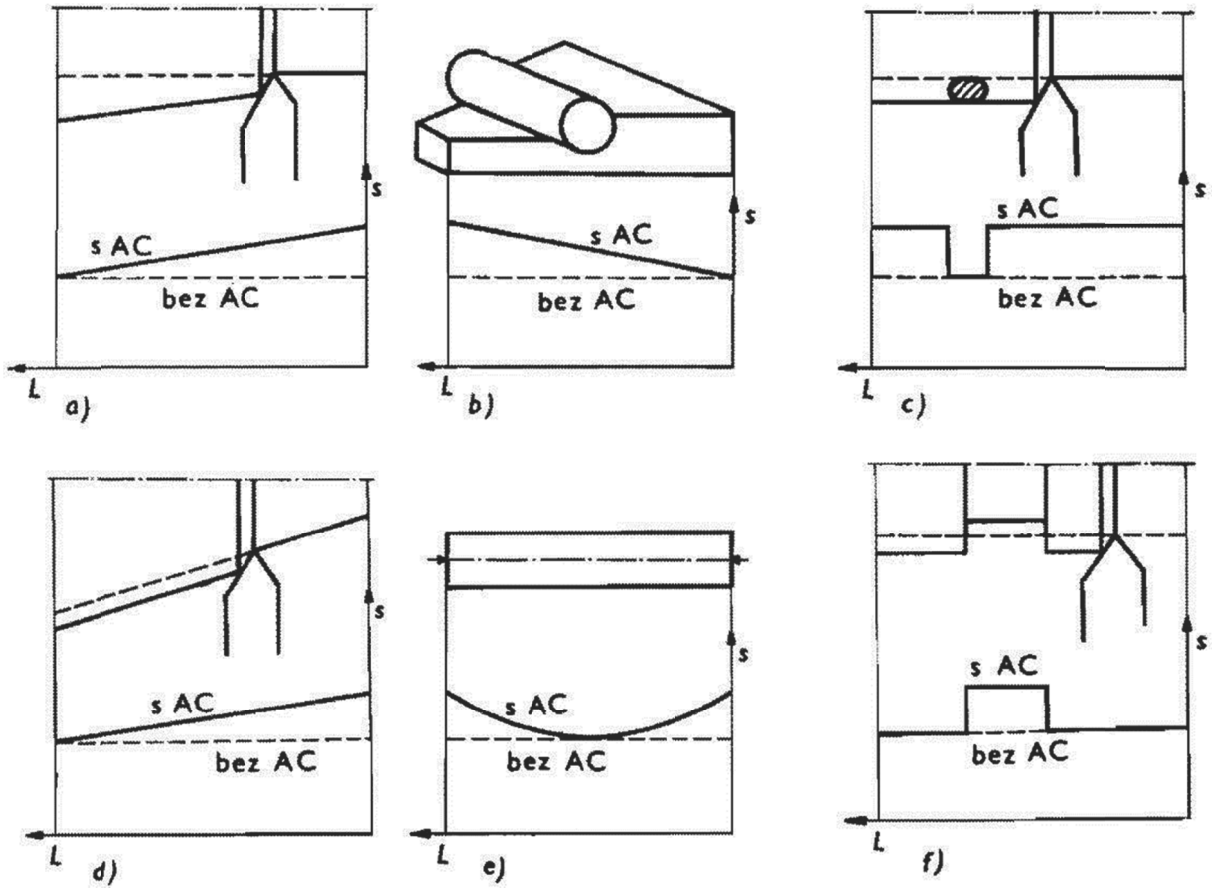
Jeho význam pre číslicovo riadené obrábacie stroje je v tom, že zvyšuje hospodárnosť úberu materiálu obrobku a prejaví sa významne na znižovaní výrobných nákladov. Je to vlastne optimalizácia rezných podmienok za predpokladu znalosti rezných parametrov ako napr. obrobiteľnosti obrábaného materiálu konkrétnej veľkosti prídavku na obrábanie, tuhosti systému stroj, nástroj, obrobok a pod. Pretože niektoré z týchto parametrov sme schopný len odhadnúť resp. vychádzať pri určení ich veľkosti, ktoré nie sú vždy najvhodnejšie zavádzane do riešenie optimalizácie nepresnoti. Skutočné rezné podmienky potom neodpovedajú podmienkam optimálnym. Tento nedostatok majú odstrániť systémy adaptívneho riadenia označované AC (Adaptive Control), ktoré sa vyrábajú ako integrované systémy s číslicovým riadení alebo tvoria prídavné zariadenia NC strojov. Z hľadiska obrábania ide ako adaptívne označiť taký systém, ktorý využíva vstupných informácií o okamžitom stave rezného procesu k jeho optimalizácií. Obecná bloková schéma adaptívneho riadenia má zaradené:

- poruchové veličiny, ktoré sú dané v priebehu obrábania zmenami obrobiteľnosti, tuhosti obrobku, prídavku na obrábanie, priemeru obrobku, opotrebovanie nástroja a pod.
- akčné veličiny regulované tvoria podmienky, ktoré sú adaptívnym systémom riadené (napr. otáčky, posuv, hĺbka rezu, relatívna poloha nástroja obrobku a pod.)
- regulované veličiny informujú o stave rezného procesu a patrí medzi ne užitočný výkon elektromotoru stroja zložky reznej sily, krútiaci moment, teplota rezania, vibrácie, poddajnosť vretena, drsnosť obrábanej plochy a pod.
- korekčný systém slúži pre korekciu optimalizačného modelu obrábania podľa skutočných priebežne meraných hodnôt regulačných veličín
- akčné členy tvoria výkonové orgány regulačného systému

- optimalizačný je v podstate matematický model rezného procesu formulovaný pre jeho optimalizáciu



Príklady znázorňujúce základné výhody adaptívneho riadenia



Podľa obrázku a, b je akčnou veličinou posuv. V prípade meniacej hĺbky rezu, resp. šírky frézovania je nutné bez adaptívneho riadenia voliť posuv s ohľadom na maximálny predpokladaný prierez triesky. Pri použití adaptívneho riadenia sa veľkosť posuvu v priebehu obrábania mení pričom priebeh tejto zmeny závisí na druhy systému AC. Podľa obrázku c je pôsobenia adaptívneho riadenia pri zmene tvrdých komponentov v materiály. Podľa obrázku d je vplyv hĺbky záberu na veľkosť posuvu. Podľa obrázku e vplyv posuvu na tuhosť. Podľa obrázku f vplyv rýchlosti posuvu na miesta keď rezný nástroj nie je v zábere.

Pružný výrobný systém FZ200

Sú v ňom realizované najvyššie požiadavky automatizácie pre zoradenie NC a CNC strojov do výrobnej linky. Takáto výrobná linka má všetky dielčie úseky výroby plne automatizované a patrí do skupiny PC7. Všetky výrobné činnosti sú realizované počítačovými systémami CNC a DNC. Pružnosť výrobného systému je v tom, že zmena výrobného programu jedného výrobku na druhý je realizovaná len zmenou vstupných údajov do organizačného počítača DNC, ktorý spracuje celý program výroby a zadáva ho k jednotlivým CNC strojom v ktorých sú realizované jednotlivé výrobné operácie. Takáto zmena typu výrobku na iný je veľmi rýchla – **pružná**. Typickým predstaviteľom je FZ200. Tento výrobný systém slúži k výrobe ozubených kolies v mäkkom stave. Vyrábajú sa v ňom ozubené kolesá od vonkajšieho priemeru 60 mm do priemeru 210 mm, priemer otvoru od 18 – 100 mm, dĺžka obrobku od 10 až 100 mm, modul 1 – 5 mm. Celková výrobná kapacita 300 000 ozubených kolies ročne. Z automatizovaného skladu dopravnou cestou idú polotovary prírubovým sústruhom DF 315 CNC, kde sa opracúvajú čelné a valcové plochy. Potom paleta s výrobkami prechádza na brúsku SIX 4, kde sa brúsi otvor a čelo pre upnutie na trn pre ďalšiu operáciu odvaľovania na odvaľovacích frézovačkách ZFWZ 250 x 5, kde sa robí ozubenie. V ďalšej fáze výroby sa robia drážky na vertikálnej preťahovačke 4 MP 471, zrážanie hrán a zaobľovanie zubov sa vykonáva na stroji ZAFRu 630 x 6 a prípadne na švingovacom stroji OS 25. Medzi niektorými operáciami je zahrnuté odmastňovanie, čistenie na čistiacom zariadení Model III/3. Celý systém je riadený počítačom KRS 4201 v spojení s ďalším počítačom KRS 4201 pre manipuláciu s materiálom a dvoma počítačmi KRS 4100 pre riadenie sústruhov systémom CNC. Do systému je zaradená aj technická kontrola so svojimi stanovišťami.

Organizácia výrobného systému je nasledovná:

Hlavný počítač spracuje program výroby ozubených kolies pre celý mesačný plán. Vydá cestou tlačiarne zoznam materiálu, ktorý a kedy je treba pristaviť do systému. Podľa kapacitného vyťaženia sústruhov pre manipuláciu s materiálom, aby pomocou prístroja na obsluhu regálov dopravil paletu s materiálom určitému sústruhu a položil na tzv. taktovacie zariadenie. Odtiaľ automaticky sa obrobky pomocou manipulátora Pirin dopravujú do stroja a späť na paletu. Celý technologický postup je potom aj ďalej riadený počítačmi.

Súhrnné cvičenia

1. Popíšte význam používania CNC strojov vo výrobe rotačných a skriňových súčiastok z pohľadu zvyšovania produktivity.
2. Charakterizujte hriadeľový sústruh SUI 50 CNC, hlavné časti a porovnanie krutových momentov a výkonov v závislosti na otáčkach.
3. Charakterizujte typy karuselových sústruhov SKQ z pohľadu rozmerových veľkostí.
4. Vysvetlite použitie obrábacieho centra MC – 100, jeho konštrukčné prvky.
5. Charakterizujte karuselovú brúsku VGM 100 z pohľadu výrobnosti a konštrukcie.
6. Popíšte výrobné použitie súradnicovej vŕtačky VR5 NB, konštrukčné usporiadanie.
7. Definujte pojem pružné výrobné systémy pre nasadenie samočinných počítačov.
8. Vysvetlite blokové schémy riadenia CNC a DNC systémov pre riadenie výroby.
9. Ako sa prejavuje adaptívne riadenie na znižovanie výrobných nákladov.

7. POŽIADAVKY NA REZNÉ NÁSTROE PRE NC A CNC STROJE – UPÍNANIE

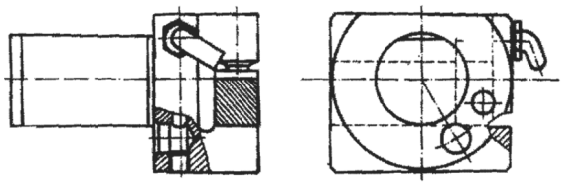
Rezné nástroje významne ovplyvňujú dosahované kvalitatívne parametre obrábaných súčiastok, vplývajú na geometrický tvar, presnosť a ekonomické využitie obrábacieho stroja. S ohľadom na vysoké nadobúdacie náklady je nutné vytvoriť nástrojové vybavenie, ktoré zodpovedá úrovňou požiadavkám NC a CNC strojov.

Medzi tieto požiadavky je potrebné uviesť:

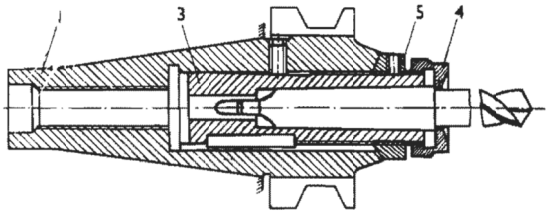
- rýchlu vymeniteľnosť nástrojov v pracovnej polohe v požadovanej presnosti
- dostatočnú statickú a dynamickú tuhosť potrebnú pre maximálne využitie výkonu stroja
- zoradenie nástrojov mimo stroja v prípravkoch pre zníženie vedľajších časov
- obmedzenie počtu držiakov tak, aby ich počet bol čo najmenší a boli pokryté všetky technologické požiadavky
- obmedziť na čo najmenšiu mieru potrebu špeciálneho náradia
- dosiahnuť vymeniteľnosť držiakov pre rôzne typy a druhy obrábacích strojov v záväznosti na zahraničné systémy
- nástroje musia umožňovať spoľahlivý prívod chladiacej kvapaliny a odvod triesok

7.1. Upínanie nástrojov

Upínanie nástrojov do vretena sa vykonáva pomocou nástrojových držiakov, ktoré môžu byť valcové alebo kužeľové. Valcová plocha sa musí presne axiálne ustaviť a zafixovať nástroj vo vretene stroja. Upínanie za kužeľovú plochu je z hľadiska upínania jednoduchšie a s vyššou tuhosťou. Nástroje nie sú axiálne nastaviteľné a pre doladenie polohy je potrebné využívať možnosti korekcie riadiaceho programu.



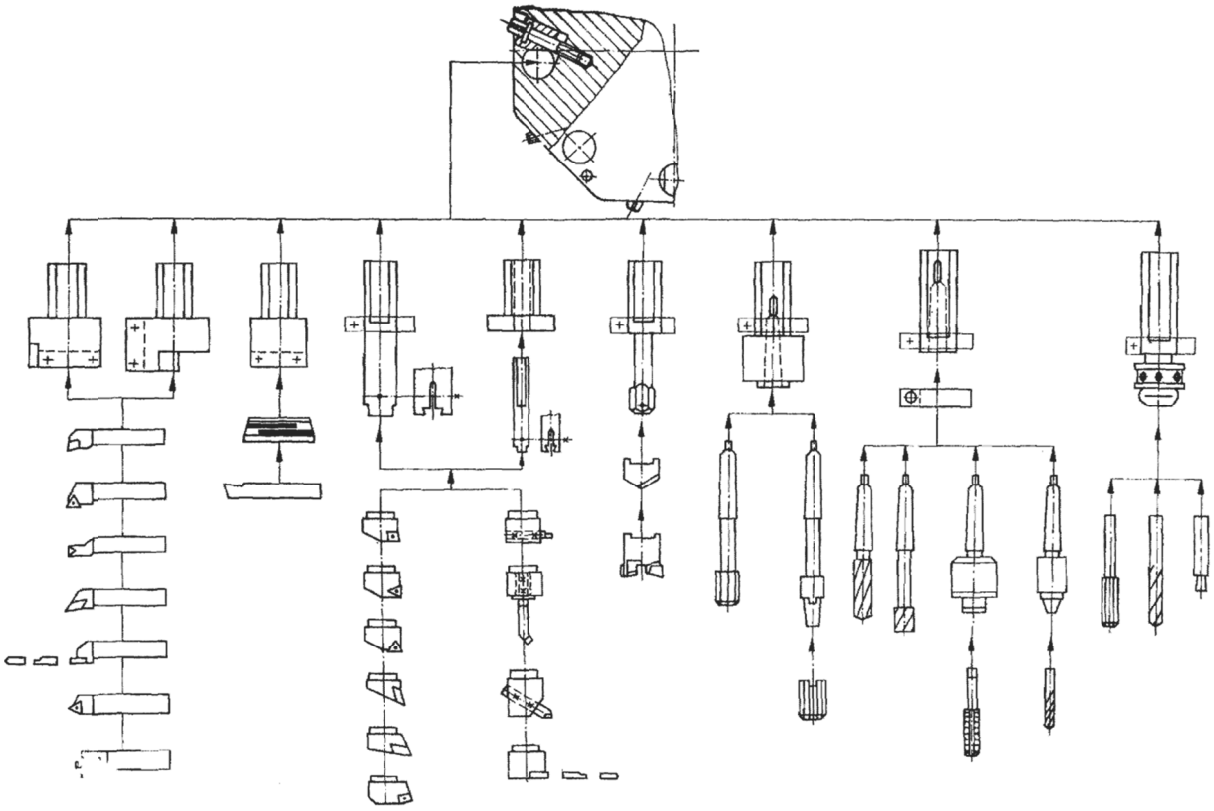
Príklad kolmého držiaka pre sústružnícke nože s prívodom chladiacej kvapaliny



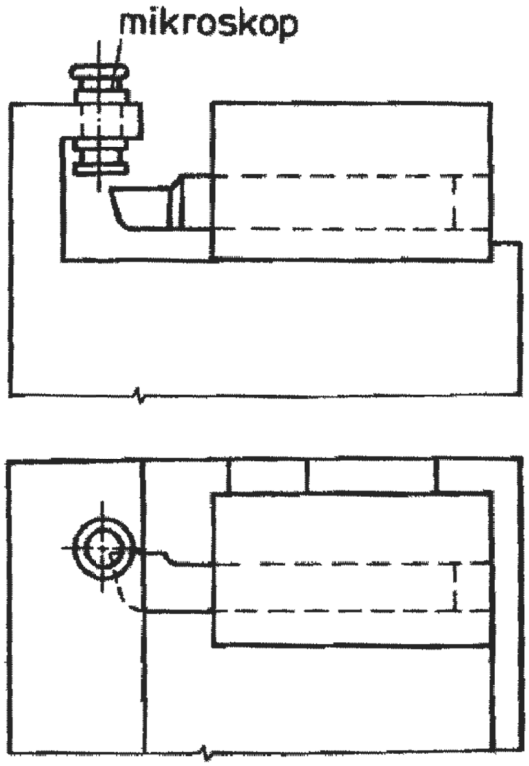
Upínanie nástrojov v držiaku s kužeľovou upínacou plochou (vrtáky, frézy). 1 – držiak, 3 – upínacie puzdro, 4 – poistná matica, 5 – nastavovacia matica

Nástroje pre sústružnícke stroje

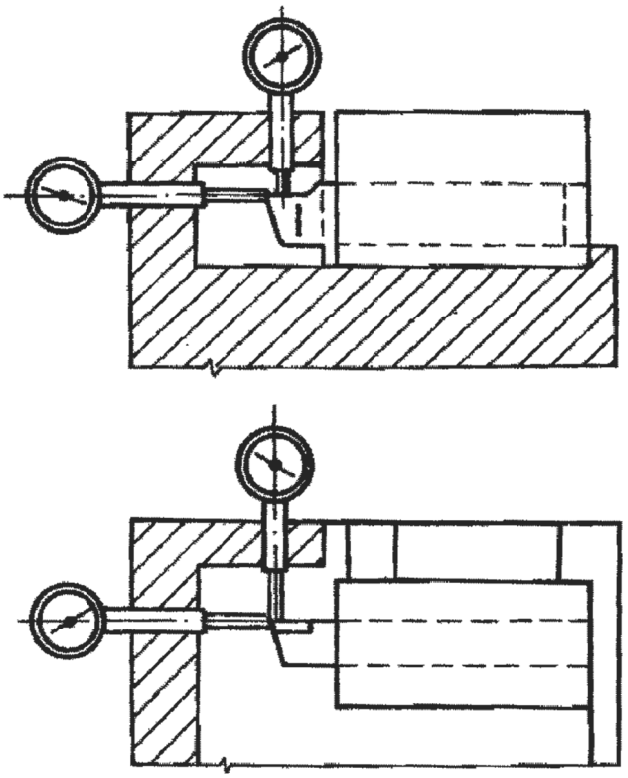
Nástroje v držiakoch s valcovou stopkou sú riešené vo variantoch držiakov ako kolmé (nôž je kolmo na os obrobku), držiaky rovnobežné (nôž je rovnobežný s osou obrobku) a držiaky pre upichovacie nože. Príklad náradia pre sústružnícke stroje je v nasledujúcej tabuľke.



Nástroje v upínacích držiakoch pre číslicovo riadené obrábacie stroje sa prestavujú mimo stroja špeciálnymi nastavovacími prístrojmi.



Kontrola nastavenia nástroja pomocou mikroskopu

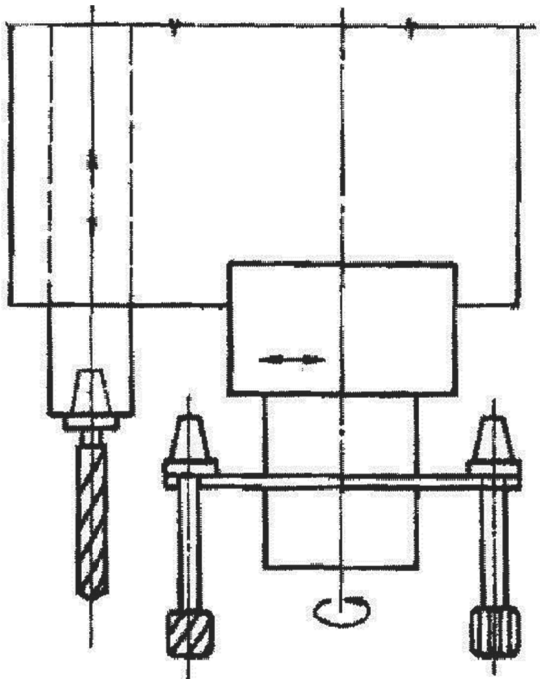


Kontrola nastavenia nástroja pomocou číselníkového odchýlkomeru

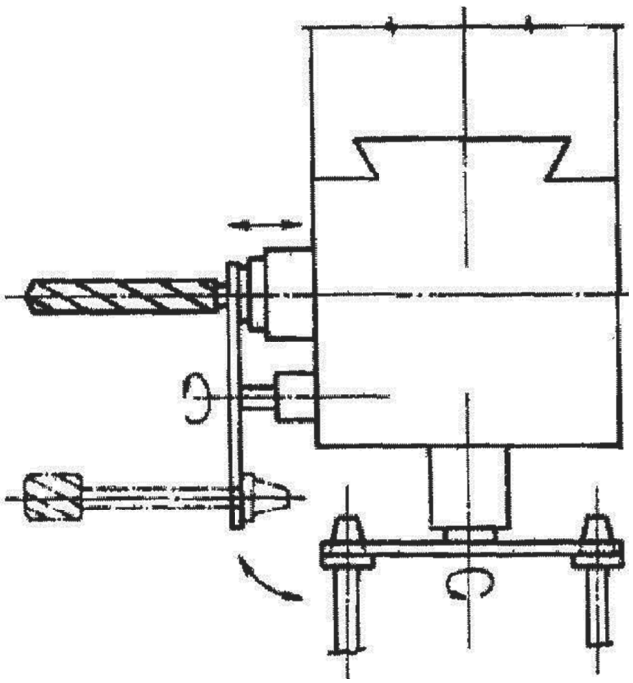
Podľa cesty, ktorú vykonáva nástroj zo zásobníka do vretena, možno systémy rozdeliť na

- zásobník – vreteno
- zásobník – dvojpolohová nástrojová hlava
- zásobník – dvojvretenová hlava
- zásobník – podávač – vreteno
- zásobník – podávač – dvojpolohová hlava
- zásobník – podávač – dvojvretenová hlava
- zásobník s vyklápaním nástrojov – podávač – vreteno, dvojpolohová alebo dvojvretenová hlava

K najrozšírenejším systémom patrí zásobník – vretno, zásobník – podávač, zásobník s vyklápaním – podávač – vreteno.



Systém automatickej výmeny nástrojov typu zásobník – vreteno s bubnovým zásobníkom



Systém automatickej výmeny nástrojov typu zásobník s vyklápaním – podávač - vreteno

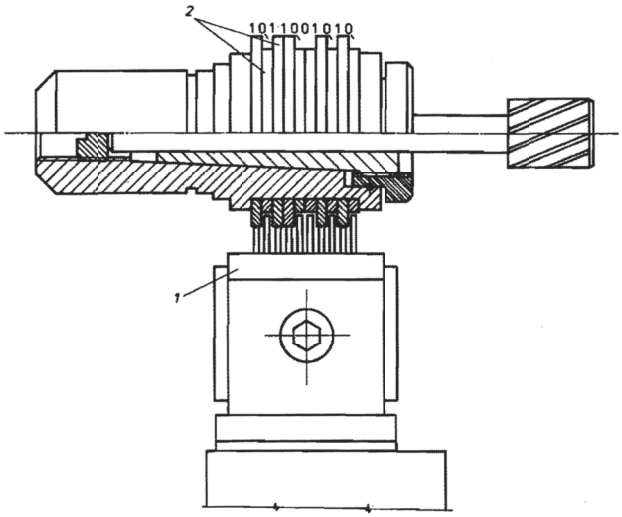
7.1.1. Kódovanie nástrojov

Je označovanie nástrojov na vyhľadávanie požadovaného nástroja zo zásobníka. Používajú sa dva spôsoby kódovania

a) kódovanie nástroja alebo jeho držiaka
b) kódovanie polohy nástroja v zásobníku

Kódovanie nástroja alebo jeho držiaka je najpoužívanejšie. Výhodou je voľba nástrojov pri zostavovaní programu, pričom nezáleží na poradí nástroja v zásobníku. Jednoduchá výmena nástrojov v zásobníku.

Nevýhody – drahší a zložitejší držiak, väčšie vyloženie nástroja a to, že držiak nie je univerzálny. Na kódovanie používame kódovacie krúžky kolíky a dierne platničky. K najrozšírenejším spôsobom kódovania nástroja patria kódovacie krúžky umiestnené na držiaku nástroja.



Kódovanie držiaka nástroja pomocou kódovacích krúžkov
1 – snímacia hlavica, 2 – kódovacie krúžky

Kódovanie držiaka nástrojov pomocou pätiek. Kód nástroja sa sníma v čítacej hlave. Čítacie zariadenie môže byť mechanické, elektrické, optické a iné. Jednotlivé krúžky tlačia na snímače, ktoré spínajú príslušné elektrické obvody a riadiaci systém pozná správny nástroj. Číslo nástroja je vyjadrené v dvojkovom kóde. Kódovacie krúžky sú rovnako široké a vyskytujú sa v dvoch priemeroch. Veľký priemer znamená v dvojkovom kóde **1** a malý priemer **0**. Napríklad keď má držiak spolu 10 krúžkov, maximálny počet nástrojov v dvojkovej sústave je daný výrazom:

$$1.2^9 + 1.2^8 + 1.2^7 + 1.2^6 + 1.2^5 + 1.2^4 + 1.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 1.2^0$$

Kombináciou kódovacích krúžkov môžeme označiť asi 32 000 rozličných nástojov.

Súhrnné cvičenia

1. Popíšte vplyv rezných nástrojov na využitie NC a CNC strojov
2. Charakterizujte požiadavky na nástroje na NCa CNC stroje
3. Uveďte príklady na upínanie nástrojov na NC a CNC stroje
4. Popíšte príklady nastavovania nástrojov mimo obrábacích strojov
5. Popíšte spôsoby upínania jednotlivých druhov nástrojov v nástrojových držiakoch
6. Vysvetlite princípy kódovania nástrojov

8. NEKONVENČNÉ SPÔSOBY OBRÁBANIA

Význam nekonvenčných spôsobov obrábania

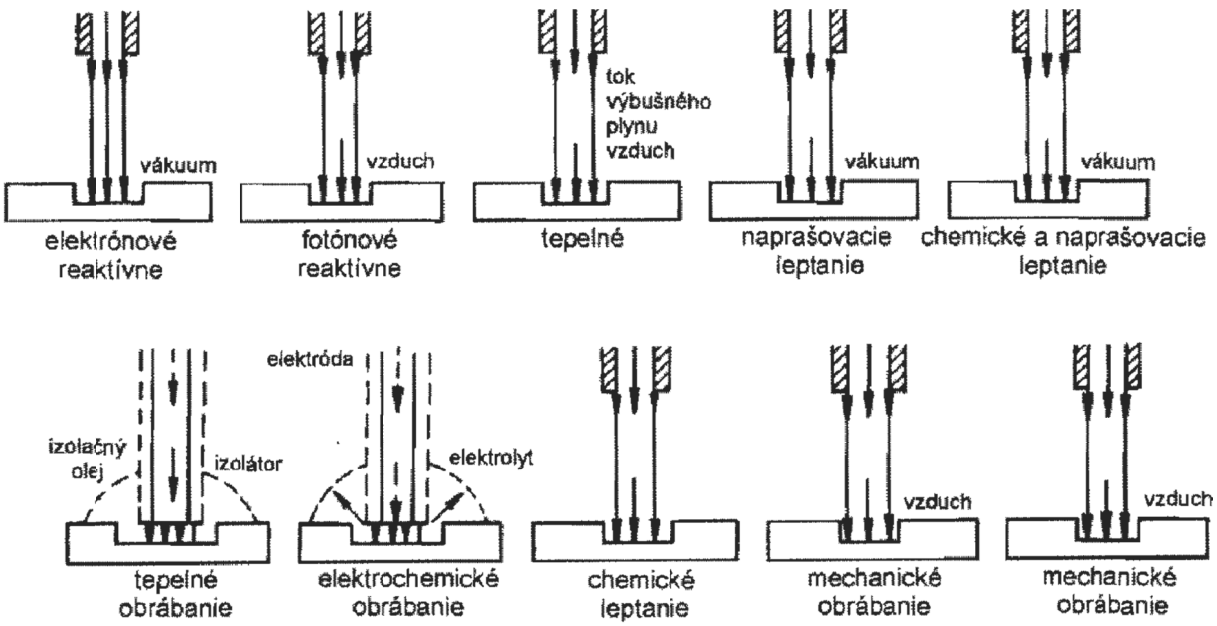
Výkonnosť trieskových postupov obrábania je ohraničená mechanickými vlastnosťami opracovávaného materiálu i komplikovanými tvarmi výrobkov. Na základe mechanických vlastností obrábaných materiálov je možné napr. vysoko legované a zušľachtené ocele, alebo tvrdé kovy obrábať iba s veľkými ťažkosťami. Komplikované tvary výrobkov vyžadujú pri lokálne ohraničenom rozrušení hrán odber materiálov v určitej následnosti alebo v definovaných vrstvách. Z toho vyplývajú dlhé časy opracovania, drahé výrobné zariadenia a často drahá ručná práca. Spomínané skutočnosti boli základom pre vývoj a použitie nekonvenčných spôsobov obrábania, ktoré sa vyznačujú tým, že materiál je odoberaný fyzikálnym alebo chemickým postupom.

8.1. Charakteristika nekonvenčných spôsobov obrábania

Nekonvenčné spôsoby obrábania sú spôsoby obrábania, ktoré na rozdiel od klasických technológií trieskového obrábania v prevažnej miere nevyužívajú mechanickú prácu pre úber materiálu. Sú založené na využití niektorého fyzikálneho alebo fyzikálno-chemického princípu úberu materiálu, pri bezsilovom pôsobení na obrábaný materiál a bez vzniku triesok. Pri fyzikálnych spôsoboch obrábania je materiál odoberaný nepriamym pôsobením elektrického prúdu (účinkom elektrického výboja iskrou alebo oblúkom) na materiál obrobku. Energolúčové procesy spracovania materiálov boli vyvinuté ako pokrokové výrobné technológie. V týchto procesoch energia potrebná na úber alebo spracovanie materiálov je zadávaná priamo k atómom alebo molekulám obrobku ako energia lúčov orientovaná v prúde extrémne jemných energetických čiastočiek, ako sú elektróny, fotóny, protóny, ióny a pod.

Praktické procesné systémy tohto druhu sa klasifikujú ako úber účinkom:

- Elektrónových lúčov. Účinky sú termálne (elektron reactive) a proces prebieha vo vákuu.
- Laserových lúčov. Účinky sú termálne (proton reactive). Proces prebieha v normálnej atmosfére.
- Plazmových lúčov (explozívny plynový prúd). Účinky sú termálne. Proces prebieha vo vzdušnej atmosfére.
- Iónových lúčov. Účinky sú prskavo-odleptávajúce. Proces prebieha vo vákuu.
- Reaktívnych iónových lúčov. Účinky majú povahu chemického a prskavo-odleptávajúceho procesu. Proces prebieha vo vákuu.
- Brúsnych prúdov. Účinky sú mechanické. Proces prebieha v normálnej atmosfére.
- Tekutinových prúdov. Účinky sú mechanické. Proces prebieha vo vzdušnom prostredí.
- Chemicko-kvapalinových prúdov. Účinky sú chemicko-leptajúce. Proces prebieha v chemicko-kvapalnom prostredí.
- Elektrolytických prúdových lúčov. Účinky sú elektro-chemicko odleptávajúce. Proces prebieha v elektrolyte.
- Elektrického vyiskrovania. Účinky sú termálne. Proces prebieha v kvapaline (olej)



Klasifikácia energolúčových spôsobov spracovania materiálov (jednotlivé úbery materiálu)

8.2. Rozdelenie nekonvenčných spôsobov obrábania

Nekonvenčné spôsoby obrábania sa rozčleňujú na procesy (podľa použitej energie a spôsobu úberu materiálu).

- elektroerozívne
- energolúčové
- mechanické
- chemické
- elektrochemické

8.2.1. Elektroerozívne obrábanie

Veľká časť elektro-fyzikálnych, chemických a kombinovaných metód obrábania je založená na metódach rozrušovania materiálu a jeho odstraňovania z obrábaného materiálu roztavením a odparením. Ich zásadné rozdiely sú založené na forme prívodu a tvare energie používanej v zóne obrábania na technologicky nutnú tepelnú energiu. Základnými charakteristikami materiálov určujúcimi možnosť a technologické parametre ich obrábania tepelnými metódami, sú tepleno – fyzikálne vlastnosti (tepelná vodivosť, teplotná vodivosť, tepelná kapacita, súčasný účinok tepla tavenia a fázových premien, teplota tavenia a pod.).

Úber materiálu pri obrábaní elektrotermickými metódami vzniká ako dôsledok elektrických výbojov medzi elektródami ponorenými v kvapalnom dielektriku.

Elektrotermické metódy sa nazývajú aj elektroerozívnymi metódami.

Všeobecne možno povedať, že elektroerozívne obrábanie sa s výhodou používa v prípadoch, keď dochádza k nasledujúcej kombinácií faktorov:

a) typ obrábaného materiálu:

- zle obrábateľný (vysoká tvrdosť, pevnosť a krehkosť)

b) typ operácie:

- zložitý alebo nepravidelný tvar,
- diery malých priemerov,
- diery s veľkým pomerom hĺbky k priemeru,
- veľké množstvo malých dier,
- úzke štrbiny a pod.

8.2.2. Fyzikálne základy elektroerózie

Elektrická erózia vzniká pôsobením výbojov v miestach na povrchu elektród. Výboj je vodič elektrického prúdu v plyne. Nosnými elementami prúdu sú elektricky nabité častice, elektróny a ióny vznikajúce ako produkt ionizácie plynu medzi katódou a anódou i výronom z kryštálovej mriežky obidvoch elektród, elektrónov z katódy a iónov z anódy. Nabité častice získavajú v elektrickom poli pohybovú energiu, ktorá sa spolu s výstupnou prácou odovzdá povrchu elektród. Tak dochádza k premene elektrickej energie na tepelnú energiu vo výboji. V zasiahnutom mieste na povrchu obrobku sa materiál prudko ohrieva, taví sa čiastočne odparuje. Tlakom kovových pár sa roztavený kov z miesta zásahu vymršťuje. Vzniká tak kráter, jeho rozmery závisia od obrábaného materiálu a od parametrov režimu.

8.2.3. Pracovné podmienky a charakter výbojov

Podľa časového priebehu dodávané energie do miesta výboja rozdeľujeme elektrické výboje na:

- výboj elektrickou iskrou
- výboje nestacionárnym elektrickým oblúkom

Elektroiskrové výboje sú charakterizované krátkou dobou impulzu (časovým úsekom medzi zapojením a vypojením generátora) ($t_j = 10^{-4} – 10^{-6}$s), pri malých hodnotách časového využitia periódy výboja a pri značne vysokých frekvenciách výbojov. Vo výbojovom kanáli prevláda elektrónová vodivosť vyvolávajúca väčší úbytok anódy oproti katóde. V mieste výboja je dosahovaná veľmi vysoká hustota prúdu, uvedeným hodnotám zodpovedá vysoká koncentrácia energie a tvorba teploty vo výbojovom kanáli dosahuje hodnôt 10 000°C.

8.2.4. Pracovné kvapaliny

Ako pracovné kvapaliny sa používajú elektricky nevodivé dielektriká, najčastejšie technický petrolej, transformátorový olej, zmes petroleja a oleja, destilovaná a deionizovaná voda a vodné sklo.

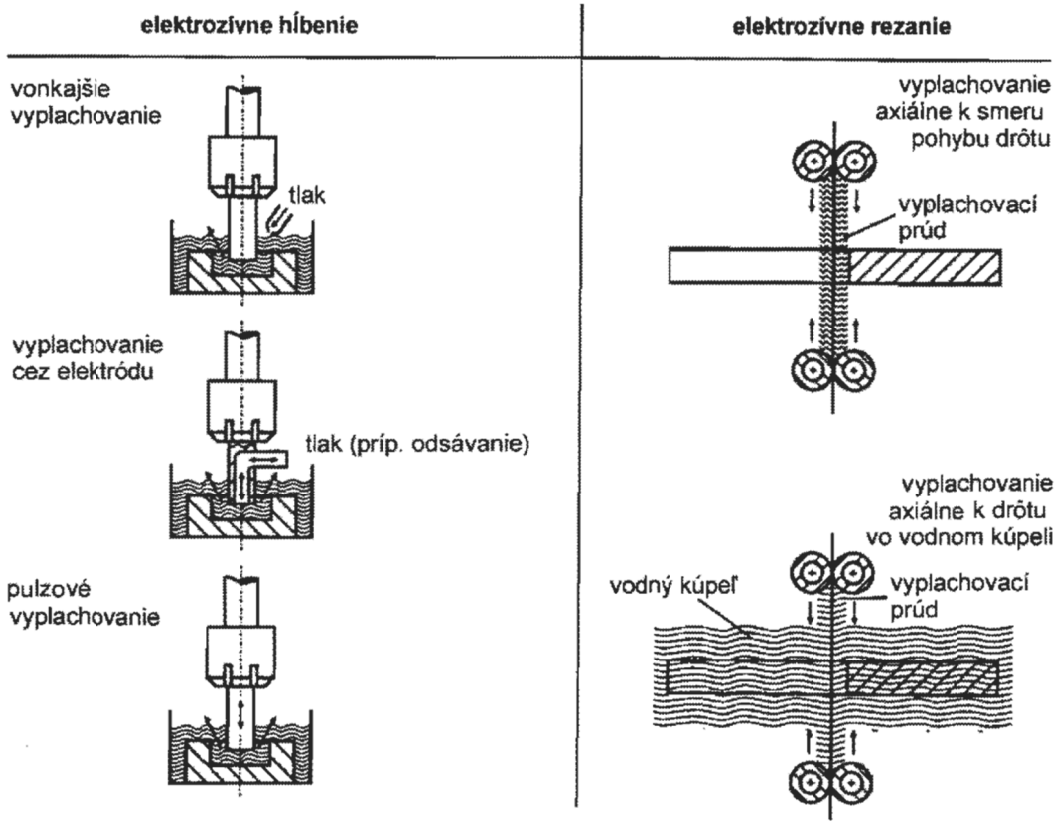
Pracovná kvapalina má spĺňať určité funkcie:

- chladiť elektródy
- odstraňovať splodiny elektroerozívneho úberu,
- pomocou tvorby vodivých mostíkov zabezpečovať elektrický prieraz na vhodnú vzdialenosť elektród (0,001 – 0,1 mm). Výbojové napätie môže byť podľa typov obvodu variabilné, u relaxačných obvodov 60 – 300 V,

- mať malú viskozitu a zmáčavosť aby sa rýchlo obnovovala ionizácia po výboji,
- byť chemicky neutrálna kvôli zamedzeniu korózie,
- mať dostatočne vysokú teplotu horenia aby nedochádzalo ku vznieteniu,
- musí byť stála, nenáročná na výrobu a lacná,
- spĺňať požiadavky hygienické a ekologické

Skoro všetky tieto požiadavky majú ľahké strojové alebo transformátorové oleje, zvlášť obyčajný priemyselný petrolej.

Z hľadiska vyplachovania existuje rad konštrukčných usporiadaní.



Spôsoby vyplachovania pri elektroerozívnom hĺbení a rezaní

8.2.5. Nástrojové elektródy

Na nástrojovú elektródu sú kladené špecifické požiadavky:

- vysoká elektrická vodivosť
- dostatočná elektrická pevnosť
- úzke tolerancie rozmeru (priemer) a tvaru (kruhovitosť)
- prijateľná cena

Cieľom elektroerozívneho obrábania je dosiahnuť opakovanými výbojmi na jednej elektróde – obrobku – maximálny úber materiálu a na druhej elektróde – nástroji – čo najmenší úbytok materiálu a tým aj minimálne opotrebenie nástroja. Používame hliníkové

elektródy na predbežné opracovanie dier bez veľkých prechodov osadení v súčiastkach z ocele a spekaných karbidov.

Zliatiny medi sa používajú pri obrábaní súčiastok z veľmi tvrdých ocelí, pretože sa veľmi dobre obrábajú rezaním.

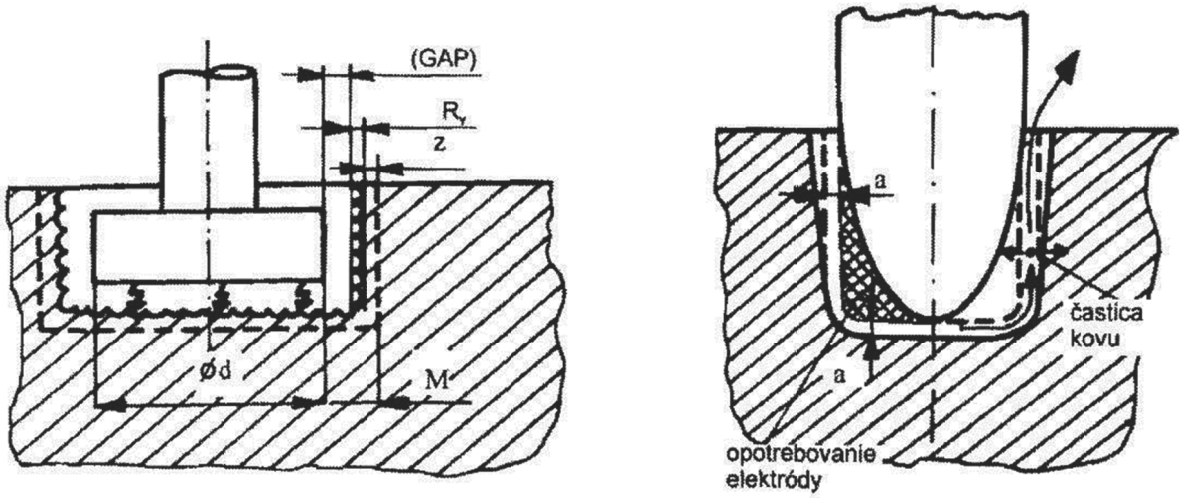
Elektródy zo sivej liatiny sa používajú pri obrábaní zo spekaného karbidu otáčajúceho sa elektródou. Elektródy z volfrámu majú vysokú trvanlivosť a používajú sa na drôty a pásiky pri pretlačovaní dier v oceliach alebo žiarupevných zliatinách a pri rozrezávaní ingotov z rovnakých materiálov. Kovové elektródy sú dnes často nahradzované elektródami z grafitu. Často sa používajú pri eletroimpulznom brúsení.

8.2.6. Rozmery nástrojových elektród

Problematika určenia rozmeru nástrojových elektród je uvedená na príklade valcového otvoru dvojicou elektród (hrubovacia a dokončovacia elektróda).

Rozmery sú určené:

- požadovaným priemerom dutiny (D),
- veľkosťou pracovnej medzery (a resp. GAP),
- drsnosťou obrobenej plochy (R_y),
- hrúbkou narušeného povrchu (z)



Rozmery elektród (a = GAP – veľkosť pracovnej medzery, z – hrúbka narušeného povrchu, M – hodnota zmenšenia rozmeru elektródy, d – priemer elektródy, R_y – maximálna výška nerovnosti povrchu)

Pre dokončovanie volíme výboje s nižšou energiou impulzov, preto aj R_y bude zanedbateľná v porovnaní s *a(GAP)*.

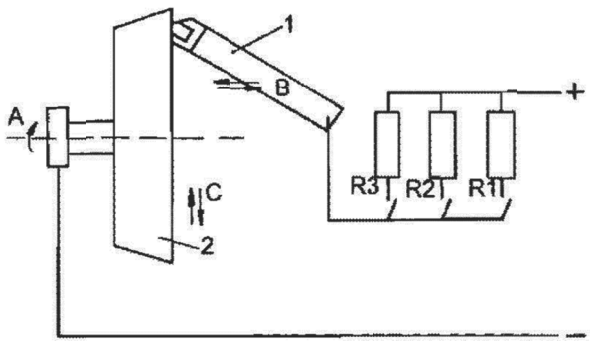
Rozmery dokončovacej elektródy:

$d = D - 2a(GAP)$

8.3. Elektrokontaktné obrábanie

Je založené na princípe odporového odtavovania materiálu stykom nástrojovej elektródy z povrchom obrobku. Zdroj energie býva obyčajne zaisťovaný jednofázovým transformátorom s výkonom od desiatok do stoviek kW. Oblúkové výboje a malý počet impulzov sa pohybuje v rozmedzí 50 – 500 Hz. Nástrojová elektróda (oceľový alebo liatinový kotúč s priemerom 300 – 500 mm, ekvivalentný fréze alebo brúsnemu kotúču, alebo disk) sa otáča rýchlosťou 20 – 60 $m.s^{-1}$, a tým sa vytvára mechanické budenie alternujúcich impulzov. Úber materiálu nastáva rozmerovým roztavovaním. Proces nahrádza frézovanie i povrchové brúsenie.

Pracovný kotúč zhotovený z liatiny (2) sa otáča okolo osi, ostrený nástroj (1) vykonáva kmitavý pohyb v smere C a automatický posuv sa uskutočňuje pomocou regulátora v smere B.

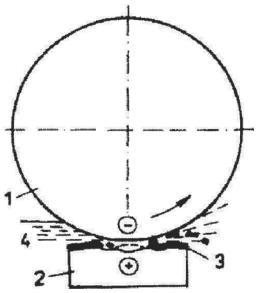


Elektrokontaktné ostrenie nástrojov

Ďalšie použitie elektrokontaktného obrábania je pri čistení odliatkov, obrábaní guličiek ložísk, čistení zvarov, rezanie ťažkoobrábateľných materiálov a pri sústružení aj ostrení nástrojov. Ide o hrubovacie operácie.

8.4. Anódovo - mechanické obrábanie

Anódovo – mechanické obrábanie tvorí prechod medzi elektroerozívnymi a elektrochemickými metódami obrábania. Úber je zaisťovaný krátkodobými výbojmi – iskrami. Využíva nepolárne impulzy s mechanickým budením. Nástroj – oceľový kotúč, pás alebo drôt je zapojený na katódu a súčiastka na anódu. Proces prebieha pri vysokých teplotách vzniknutých elektrickým výbojom, pričom roztavený kov z miesta styku nástroja s obrobkom odstraňuje otáčajúci sa nástroj.



1 – nástroj
2 – obrobok
3 – izolačná vrstva
4 – pracovná kvapalina

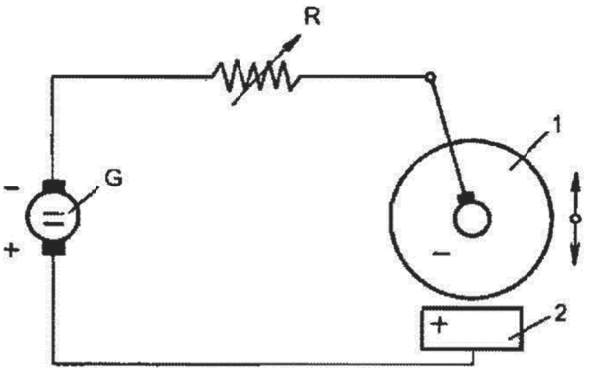
Princíp anódovo – mechanického obrábania

Ako nástroj sa používa:

- Plechový kotúč rôznej hrúbky
- Profilové platničky zo sivej liatiny, ocele, medi, hliníka a pod.

Najpoužívanejšie pracovné médium je vodný roztok kremičitanu sodného (vodné skla) SiO_2N_2O s hustotou 1,27 – 1,32 g/cm^{-3}. Na zabránenie tuhnutia vodného skla sa používa glykol alebo glycerín. Impulzný proces je výsledkom mechanického budenia otáčajúceho sa nástroja (kotúča, pásu alebo drôtu) spojeného s katódou. Zdrojom energie je usmerňovač striedavého prúdu s napätím 22 – 25 V. Výkon zdroja je niekoľko kW až desiatky kW, rýchlosť rezania do 50 cm^2.min^{-1} a väčšia dosahovaná drsnosť R_a = 12,5 μm pri rezaní a 1,6 až 0,8 μm pri brúsení, relatívny úber nástroja 15 – 25 %.

Anódovo mechanický spôsob sa používa zväčša na rezanie ťažkoobrábeteľných alebo tepelne spracovaných materiálov, na tenkostenné profily, na ostrenie nástrojov zo spekaných karbidov, rozrezávanie kovov (najmä SK a špeciálnych zliatin vysokej tvrdosti), na rozmerové dokončovacie obrábanie. Materiál obrobku je odoberaný bez vzniku síl.



G – jednosmerný zdroj

R – potenciometer

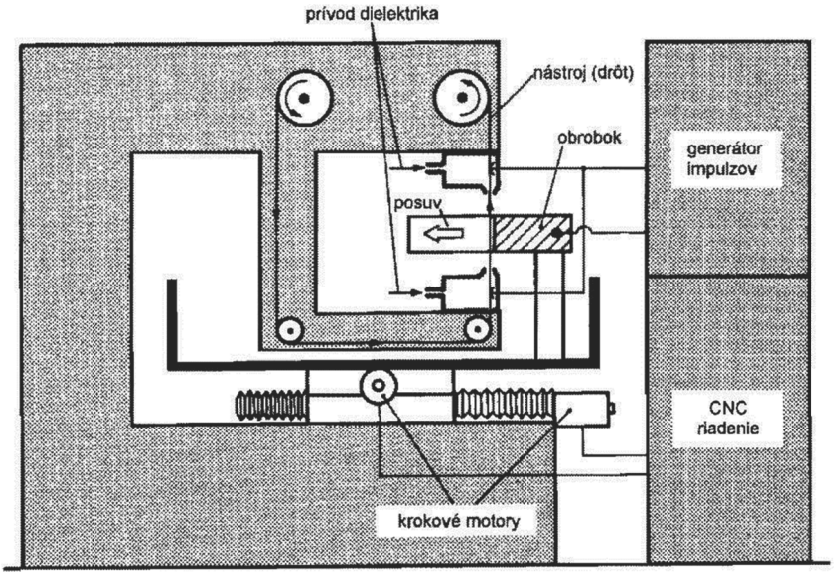
1 – oceľový kotúč (nástroj)

2 – obrobok

Schéma anódovo – mechanickej píly

8.5. Drôtové elktroiskrové obrábanie

Pri elektroiskrovom rezaní na špeciálnych strojoch tvorí nástrojovú elektródu kruhového prierezu drôt priemeru 0,02 – 0,3 mm.



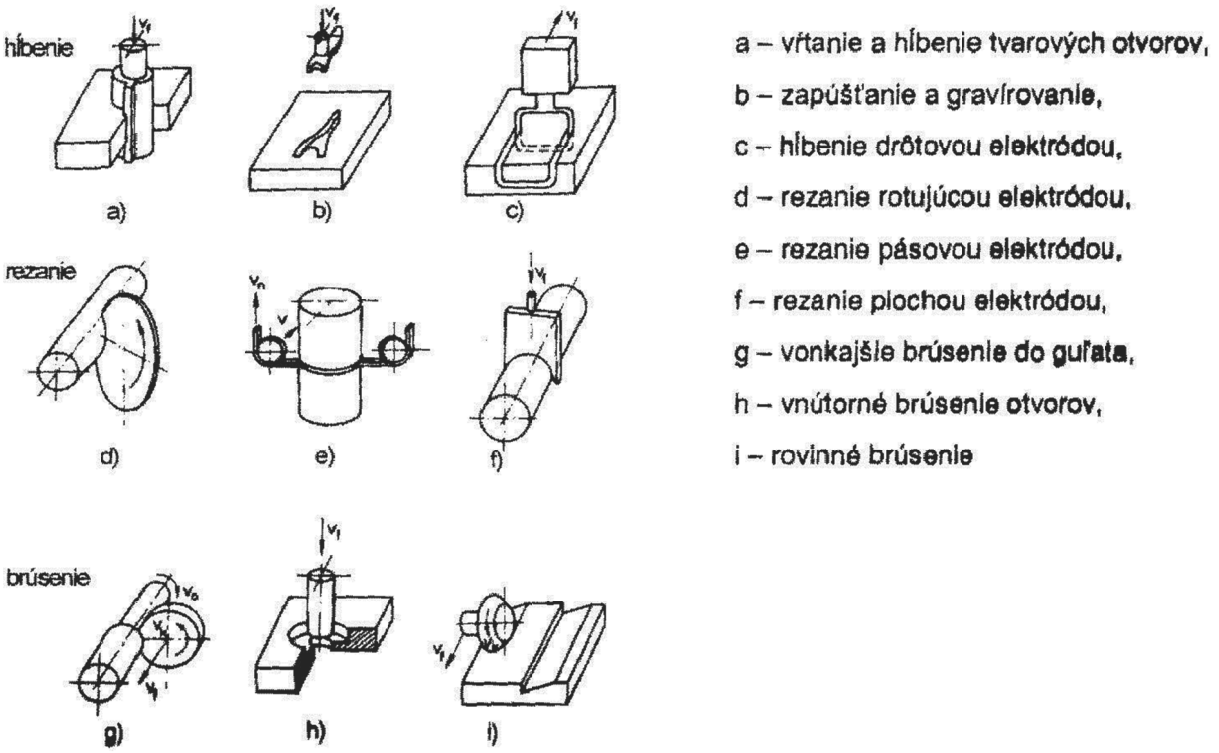
Pracovné médium: Deionizovaná voda.
Nástroj: pohybujúci sa drôt.
Materiál nástroja: meď, mosadz, oceľ, molybdén.
Priemer drôtu: 0,05 – 0,3 mm.
Frekvencia impulzov: 5 – 300 kHz.
Napätie naprázdno 20 – 400 V.
Tvarové elektroisktové obrábanie drôtenou elektródou.

Elektróda sa v priebehu procesu prevíja z jednej cievky na druhú cievku a naopak. Elektrickými výbojmi vznikajúcimi medzi drôtovou elektródou a obrobkom sa vytvára pracovná medzera a tým aj príslušný rez. Obrobok vykonáva rezný pohyb podľa požadovanej dráhy pri stálom dodržiavaní medzi elektrónovej medzery.

8.5.1. Príklady technologického využitia elektroerozívnych metód

Elektroerozívne rezanie je určené hlavne na:

- výrobu tvarovo – zložitých prechodných otvorov a obvodov, napr. funkčných tvarov priestrižniciach, zložitých tvarov šablón, rezných a strižných nástrojov zo spekaných karbidov a pod.
- superpresné elektroiskrové brúsenie jemných ihiel drôtovou elektródou. Presnosť brúseného priemeru 30 μm je pozdĺž osi 1 μm, čo zodpovedá presnosti NC systému.
- presné tvarové dokončovanie alebo orovnávanie brúsnych a diamantových kotúčov.
- výroba zápustiek na hĺbenie dutín
- vyrezávanie zložitých tvarov priestrižníkov, ako náhrada frézovania
- obrábanie ultratvrdých vodivých materiálov (SiC, Si_3N_4 - TiN, ZrB_2), tvarové rezné nástroje s polykryštálu diamantu
- rezanie nitridu bóru na orovnávanie brúsnych kotúčov
- rezanie polykryštálov diamantu na výrobu tvarových rezných nástrojov



Príklady použitia elektroerozívnych metód

8.6. Plazmové obrábanie

Plazma je skrátení názov pre hmotu, ktorá je v plazmatickom stave. Tento stav možno priradiť k trom základným stavom hmoty, t.j. hmote v tuhom, kvapalnom a plynnom skupenstve. Plazmatické skupenstvo predstavuje hmotu úplne alebo neúplne ionizovanú, teda s veľkým obsahom energie. Hmota v tomto stave sa niektorými vlastnosťami podobá stavu plynnému a niektorými stavu tuhému. Plyny zahriate na teploty vyššie až niekoľko tisíc °C tvoria svojrázne štvrté skupenstvo hmoty (plazmu). Plazma je plyn ktorý sa skladá z kladne a záporne nabitých častíc v takom pomere, že výsledný celkový náboj je nulový, čiže plazma ako celok je v plazmatickom stave elektricky neutrálna.

Teplota plazmy bude závisieť do značnej miery od použitého plynu, ktorý sa bude uvádzať do plazmatického stavu. Rezacie plyny sa používajú čisté, čiže jednotlivo, alebo ako zmesi rôznych aktívnych, či inertných plynov. Plyny majú rôzne fyzikálne vlastnosti vrátane ionizačných potenciálov. Kontrahovaný elektrický oblúk má vzhľadom na použité plyny tieto teploty.

- vodíková plazma do 8 000 K
- dusíková plazma do 7 000 K
- argónová plazma do 15 000 K
- héliová plazma do 20 000 K

Pri plazmovom obrábaní sa pomocou lúča plazmy, ktorý je zúžený na malý priemer pomocou trysky, taví rezaný materiál tepltou cca 10 000 °C a viac. Plazma sa vytvára rozkladom molekúl plynu za vysokého vývinu tepla pri prechode elektrickým oblúkom, ktorý horí medzi elektródou (katódou), ktorá sa netaví a rezaným materiálom (anódou).

Javí sa ako neutrálna (rovnaký počet kladných iónov a záporných elektrónov).

Plazma na rezanie vzniká použitím týchto médií:

- zmes plynov,
- stlačený vzduch,
- vodný prúd,
- kombinácia plynu a vody

Pri rezaní klasickou plazmou sa najčastejšie používa zmes Ar a H_2. Na rozdiel od rezania kyslíkom, princíp rezania plazmou je založený na tavení rezaného materiálu extrémne vysokou teplotou.

8.6.1. Konštrukcia plazmových horákov

V praxi sa dnes používajú tieto nasledujúce konštrukcie plazmových horákov:

- rezacie horáky s plynovou stabilizáciou
- rezacie horáky so vstrekovaním vody

Pri rezacích horákoch s plynovou stabilizáciou plní stabilizačnú funkciu súosový prúd plynu, najčastejšie argón. Z horáka vychádza úzky lúč plazmy vysokou rýchlosťou. Lúč je silne ionizovaný (vodivý). Vysokou teplotou sa materiál taví a pomocou kinetickej energie prúdu plazmy vytláča roztavený materiál z miesta rezu (tavenie, odstrekovanie, odparovanie a rozprašovanie materiálu tuhej fázy). Druh prac. plynu podmieňuje presné usmernenie plazmového lúča.

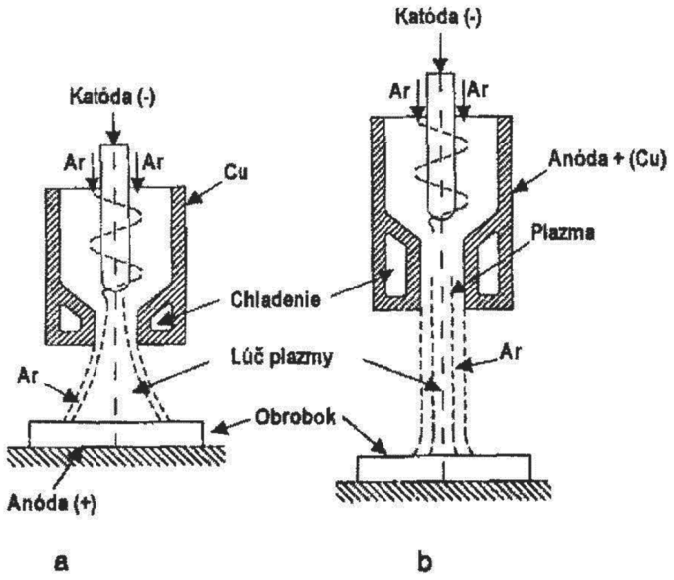
Používané plyny:

- plazmové plyny – sú privádzané priamo do oblúka kde sú ionizované (Ar, H_2, He, N_2),
- fókusové plyny – zužujú lúč plazmy pri východe z trysky (Ar, Ar+H_2, Ar+N_2, N_2),
- ochranné plyny – obklopujú lúč a roztavený kov a chránia ich pred účinkom atmosféry

Mechanizmy, v ktorých sa vytvára plazma, sú plazmatróny. Konštrukciou plazmatrónu je daná aj účinnosť plazmatického obrábania.

Konštrukcia horákov

Horáky s transferovým (s prenosom) a netransferovým (bez prenosu) oblúkom najčastejšie používajú plyn Ar alebo zmes Ar+H_2. Používajú sa pri rezaní ušľachtilých ocelí a neželezných kovov. Možno rezať ocele až do hrúbky 150 mm (pri prúde I = 500 A).

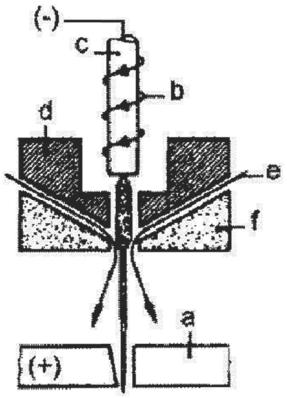


Schémy plazmových horákov

a – horák s prenosom oblúka

b – horák bez prenosu oblúka

Pri rezaní plazmovými horákmi s ostrekovaním vody sa do komory privádza tangenciálne prúd vody pod vysokým tlakom. Tým sa vytvorí výr, ktorý zovrie plazmový lúč a vyvádza ho tvarovým otvorom i na čelo horáka. Rez je možné vykonávať pod hladinou vody (operácie pri stavbe lodí ponoriek a pod.), čím sa znižuje hluk a prašnosť a veľké UV žiarenie. Pracovné prúdy až do 600 A umožňujú vysoké rýchlosti rezania.



a – obrobok

b – stabilizačný plyn

c – elektróda

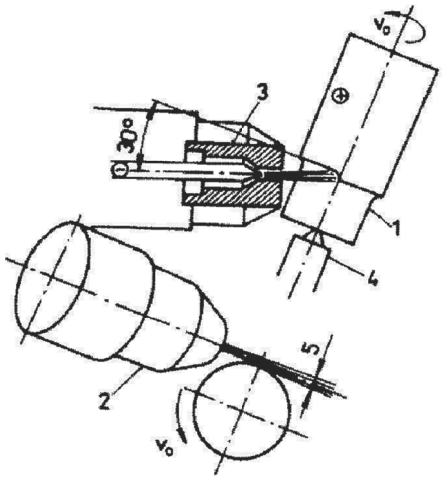
d – medená časť

e – vodný injektor

f – keramická časť

8.6.2. Obrábanie plazmovým lúčom

Obrábanie plazmovým lúčom sa používa na hrubé operácie veľmi ťažko obrábateľných materiálov. Pri obrábaní je horák nastavený vzhľadom na obrobok tangenciálne pod uhlom 30° v horizontálnej rovine. Je to hrubovacia operácia s presnosťou 1,5 mm.



1 – obrobok

2 – plazmový horák

3 – dýza

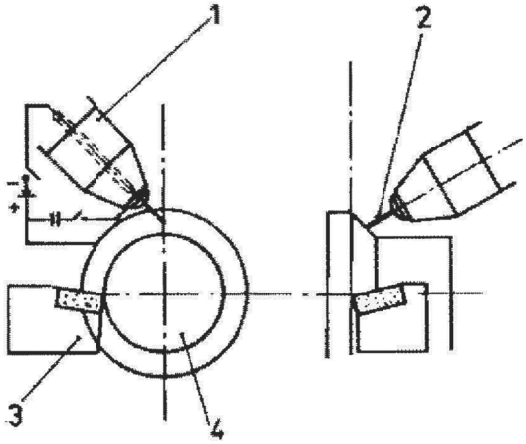
4 – hrot

5 – hĺbka záberu

Obrábanie priamym plazmovým lúčom

Obrábanie pomocným plazmovým lúčom pri sústružení

Obrábanie pomocným plazmovým lúčom pri sústružení využíva lokálny ohrev reznej zóny plazmovým lúčom pri súčasnom odoberaní materiálu rezným nástrojom. Táto metóda zvyšuje trvanlivosť reznej hrany o 400 % a rýchlosť obrábaného materiálu o 60 % pri obrábaní vysokolegovaných materiálov.



1 – plazmový horák

2 – plazmový lúč

3 – rezný nástroj

4 – obrobok

Obrábanie pomocným plazmovým lúčom pri sústružení

Orovnávanie brúsnych kotúčov koncentrovaným lúčom

Koncentrovaný lúč dopadá priamo na brúsny kotúč. Prídavný plyn pod tlakom podporuje odstraňovanie nadbytočných súčiastok vzhľadom na kotúč.

8.7. Obrábanie laserovým lúčom

Existenciu stimulovanej existencie žiarenia predpovedal už Albert Einstein v roku 1917. Vlastný začiatok teórie lasera spadá do rokov 1953 až 1954 keď sovietsky a americký vedci rozpracovali nezávisle od seba počiatočnú teóriu stimulovanej emisie žiarenia (prvý zosilňovač pracuje v oblasti mikrovĺn). V priebehu 60. Rokov nastáva zdokonalenie žiarenia a označuje sa názvom laser (skratka LIGHT AMPLIFICATION BY STIMULATED EMISSION OF RADIATION = zosilnenie svetla s využitím stimulovanej emisie). Obrovský rozvoj v oblasti laserovej techniky nastal na začiatku 80. rokov. V súčasnosti sa asi 500 výrobcov na celom svete zaoberá výrobou a spracovaním laserom.

8.7.1. Princíp lasera

Laser je teda kvantový generátor svetla, v ktorom sa používa vyvolaná emisia (prechod atómu z vyššej na nižšiu hladinu spôsobuje cudzí fotón, pričom sa uvoľňuje kvantum energie). Dosiahne sa to napr. ožiarením vhodného aktívneho prostredia žiarením vybranej vlnovej dĺžky alebo bombardovaním elektrónmi. Uvoľnená energia atómov sa sústreďuje do lúčov. Proces sprevádza silný záblesk vo forme svetelného žiarenia. Pri dopade tohto žiarenia na nepriehľadný materiál nastáva premena svetelnej energie na tepelnú. Tým sa materiál miestne nahreje na teplotu niekoľko desaťtisíc °C, čím sa náhle roztaví a vyparí. Prvou podmienkou, ktorá musí byť splnená pre funkciu lasera, t.j. na získanie vynútenej emisie je čerpanie alebo vybudenie lasera.

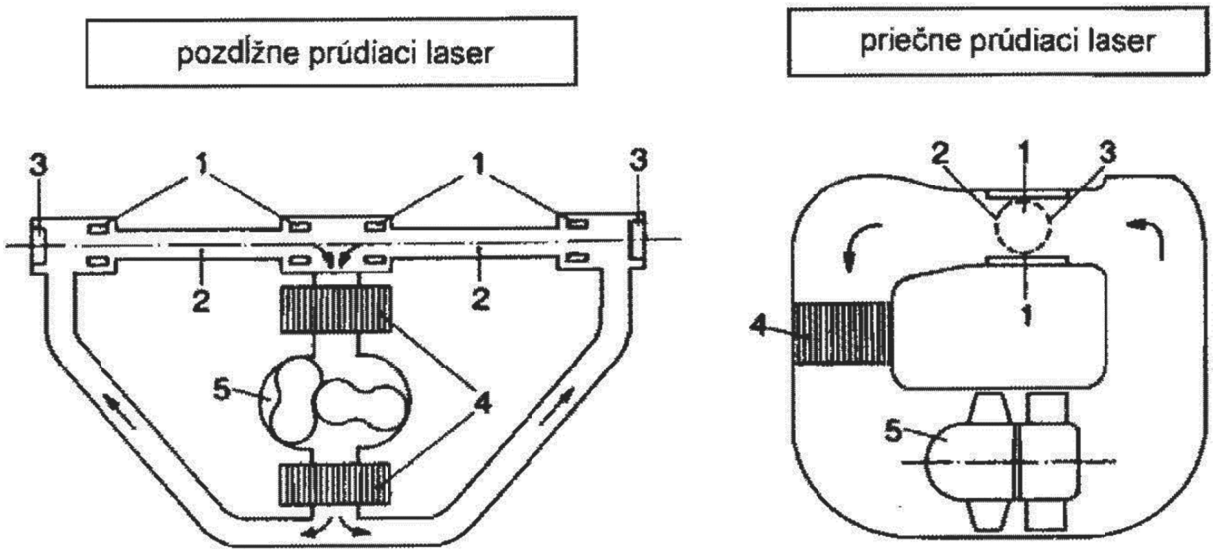
Druhou podmienkou na získanie laserovej emisie svetelného žiarenia je vhodný aktívny materiál.

8.7.2. Rezonátor

Sa skladá zo zrkadiel, obvykle kruhového tvaru, so spoločnou optickou osou a reflexnými povrchmi obrátenými proti sebe. Jedno zo zrkadiel býva väčšinou nepriepustné (odrážavosť sa blíži k 100%). Druhé zrkadlo polopriepustné slúži ako optická väzba. Jeho odrážavosť je menšia než 100% a časť žiarenia vystupuje vo forme sústredeného optického zväzku minimálnou divergenciou. Jedna strana zrkadla je pokrytá odrazovou vrstvou. Pri úplne odrazovom zrkadle je možné použiť opticky leštený povrch zrkadla.

Laserové zariadenia CO_2 sa delia do dvoch skupín:

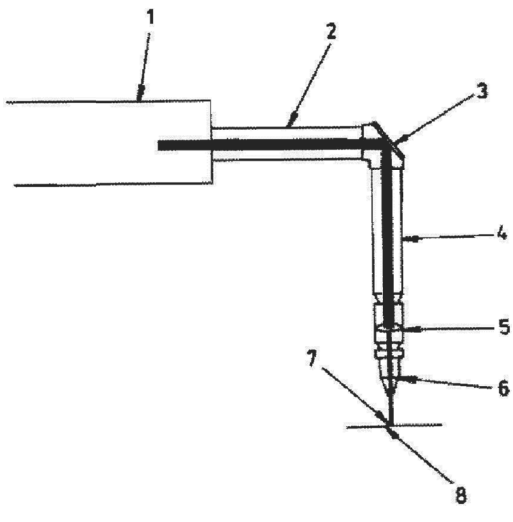
- fast axial flow – rýchlo osovo pozdĺžne čerpané systémy,
- GTL – gas transport laser – lasery čerpané v priečnom smere k osi optického rezonátora



1 – elektródy, 2 – priestor pre výboj, 3 – rezonančné zrkadlo, 4 – chladič, 5 – ventilátor

8.7.3. Základné časti lasera

Rezonátor obsahuje odrazové a prenosné zrkadlá s odrazovosťou 100 %. Tieto zrkadlá usmerňujú fotóny na zaostrenú optiku, ktorá zaostruje lúč na objekt technologického spracovania.



1 – laserový zdroj

2 – predlžovacia trubica

3 – zrkadlo

4 – predlžujúca trubica

5 – zaostrujúce šošovky

6 – dýza

7 – minimálny priemer lúča

8 – objekt

Usporiadanie koncového člena priemyselného lasera

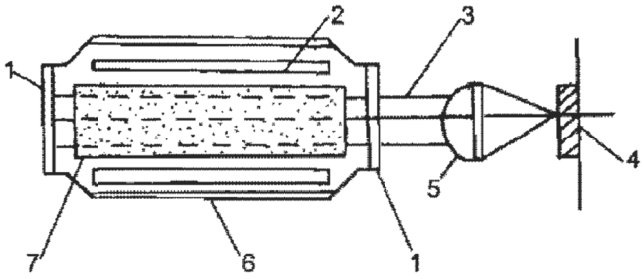
Po dopade laserového lúča sa časť energie odráža a časť je pohltená. V hĺbke niekoľko desatín μm sa vytvára vysoko teplotná zóna žiarenia. Na začiatku prevláda kvázi statická fáza, ktorá končí prechodom tuhého skupenstva na tekutú prehriatu fázu a nastáva proces odparovania. V malej miere sa prejavuje aj plastická deformácia. Žiarenie lasera je fokusačou optikou sústredené na povrch materiálu na dosiahnutie požadovanej hustoty výkonu nevyhnutnej na jeho spracovanie.

Zdroj energie	Priemer lúča (μm)	Hustota výkonu ($W.cm^{-2}$)
slnečné svetlo	~100	5
elektrický oblúk	~100	103
laserové žiarenie	~3 - 5	109

Hustota výkonu a priemer laserového lúča.

8.7.4. Princíp činnosti rubínového lasera

Rubínový laser v pevnej fáze pracuje najčastejšie v impulznom režime. Tyčka z aktívneho materiálu (synteticky kryštálový rubín Al_2O_3 s prímesou okolo 0,05 % chrómu vo forme oxidu chrómitého Cr_2O_3) je ožarovaná zo strán svetlom xenónovej výbojky, ktorá vydáva krátke záblesky.



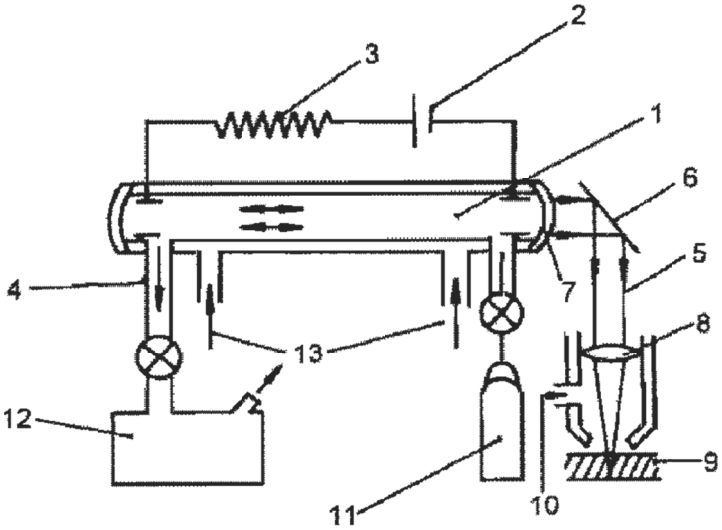
1 – reflexné zrkadlo
2 – xenónová výbojka
3 – laserový lúč
4 – obrobok
5 – polozrkadlo
6 – dutinová trubica (odraz z pozlátenia)
7 – laserový prvok (optický aktívny ión)

Princíp činnosti lasera v pevnej fáze – rubínový laser

8.7.5. Kontinuálny plynový laser

Princíp lasera v neutrálnom prostredí molekúl CO_2, resp. v zmesi týchto molekúl z dusíkom (N_2) a niektorým ďalším plynom napr. (He) je v tom, že funkčný mechanizmus vzniká v základnom elektrónovom stave medzi rotačnými hladinami dvoch rôznych vibračných javov. Laser sa skladá z kremíkovej trubice naplnenej vhodným plynom (zmes plynov CO_2, N_2, He) za veľmi nízkeho tlaku aby mohol nastať výboj.

CO_2 lasery majú vysoké výstupné výkony a najlepšiu účinnosť prevodu elektrickej energie na energiu svetelnú (10 – 15 %) v porovnaní s inými typmi technologických laserov.



1 – laserová trubica naplnená plynom
2 – zdroj elektrickej energie
3 – tlmiaci odpor
4 – tok plynu
5 – laserový lúč
6 – zrkadlo
7 – polopriepustné zrkadlo
8 – šošovka
9 – obrobok
10 – výfukový plyn
11 – plynový valec (He – N_2 – CO_2)
12 – odsávacie čerpadlo
13 – chladiaca kvapalina

8.7.6. Obrobiteľnosť materiálov

Najvýznamnejšími materiálovými spracovateľskými parametrami sú absorbcia, tepelná vodivosť a charakteristické parametre pre dané technologické parametre. Absorbcia za normálnych podmienok závisí od vlnovej dĺžky a hustoty výkonu laserového zariadenia a od teploty materiálu v mieste dopadu laserového zväzku. Odraz a tepelná vodivosť sú prevažujúcimi mechanizmami strát pri spracovaní materiálu.

Reznosť materiálov laserovým lúčom závisí predovšetkým od ich absorbčnej schopnosti:

- nekovové materiály (plasty, guma, keramika, drevo atď.) absorbujú laserový lúč pomerne dobre
- kovové materiály ho absorbujú v podstatne menšej miere a pritom proces rezania podporuje prídavný kyslík
- materiály so silným reflexom žiarenia sa laserom rezať nedajú

8.7.7. Využívanie lasera na technické účely

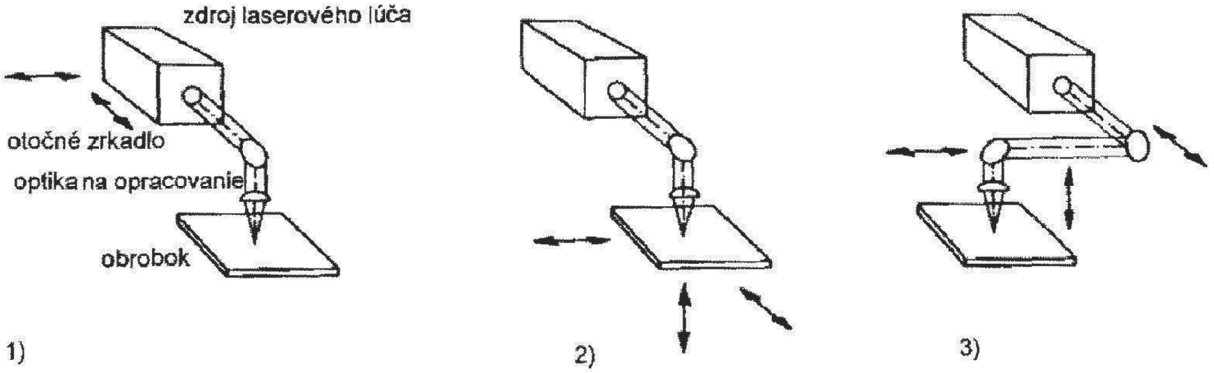
Pri základnom rozdelení prevádzky laserov na kontinuálne a impulzné sú jednotlivé typy laserov s ich charakteristickými hodnotami určené na využitie, ktoré sú uvedené v tabuľke.

Typ	Vlnová dĺžka (µm)	Výkon (W)	Účinnosť (%)	Využitie
CO_2	10,6	50 – 15000	10 - 15	zváranie, rezanie, povrchová úprava
Nd-YAG	1,064	0,04 - 600	0,1 - 2	zváranie, rezanie

Využitie lasera je najmä v oblasti presného a jemného obrábania a vo všetkých odvetviach priemyslu. Použitie:

- rezanie materiálu
- vŕtanie otvorov
- značkovanie a popisovanie
- zváranie materiálu
- tepelné spracovanie, nanášanie povlakov, lakovanie

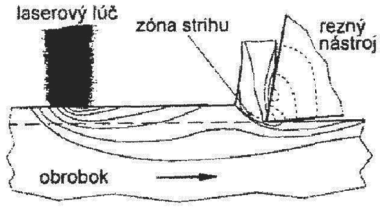
Programovanie tvarových plôch pri rezaní a obrábaní



1. Laserová hlavica a jej optický systém na manipuláciu s lúčom sa pohybujú a obrobok je stabilný.
2. Obrobok sa pohybuje a laserová hlavica aj optický systém na manipuláciu s lúčom sú stabilné
3. Optický systém na manipuláciu s lúčom sa pohybuje a laserová hlavica aj obrobok sú stabilné.

8.7.8. Sústruženie s predohrevom pomocou lasera

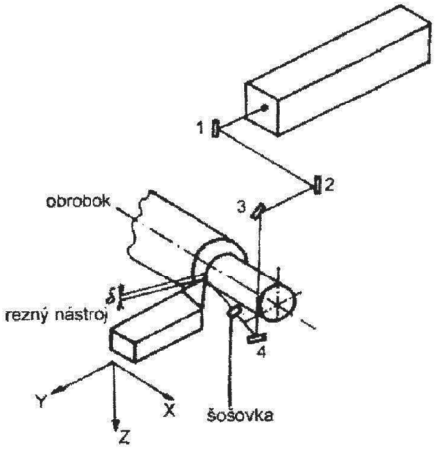
Pri sústružení s predohrevom pomocou lasera sa trieska odoberá klasickým rezným nástrojom po lokálnom predohreve obrábaného materiálu laserom. Ohrev materiálu v strihovej rovine má významný vplyv na zväčšenie množstva odobratého materiálu, predĺženie životnosti rezného nástroja, zmenšenie rezných síl a zlepšenie drsnosti povrchov obrobku.



znaky procesu:

- *kontinuálne zahrievanie materiálu*
- *trieskové obrábanie zmäkčeného materiálu*

Princíp laserom podporovaného sústruženia



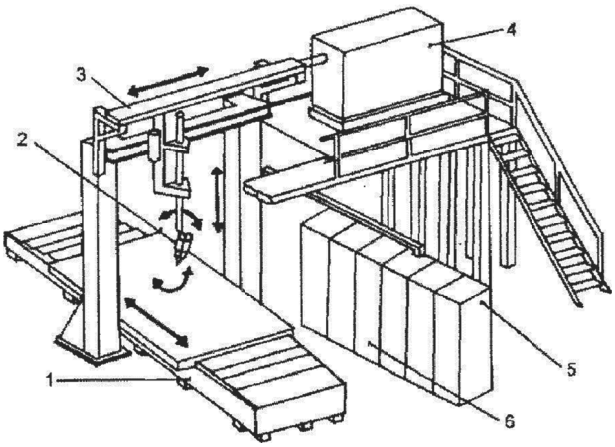
1 – 4 – sústava zrkadiel

Sústruženie s predohrevom pomocou lasera (LAM)

8.7.9. Laserové systémy pri obrábaní materiálov

Pri obrábaní materiálov sa delenie laserovým lúčom nasadzuje v priemysle v čoraz väčšej miere. Trh ponúka kompletné 3D rezacie zariadenia v ktorých je zabudovaný CO_2 laser.

CNC laserové rezacie centrá lasercutter sú určené na vysokorýchlostné a veľmi presné rezanie plošných kovových a nekovových materiálov šírky 1000 a 1500 mm a dĺžky až 3000 mm. Základnú skladbu CNC laserových rezacích centier tvorí súradnicový rezací stroj typu LCM – 1500, CO_2 laser, laserová optická hlava, systém zrkadiel, CNC riadiaci systém, DMC 82 a elektrický rozvádzač. Súradnicové rezacie stroje využívajú princíp lietajúcej optiky v prenose laserového lúča systémom zrkadiel nad nepohyblivým rezacím polotovarom, čo umožňuje presné rezanie aj tvarovo zložitých súčiastok pri zanedbateľnej tepelne ovplyvnenej zóne a dobre kvalite rezaných plôch.



1 – jednoosový stôl

2 – laserová hlavica

3 – portálový robot

4 – laserový generátor

5 – laserový zdroj

6 – osová CNC riadiaca jednotka

Portálový systém s laserom

8.8. Obrábanie ultrazvukom

Základné pojmy o ultrazvuku

Mechanické kmity a vlny nad 20 kHz sa nazývajú ultrazvukové (nadzvukové), kým frekvencie kmitov na 16 Hz sa nazývajú infrazvukové (podzvukové). Najvyššie frekvencie vĺn až do 10^{10} kHz, ktoré sa podarilo vybudiť v kryštáloch a kvapalinách sú porovnateľné napr. s tepelnými kmitmi molekúl tuhej fázy. Táto frekvenčná oblasť kmitov a vĺn sa často nazýva hyperzvuková. Ultazvukové vlnenie sa môže šíriť v plynnom kvapalnom i pevnom prostredí.

Ultrazvukové vlnenie

Výsledkom je energia pružných deformácií, ktorá sa prenáša z jednej oblasti prostredia do druhých ako prúd s určitou priestorovou hustotou. Tento proces sa nazýva akustické žiarenie (postupné vlnenie). Ak vlnenie a jeho energia sú obmedzené na priestor kmitajúceho telesa (napr. ultrazvukového meniča), nazýva sa toto vlnenie stojaté (chvenie). Kmitajúce teleso na ultrazvukovej frekvencií vyžaruje do okolia ultrazvukové vlnenie, preto sa toto teleso volá ultrazvukový žiarič.

8.8.1. Fokusácia a koncentrácia ultrazvukového vlnenia

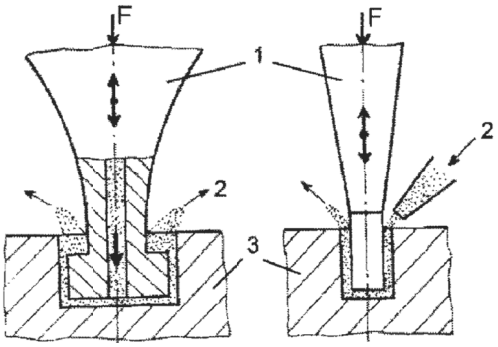
Pri aplikácií ultrazvuku v obrábaní je nutné dosiahnuť na určitom mieste veľkú intenzitu ultrazvukovej energie (20 až 100.10^4 $W.m^{-2}$). Toto možno dosiahnuť fokusáciou a koncentráciou ultrazvukového vlnenia. Pre oblasť vysokofrekvenčného ultrazvuku nad 100 kHz sa používajú šošovky a zrkadlá. Šošovky sa používajú na fokusáciu vo vyšších frekvenčných pásmach okolo 1 MHz. V nízkofrekvenčnom pásme aktívneho ultrazvuku pri fokusácií do 100 kHz, ktorý sa viac používa v porovnaní v vysokofrekvenčným ultrazvukom sa používajú mechanické transformátory koncentrátory.

Princíp ultrazvukového obrábania

Ultrazvukové obrábanie sa skladá z dvoch základných procesov:

- krehkého narušovania povrchových vrstiev materiálu
- proces cirkulácie brúsnych častíc a odstraňovanie produktov rozrušovania (kalu)

Brúsny prostriedok sa formou suspenzie s vodou alebo olejom privádza do pracovného priestoru pod čelnú plochu ultrazvukového nástroja, kmitajúceho frekvenciou 20 až 30 kHz (kvapalina tiež prenáša kmitavý pohyb z koncentrátora kmitov na brúsny prostriedok). Kmitajúci nástroj rozrušuje materiál pod spodnou rovnou plochou. V smere pohybu (kmitov) tejto plochy pôsobia sily na brúsny prostriedok, ktorý oddeľuje z materiálu triesky.



1 – nástroj

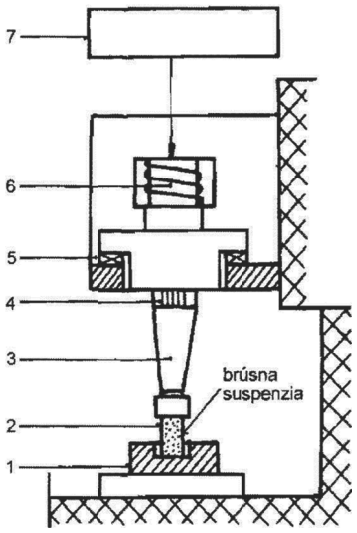
2 – suspenzia

3 – obrobok

Princíp ultrazvukového obrábania

8.8.2. Hlavné časti zariadenia na ultrazvukové obrábanie

Zdrojom ultrazvukovej energie je generátor elektrických striedavých prúdov s frekvenciami 20 – 30 kHz, výkonom až niekoľko kW. Elektrická kmitavá energia sa mení na mechanické kmity ultrazvukovým meničom, vibrátorom pracujúcim na princípe magnetostrikcie. V dôsledku magnetostrikcie sa jadro predlžuje a skracuje s frekvenciou zodpovedajúcou frekvencií budiaceho prúdu. Na menič 6 sa upevňuje koncentrátor 3, ktorý zvyšuje osovú amplitúdu kmitania. Na činnom konci je upevnený nástroj 2, ktorý kmitá amplitúdou 10 – 100 μm. Do priestoru medzi nástroj a obrobok sa vháňa cez trysku brúsna emulzia.



1 – obrobok

2 – nástroj

3 – koncentrátor (sonotróda)

4 – snímač frekvencie

5 – snímač sily

6 – magnetoiskričný menič (transduktor)

7 – generátor kmitov

Schéma zariadenia pre obrábanie ultrazvukom

8.8.3. Obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov ultrazvukom

Ťažkoobrábateľné materiály sú materiály žiarupevné, magnetické, antikorózne, antikavitačné ocele, tvrdé zliatiny, polovodičové materiály, keramika, diamant, rubín, kryštál kremenný, sital, ferit atď. Sú to materiály chemicky a tepelne odolné, so štruktúrou a optickou

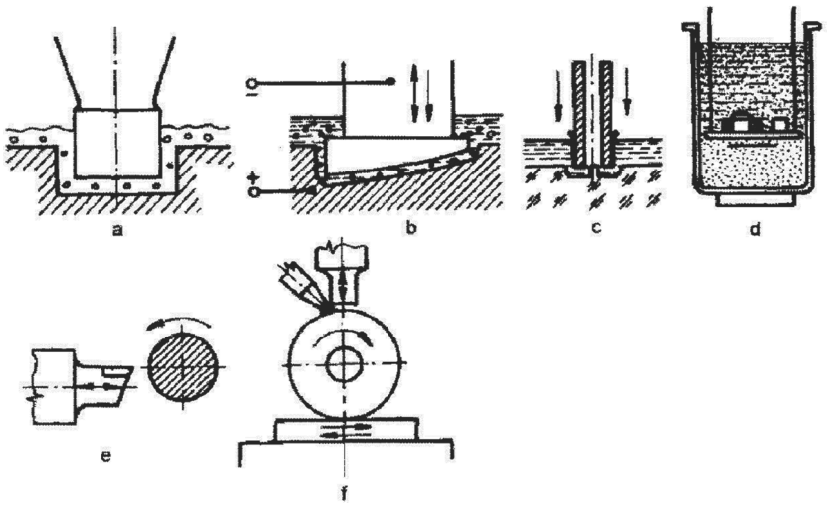
homogenitou a inými cennými vlastnosťami, podľa ktorých sú v súčasnosti nenahraditeľné rôznych oblastiach techniky.

Skupina materiálov	Materiál	Charakter porušenia	Oblasť použitia
Prvá	sklo, mikanit keramika, diamant, germánium, kremík, ferit a i.	krehký	výroba predmetov zo skla, kremenného kryštálu a minerálov v optickom a šperkárskom priemysle, obrábanie technických diamantov a špeciálnej keramiky, výroba súčiastok z polovodičových materiálov
Druhá	tvrdé zliatiny zakalené na vysokú tvrdosť, cementované a nitridované ocele, titánové zliatiny a i.	krehký po spevnení následkom plastických deformácií	výroba prievlakov z tvrdých zliatin, priestrižníkov a priestrižníc, obrábanie a montáž zložitých oceľových prievlakov a dýz, profilovanie a dokončovanie nástrojov z tvrdých zliatin
Tretia	mäkké ocele, olovo, meď a i.	porušenie sa prakticky nepozoruje	neodporúča sa obrábanie pri aplikácii ultrazvuku

Obrábateľnosť materiálov a oblasť použitia ultrazvukovej metódy obrábania

8.8.4. Technologické aplikácie

Ultrazvuk možno s výhodou uplatniť v nasledujúcich operáciách obrábania



a – rozmerové

b – kombinácia ultrazvukového a elektrochemického

c – ultrazvukové zahlbovanie

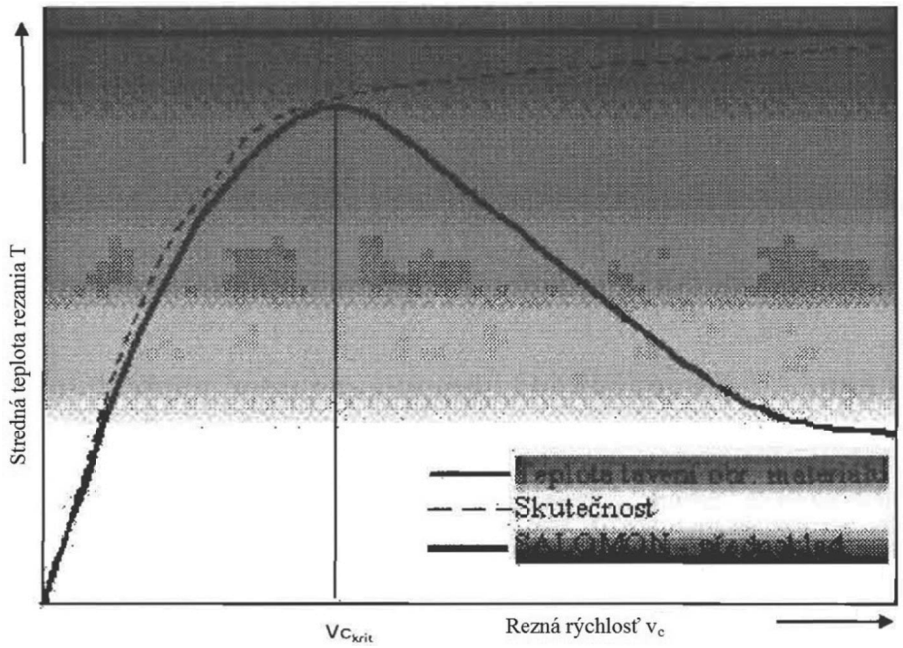
d – hydroabrazívne (ultrazvukové s voľným brusivom)

e – rezanie (sústruženie, vŕtanie)

f – čistenie pracovného povrchu brúsneho kotúča počas činnosti brúsok

9. HSC – vysokorýchlostné obrábanie (High Speed Cutting)

Zámerom je prekonať hranicu obecne nazvanú kritická rezná rýchlosť, ktorej odpovedá kritická rezná teplota, pri ktorej fréza nie je schopná odolávať vysokej teplote a silám. Za touto hranicou podľa predpokladu má dôjsť k zníženiu teploty rezania až na takú teplotu, ktorá bola pri bežnej reznej rýchlosti. Takto by opäť rezný proces mohol prebiehať normálne pri rovnakých teplotách rezania, ale s tým rozdielom, že by sa pohyboval v oblasti obrábania vysokými reznými rýchlosťami.



Závislosť strednej reznej teploty na rezné rýchlosti

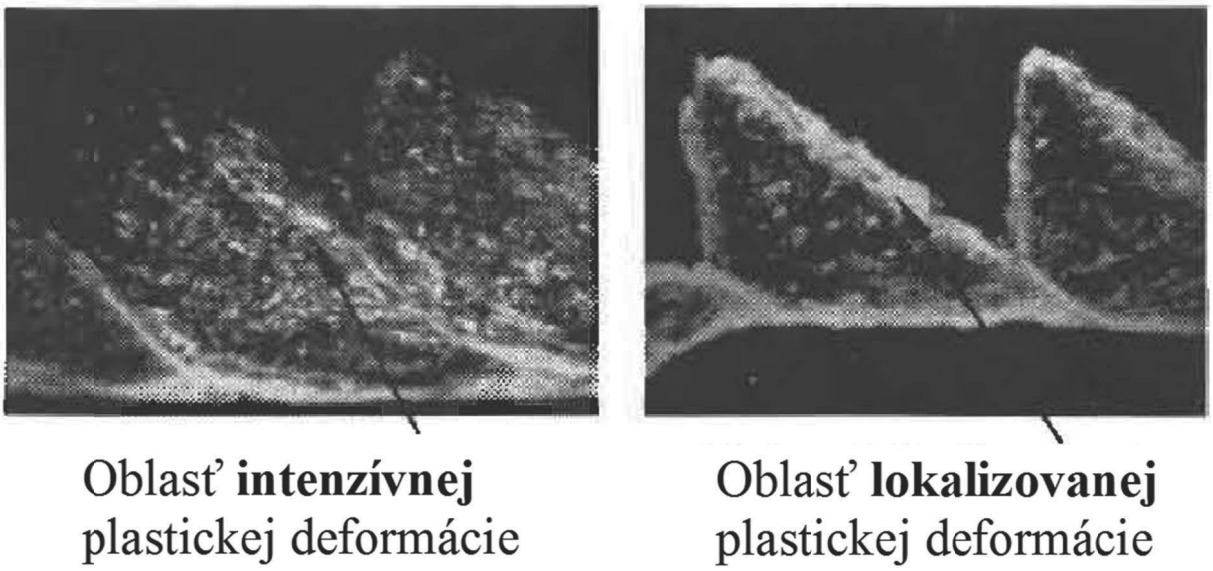
HSC technológia zahŕňa okrem vlastného vysokorýchlostného obrábania i tzv. suché a tvrdé obrábanie.

- vysokorýchlostné obrábanie využíva pre oceľ rezné rýchlosti 500 – 1000 m/min
- tvrdé obrábanie – obrábanie kalených ocelí nahrádza brúsenie
- suché obrábanie – minimalizuje použitie rezných kvapalín – redukcia výrobných nákladov

Keď uvažuje, že vznikne lokalizovaný šmyk pri tvorbe triesky za rastúcej teploty, vznikajúcej pri plastickej deformácií. Vysoká rezná rýchlosť v celej oblasti primárnej plastickej deformácie vytvárajú iba lokalizačné šmyky bez intenzívnej plastickej deformácie. Pojem obrábanie vysokými reznými rýchlosťami naznačuje len časť celej pravdy o tejto technológií, pretože sa nejedná len o zmienenú extrémne vysokú reznú rýchlosť ako sa zdá pri prvom pohľade na vec ale taktiež ide o vysoké rýchlosti posuvov. Jednoducho povedané, jedná sa o vysokovýkonné obrábanie, pri ktorom sa dosahuje veľkých objemov odobraného materiálu za časovú jednotku úberu. Týmito podmienkami je myslený spôsob obrábania a predovšetkým druh obrábaného materiálu, ktorý je tým rozhodujúcim faktorom určujúci príslušnú veľkosť reznej rýchlosti. Rezné rýchlosti pri ktorých ide obrábané materiály obrábať

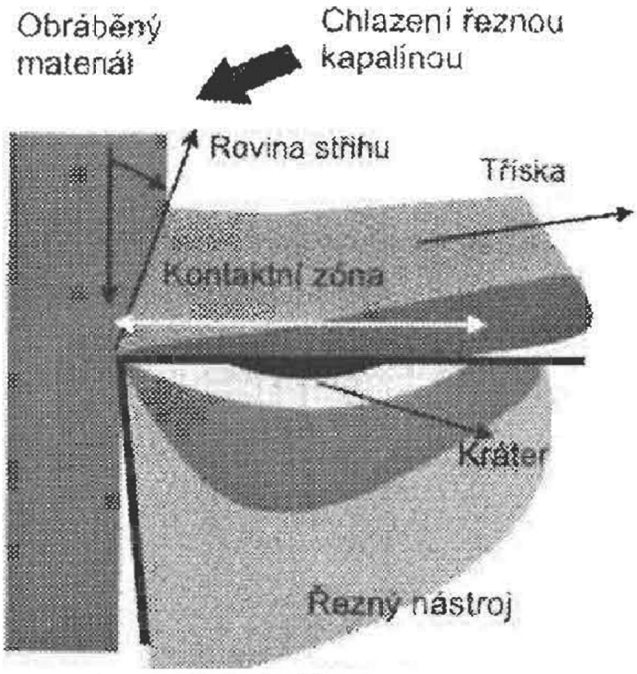
tak, aby bola dosiahnutá trvanlivosť rezného klinu sú veľmi rozdielne. Je napr. oveľa ľahšie obrábať hliníkovú zliatinu pri reznej rýchlosti asi 1800 m/min ako zliatinu titánu pri reznej rýchlosti 180 m/min.

Biela farba predstavuje plastickú deformáciu

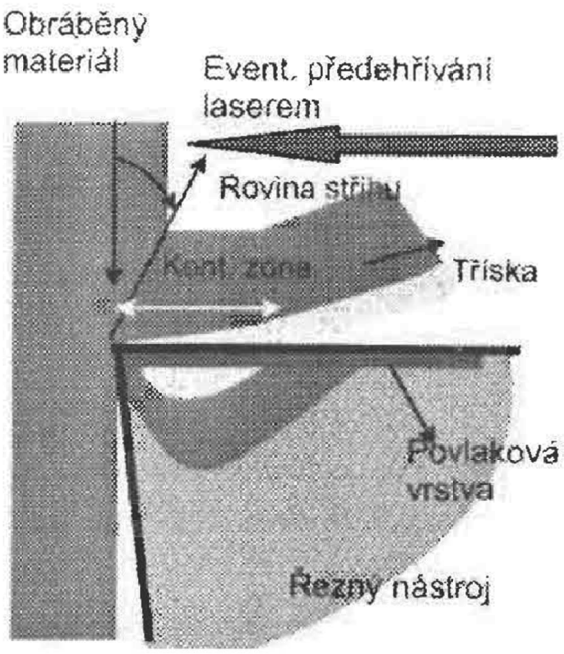


Rozloženie plastickej deformácie (metalografický výbrus koreňa triesky)

S rastúcou reznou rýchlosťou vzrastá celkové množstvo tepla rezného procesu takmer úmerne s narastajúcou rýchlosťou šmyku triesky a intenzitou triesky o rezný klin. Plastickú deformáciu v rovine šmyku sa rázom skokovo mení jej teplota, ktorá ďalej rastie trením triesky o čelo rezného klina. Rozdiel vysokorýchlostného a konvenčného procesu vidieť z obrázkov.



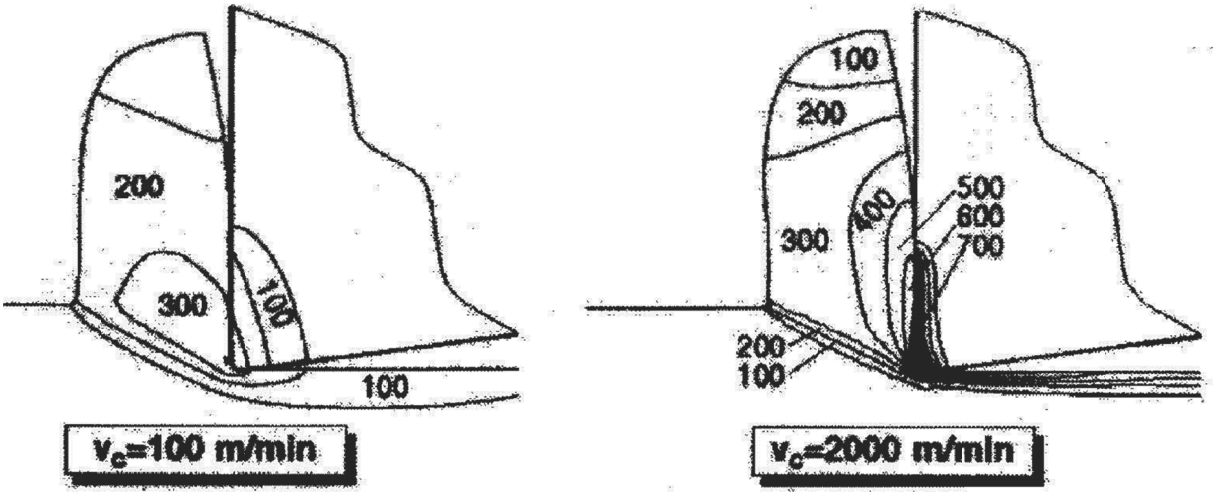
Konvenčné obrábanie



Vysokorýchlostné obrábanie

9.1. Procesné prostredie

Vyššia rezná teplota je pozitívnym faktorom a principiálnym zdrojom efektu vysokorýchlostného obrábania. Intenzívne chladenie rezného klina nástroja reznou kvapalinou nie je nutné ani žiadúce, lebo by zabránilo dosiahnutiu vysokorýchlostného režimu. Vlastný chladiaci účinok procesného prostredia dokonca zabraňuje vzniku HSC efektu (vychádzajúci z vysokej teploty rezania) a preto nie je žiadúci.



Teplotné pole pri tvorbe triesky pri rôznych rezných rýchlostiach

9.2. Geometria rezného klina

Pre dosiahnutie optimálnej trvanlivosti rezného klina a malých rezných síl je nutné používať najvhodnejšiu geometriu rezného klina. Keď pri HSC obrábaní hliníkových zliatin je uhol čela vhodný voliť v rozmedzí 12 – 17°, uhol chrbta medzi 13 – 15° a uhol sklonu skrutkovice medzi 20 – 25°, tak pre ťažko obrobiteľné ocele je optimálny uhol chrbta až 20°, uhol čela 0°.

9.3. Upínanie nástrojov

Najvhodnejšie je použiť tepelne zmrštitelný upínač, ktorý umožňuje rýchle upnutie a odopnutie monolitných tvrdokovových fréz s valcovou stopkou. Druhý spôsob upínania pomocou hydroplastickej hmoty. Tlak na hydroplastickú hmotu vytvoríme mechanicky, výhodnejší je hydraulický. Využitie Pascalovho zákona o šírení rovnomernosti tlaku zabezpečí celoplošné upnutie a súčasne aj vyváženie nástrojov.

9.4. Stavba HSC obrábacích strojov

V podstate ide o nové koncepčné riešenie strojov a všetkých častí. Nové stroje majú niekoľko násobne vyššie inštalované výkony a súčasne i veľký rozsah technológie a pružnosti vo výrobnom nasadení. Medzi najperspektívnejšie typy obrábacích strojov patria 3 – 5 osové obrábacie centrá na nerotačné obrobky a 4 – 5 osové sústružnícke centrá s multiprofesnými, prípadne multitechnologickými možnosťami na rotačné obrobky. Obvykle sa používajú

horizontálne HMC alebo vertikálne VMC centrá. Vysokorýchlostné obrábanie vyžaduje celkovo vysokú tuhosť sústavy S – N – O (Stroj – Nástroj – Obrobok). Jadrom koncepčného riešenia HSC strojov je riešenie rámov, ktoré musia byť ľahké a tuhé s vysokými vlastnými frekvenciami a dobrým tlmením mechanických šokov a vibrácií. Súčasťou rámu sú priamočiare vedenia, prípadne otočné uloženia, pri ktorých je požadovaná vysoká tuhosť a minimálne trenie pri vysokých posuvových rýchlostiach. Pri HSC obrábaní nastáva vysoký nárast celkového procesného tepla, ktorého prevažná časť odchádza trieskou, preto musí byť zabezpečené rýchle odstraňovanie triesok z pracovného priestoru stola. Veľmi dôležitou časťou stroja pre HSC obrábanie je vreteno, na ktoré sú kladené nemalé požiadavky, čo sa týka počtu otáčok za minútu a veľkosti krútiacich momentov v oblasti nižších otáčok. Vretená pre účely HSC sú obvykle konštruované ako vretená s priamym integrovaným elektromotorom, teda bez mechanických prevodov. Otáčky vretien dnešných HSC strojov sa pohybujú v rozsahu 15 000 – 70 000 ot/min (firma PTW DU Darmstadt disponuje HSC frézovacími centrami vlastnej konštrukcie s otáčkami vretien presahujúcimi 100 000 ot/min) a výkony pri stredne vysokých otáčkach dosahujú hodnoty 20 – 50 kW.

Niektoré typické parametre pre vysokorýchlostné frézovanie

- rozsah otáčok vretena ≤ 40 000 ot/min
- výkon hlavného vretena > 22 kW
- programovateľný posuv 40 – 60 m/min
- rýchloposuv ≥ 90 m/min
- zrýchlenie/spomalenie > 2 g (rýchle lineárne motory)
- rýchlosť spracovania programového bloku 1 – 20 ms
- vysoká tepelná stabilita a tuhosť vretena – vysoké predpätie a intenzívne chladenie ložísk vretena

Ekonomické uplatnenie NC strojov vo výrobe

Medzi najdôležitejšie účinky možno zahrnúť

- rýchlu prispôsobivosť NC strojov pri prechode na iný výrobok a možnosť zlučovania operácií na jedno upnutie obrobku,
- presne kapacitné plánovanie, ktoré umožňuje vyššie využitie smenového časového fondu
- plynulé dovádzanie výrobkov, pričom je dodržaná ich stála akosť, tým že ich neovplyvňuje obsluha,
- možnosť uplatnenia vyšších foriem riadenia samočinným PC,
- skrátenie priebežnej doby výroby a zmenšenie rozpracovanej výroby
- možnosť použitia uschovaného riadiaceho programu pri opakovanej výrobe
- zmenšenie strojových časov použitím optimálnych rezných podmienok (prejaví sa zvlášť použitím adaptívneho riadenia),
- výrazne zvýšenie produktivity práce pri obvykle nižších požiadavkách na kvalitu obsluhy (viacstrojová obsluha a zvýšenie využitia smenovej a hodinovej výrobnosti),
- úspory na modeloch a prípravkoch (napr. vŕtacích a pod.),

- úspory kvalifikovaných pracovníkov
- možnosť výroby zložitých výrobkov a ich väčšieho sortimentu
- významné skrátenie doby pre zavádzanie nových výrobkov, čo pôsobí priaznivo na tempo technického rozvoja

Okrem toho pri aplikácií NC strojov dochádza k zníženiu fyzickej a psychickej námahy pracovníkov a zvýši sa kultúrna úroveň ich výrobného procesu. Okrem uvedených výhod majú NC stroje oproti konvenčným strojom niektoré nevýhody, a to predovšetkým vysoké nadobúdacie náklady, vyššie náklady na údržbu a zložitejšiu technickú prípravu výroby.

Súhrnné cvičenia

1. Definujte pojem HSC – vysokorýchlostné obrábanie z pohľadu reznej rýchlosti a teploty rezania.
2. Uveďte rozdelenie vysokorýchlostného obrábania.
3. Graficky znázornite oblasti deformácií a princíp odrezávania triesky pri konvenčnom a vysokorýchlostnom obrábaní.
4. Popíšte procesné prostredie a dosahované teploty pri tvorbe triesky pri v_c = 100 m/min a v_c = 2000 m/min.
5. Charakterizujte pojem optimálna trvanlivosť rezného klina a vhodnosť voľby geometrie rezného klina.
6. Definujte požiadavky na upínanie nástrojov a druhy upínačov.
7. Popíšte požiadavky na stavbu HSC strojov a niektoré typické parametre.
8. Definujte požiadavky na ekonomické uplatnenie HSC strojov vo výrobe.

10. ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

Ochrana ovzdušia podľa požiadaviek Európskej únie

Slovenská republika akceptuje všetky záväzky týkajúce sa ochrany ovzdušia, ktoré je nevyhnutné plniť so vstupom do Európskej únie. Slovenská republika požiadavky európskej únie zahrnula do nasledujúcich smerníc:

- smernica 96/62 o určovaní kvality ovzdušia
- smernica 1999/30 vzťahujúca sa na hodnoty limitov oxidu dusičitého, oxidov dusíka, tuhých znečisťujúcich látok a olova v ovzduší
- smernica 2000/69 týkajúca sa limitných hodnôt pre benzén a oxid uhoľnatý v ovzduší
- smernica 2002/3 týkajúca ozónu v ovzduší
- smernica 93/12 vzťahujúca sa na obsah síry v istých kvapalných pohonných hmotách
- smernica 1999/32 týkajúca sa znižovania síry v niektorých kvapalných palivách a meniacu smernicu 93/12
- smernica 98/70 týkajúca sa kvality benzínu a motorovej nafty ktorou sa mení a dopĺňa smernica rady 93/12
- smernica 99/13 EC o obmedzovaní prchavých organických zlúčenín vznikajúcich pri používaní organických rozpúšťadiel pri určených činnostiach a zariadeniach

Hluk

Hluk, ktorý je prenášaný vzduchom, spôsobuje hlavne doprava, využívanie strojov a nástrojov, reprodukovaná hudba a pod. S vysokými hladina mi zvuku sa stretávame predovšetkým v mestách.

Do 30 dB napr. (padajúci dážď, rozhovor ľudí) nemá hluk vplyv na zdravie, od 30 dB do 65 dB môže pôsobiť rušivo napr. (hluk z továrne). Nad 65 dB pôsobí zdravotne nepriaznivo (vyvoláva neurotické problémy), nad 90 dB vzniká poškodenie sluchu a nad 120 dB spôsobuje bolesť, trvalú hluchotu a v extrémnych prípadoch aj smrť. Určitým zvukom, ktoré spôsobujú poškodenie zdravia sa môže človek prispôsobiť – prestane ich vnímať napr. (ľudia žijúci blízko železnice nevnímajú hluk prechádzajúceho vlaku) hovoríme o habituovanom – návykovom hluku. Naopak niektoré zvuky (hluk) i pomerne slabej intenzity môže vyvolať pocit ohrozenia napr. (zvuk prechádzajúcej sanitky) hovoríme o emočnom zvuku. Návykový hluk sa môže zmeniť na emočný pri zmene našej životnej situácie (napr. chorobe), naopak emočne doprevádzaný sa stáva návykovým, ak získame dojem, že nás pôvodca tohto zvuku neohrozuje.

Prípustná hodnota hluku v SR 60 dB pre dennú dobu a 50 dB pre nočnú dobu. Podľa poznatkov zdravotníctva hluková hladina 65 dB predstavuje hranicu od ktorej začína byť negatívne ovplyvňovaný vegetatívny nervový systém (nariadenie vlády SR č. 40/2002 Z.z. o ochrane ovzdušia hlukom a vibráciami).

Likvidácia odpadov

Zo všetkými vzniknutými odpadmi je nevyhnutné určitým spôsobom naložiť, a to tak, aby bol ich vplyv na životné prostredie minimalizovaný. V súčasnosti je vo väčšine štátov najviac rozšíreným spôsobom skládkovanie. Okrem skládkovania odpadov sa využíva najmä ich spaľovanie v špeciálnych spaľovňách odpadov. Menej využívaná je fyzikálno – chemická a biologická úprava odpadov, ktorá sa najviac týka odpadových kyselín, hydroxidov a koncentrátov a odpadu zo spracovania ropy. Väčšina odpadov v strojárskom priemysle ako chladiacich a mazacích kvapalín sa recykluje a opätovne sa využíva na určené účely. Odpadové chladiace kvapaliny sa môžu vypúšťať do prírody a vodných tokov len s podnikových čistiarní odpadových vôd.

Odpady v Slovenskej republike

Situácia v odpadovom hospodárstve sa tak ako v každom inom sektore priebežne mení, preto stav v odpadovom hospodárstve je vždy zachytený v aktuálnej správe o stave životného prostredia v SR, ktorá je vydaná zhruba do 6 mesiacov od skončenia príslušného kalendárneho roku.

Najviac nebezpečných odpadov produkujú v SR priemyselné odvetvia najmä z chemickej a strojárskej výroby. Odpadové hospodárstvo v SR je ovplyvnené mnohými medzinárodnými a vnútroštátnymi právnymi predpismi. Zákon je možné vyhľadať na internete – http://www.zbierka.sk.

LITERATÚRA

[1] HÁJÍČEK, J. – KOMÍŽ, S.: Technológia strojového obrábania III. Bratislava, Alfa 1990

[2] SKOPEČEK, T. – VODIČKA, J.: Základy vysokorychlostního obrábění - HSC. Plzeň, Západočeská univerzita 2005, ISBN 80-7043-344-2

[3] MIČIETOVÁ, A.: Nekonvenčné metódy obrábania. Žilina, EDIS – vydavateľstvo ŽU 2001

[4] VÁVRA, P. – LEINVEBER, J.: Strojnícke tabuľky. Bratislava, Alfa 1992