Peter POKORNÝ
Witold BIAŁY

OBRÁBANIE NA CNC STROJOCH

KOMAG GLIWICE 2024

ISBN: 978-83-65593-43-6

OBRÁBANIE NA CNC STROJOCH

Peter POKORNÝ

Witold BIAŁY

ISBN: 978-83-65593-43-6

Gliwice 2024

Autori:

Doc. Ing. Peter POKORNÝ, PhD.
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Ústav výrobných technológií
Katedra obrábania a počítačovej podpory technológií
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Trnava, Slovensko

Dr. hab. inż. Witold BIAŁY, prof. ITG KOMAG
Instytut Techniki Górniczej, KOMAG
Gliwice, Polsko

Recenzenti:

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

doc. Ing. Ivan ZAJAČKO, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Žilina, Slovensko

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

Autori: © Peter Pokorný – Witold Biały
Všetky práva vyhradené.

Učebnica je dostupná v elektronickej verzii.
Odkaz na stránku:
https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2024.6

ISBN: 978-83-65593-43-6

OBRÁBANIE NA CNC STROJOCH

Vysokoškolská učebnica

Peter Pokorný[1] (https://orcid.org/0000-0002-5804-8061)
Witold Biały[2] (https://orcid.org/0000-0003-2313-0230)

[1] Ústav výrobných technológií, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave

[2] Instytut Techniki Górniczej, KOMAG Gliwice

* Korešpondenčný autor e-mail: peter.pokorny@stuba.sk

Poďakovanie

Obsah vysokoškolskej učebnice tvorí komplexné, systematické zosumarizovanie a predstavenie teoretických, praktických skúseností a poznatkov autorov. Je určená univerzitným študentom a inžinierom v praxi, zaoberajúcim sa obrábaním na CNC strojoch.

Vysokoškolská učebnica bola spracovaná s finančnou podporou Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky 001STU-4/2022 s názvom „*Podpora dištančnej formy vzdelávania formou on-line prístupu pre vybrané predmety študijných programov počítačovej podpory*“.

Predhovor

Vysokoškolská učebnica je venovaná problematike obrábania na CNC strojoch. V súčasnej strojárskej výrobe má obrábanie nezastupiteľné miesto. Všetky výrobky musia mať predpísanú presnosť a kvalitu.

Cieľom vysokoškolskej učebnice je poskytnúť študentom a odborníkom v praxi komplexné vedomosti o CNC obrábaní (nielen programovanie stroja – písanie programu a simulácia programov v CAM). K realizácii obrábania na CNC stroji sú potrebné širšie vedomosti, týkajúce sa hlavne ustavenia, upínania nástrojov a obrobkov, chladenia pri obrábaní, merania nástrojov a obrobkov či automatizačnej techniky v CNC strojoch.

Veríme, že študijný materiál bude slúžiť nielen ako zdroj znalostí pre študentov strojárskych odborov I, II a III stupňa vysokosškolského štúdia, ale aj ako užitočná príručka pre inžinierov, ktorí sa chcú neustále vzdelávať a zlepšovať svoje schopnosti.

Želáme príjemné štúdium.

Autori

Obsah

Úvod **7**

1. Vývoj a rozdelenie CNC strojov **8**
1.1 Historické medzníky vývoja výrobných NC strojov 9
1.2 Generačný vývoj číslicovo riadených strojov 9
1.3 Vývoj NC strojov, riadiacich systémov a výrobných systémov 12
1.4 Rozdelenie CNC strojov 14
1.4.1 Rozdelenie podľa technológie 14
1.4.2 Rozdelenie hlavného rezného pohybu 19
1.4.3 Rozdelenie podľa spôsobu riadenia 19
1.4.4. Rozdelenie podľa usporiadania kinematiky 20
1.4.5 Rozdelenie podľa počtu riadených osí 24
1.4.6 Rozdelenie podľa možnosti realizovať viac operácií na jednom stroji 29

2. Technológia CNC obrábania **38**
2.1 Historický prehľad možnosti výroby plôch 38
2.2 Obrábaná plocha a obrábaný tvar 41
2.4 Ustavenie a upínanie 48
2.4.1 Ustavenie a upínanie obrobkov 50
2.4.2 Ustavenie a upínanie nástrojov 57
2.5 Vyvažovanie rezných nástrojov 64

3. Meranie na CNC strojoch **74**
3.1 Nástrojové dotykové meracie sondy 74
3.2 Obrobkové dotykové meracie sondy 77
3.3 Príklady aplikácie dotykových obrobkových sond 81
3.4 Bezdotykové meracie sondy na nástroj 84
3.5 Bezdotykové meracie sondy na obrobok 85
3.6 Odmeriavacie zariadenia CNC strojov 87
3.7 Presnosť CNC strojov 89

4. Chladenie a mazanie pri CNC obrábaní **94**
4.1 Účinky rezných kvapalín na obrábací proces 94
4.2 Požiadavky na rezné kvapaliny 98
4.3 Rozdelenie rezných kvapalín 99
4.4 Voľba reznej kvapaliny 99
4.5 Monitorovanie rezných kvapalín 101
4.6 Možnosti chladenia a mazania 104

5. Automatizácia pre CNC obrábacie stroje **112**
5.1 Automatizácia a jej vývoj 112
5.2 Automatizácia výrobných etáp 113
5.3 Automatizácia strojárskej výroby 119
5.4 Automatizácia obrábacích strojov 121

Úvod

Obrábanie na CNC strojoch má v súčasnej praxi nezastupiteľné miesto v praxi. Aj keď sa rôzne tvarové súčiastky vyrábajú rôznymi technológiami (tvárnenie, zváranie, odlievanie...) vždy je potrebná konečná úprava súčiastky, čo sa týka presnosti a kvality povrchu, ktorá je určená drsnosťou povrchu. A práve túto konečnú úpravu je potrebné zrealizovať CNC obrábaním. Predkladaná učebnica sa venuje problematike obrábania na CNC strojoch a je primárne zameraná na aplikáciu technológie frézovania. Je to z dôvodu smerovania vzdelávania študentov do navrhovania a výroby tvarovo zložitých plôch (zápustiek, lisovacích nástrojov, umeleckých plôch a rezných nástrojov). Cieľom autorov je poukázať na jednotlivé aspekty, ktoré sú v procese CNC výroby potrebné hlavne z praktického hľadiska. Jednotlivé kapitoly sa zaoberajú samotným rozdelením CNC strojov z rôznych hľadísk. Je tu spomenutý vývoj CNC strojov. Dôležitou kapitolou je technológia CNC obrábania. Snahou autorov je, aby sme sa vyhli mylnej predstave, že CNC obrábanie je iba zostavenie CNC programu a jeho simulácia. Sú tu zhrnuté poznatky, ktoré sú potrebné pre samotnú realizáciu CNC obrábania a bez ktorých nie je obrábanie možné. Začíname možnosťami výroby plôch, súvislosťou medzi obrábaným tvarom, tvarom nástroja a kinematikou stroja, pokračujeme potrebou upínania nástrojov a obrobkov až po vyvažovanie nástrojových zostáv, ktoré je potrebné pre presnosť výroby. Ďalšou problematikou je meranie na CNC strojoch. Bez realizácie merania na strojoch by sme nemohli zistiť rozmery nástroja a obrobku a aj samotný stroj je vybavený odmeriavacím zariadením prepojeným na riadiaci systém. Dôležitou súčasťou obrábania je chladenie rezného procesu, kde sa vyvíja veľké množstvo tepla. Na to slúžia rezné kvapaliny a ich aplikácia do procesu rezania. Je tu poukázane aj na ekologické aspekty používania rezných kvapalín. Záverečnou časťou je automatizácia obrábacích strojov a automatizačné prostriedky používané v CNC strojoch. Bez týchto prostriedkov by CNC stroj nefungoval.

Učebnica je určená predovšetkým na podporu výučby pre vybrané predmety študijných programov počítačovej podpory (Počítačová podpora výrobných technológií, a Počítačová podpora návrhu a výroby). Jej obsah je určený aj pre všetkých, ktorí realizujú a budú realizovať CNC obrábanie, primárne frézovanie.

1.

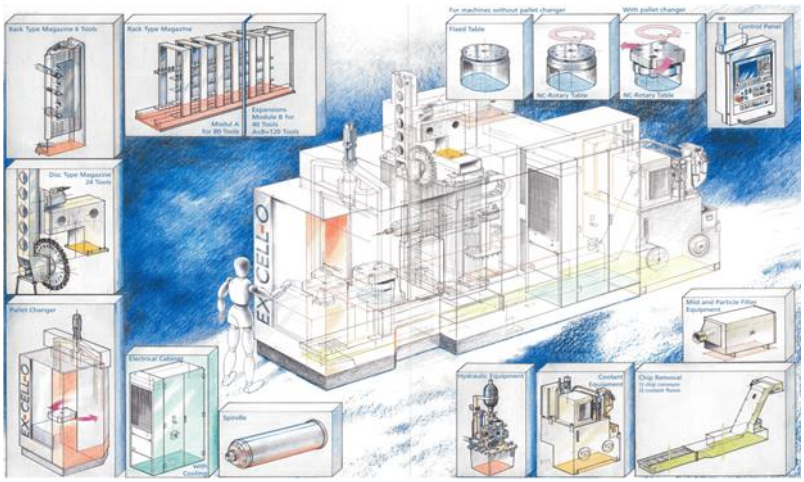
Vývoj a rozdelenie CNC strojov

Súčasné výrobné stroje sú nenahraditeľnou časťou hospodárstva. To platí pre všetky vyspelé štáty. Špeciálnou skupinou výrobných strojov sú CNC (Computer Numerical Control) obrábacie stroje. Tieto stroje sú totiž schopné vyrobiť samé seba („mother machines“). Je to v podstate zaužívaná firemná kultúra, kde výrobcovia obrábacích strojov používajú na výrobu svojich CNC strojov vlastné CNC stroje.

CNC stroj je v podstate stroj, ktorý má číslicové riadenie, je schopný pracovať v automatickom režime s automatickou výmenou nástrojov a obrobkov. Číslicové riadenie znamená, že informácie potrebné pre obrobenie súčiastky sú uložené vo forme numerických znakov s určitou hierarchiou, čo je CNC program. Hierarchia je usporiadanie jednotlivých znakov do riadkov, kde sú informácie o pohybe nástroja, alebo obrobku v závislosti od štruktúry stroja, informácie o súradniciach pohybu v rovine alebo priestore, rýchlostiach (hlavný rezný pohyb, vedľajší rezný pohyb) a podporné funkcie ako napríklad spustenie a zastavenie vretena, spustenie a zastavenie chladenia atď..

CNC stroj je zložený zo štyroch hlavných častí (obr. 1.1):

- Mechanická časť (realizuje pohyb medzi nástrojom a obrobkom)
- Elektrická časť (zabezpečuje vykonávanie príkazov v mechanickej časti)
- PLC (Programmable Logic Controller) (zabezpečuje komunikáciu CNC riadenia a mechanickej časti)
- Procesné médiá (chladenia mazanie, pneumatika, hydraulika, odvod triesok, ...)



Obr. 1.1 Hlavné časti CNC obrábacieho stroja (Marek 2024).

Pri vývoji výrobných NC strojov sa stretávame s pojmom generácia. To znamená jednotlivý vývojový stupeň, pod ktorým môžeme rozumieť jednotlivý periodický vývoj NC strojov, charakterizovaný novými konštrukčnými princípmi.

Ako príklad historického generačného vývoja si môžeme uviesť Massachusettsky technologický inštitút. Ten v roku 1948 zákazkou pre US-AIRFORCE vyvinul systém riadenia obrábacieho stroja počítačom. Základom vývoja tohto systému bola potreba výroby presných súčiastok pre rozvíjajúcu sa leteckú dopravu a kozmický priemysel.

Zo zložitých strojov sa postupne vyvíjali jednoduchšie obrábacie stroje, ktoré sa svojou presnosťou a ekonomickosťou rýchlo presadili.

V roku 1947 John Parsons prihlásil a realizoval svoj vynález. Tento rok môžeme považovať za vznik prvého číslicovo riadeného stroja.

1.1 Historické medzníky vývoja výrobných NC strojov

- 1947 John Parsons - prihlásenie prvého obrábacieho číslicovo riadeného stroja,
- 1952 prvý NC obrábací stroj vyrobený v MIT (USA), vznikol úpravou konvenčnej konzolovej frézovačky,
- 1957 prvý NC obrábací stroj s vertikálnym vretenom (Cincinati Hydrotel),
- 1960 predstavenie NC strojov na Hannoverskom veľtrhu,
- 1965 systém automatickej výmeny nástrojov,
- 1970 systém automatickej výmeny obrobkov,
- 1972 prvé CNC riadiace systémy,
- 1979 externé programovacie systémy (PC, DNC),
- 1985 grafické zadávanie CNC programov,
- 2000 pripojenie CNC systémov na celosvetovú internetovú sieť.
- 2000 – 20xx zdokonaľovanie uzlov (tuhosť, dynamika) strojov, materiálov pre súčasti strojov, zvyšovanie rýchlostí pohybov a vretien, automatizácia obrábacích strojov, vývoj obrábacích CNC strojov vzhľadom na Priemysel 4.0, ...

1.2 Generačný vývoj číslicovo riadených strojov (Peterka, 2002):

1. **Generácia** – prispôsobovanie a doplňovanie konvenčných strojov s ručným ovládaním o číslicové riadenie.

Pri takto upravených strojoch, mechanická časť NC stroja je zhodná s mechanickou časťou konvenčných strojov s ručným ovládaním (nie je špeciálne konštruovaná). Stroje sú dopĺňané vlastnými riadiacimi systémami, ktoré často vyvíjal samotný výrobca stroja (obr. 1.2).

V tejto generácii NC strojov systémy riadili len dráhu a rýchlosť pohybu. Často dochádzalo k mechanickým poruchám z dôvodu, že takto upravené stroje neboli dimenzované na zmeny podmienok práce.

Obr. 1.2 Obrábací stroj doplnený o riadiaci systém a odmeriavanie (Timeway 2024).

2. Generácia – samostatné stroje s novou konštrukciou schopné splniť požiadavky, ako sú napríklad presnosť a tuhosť.

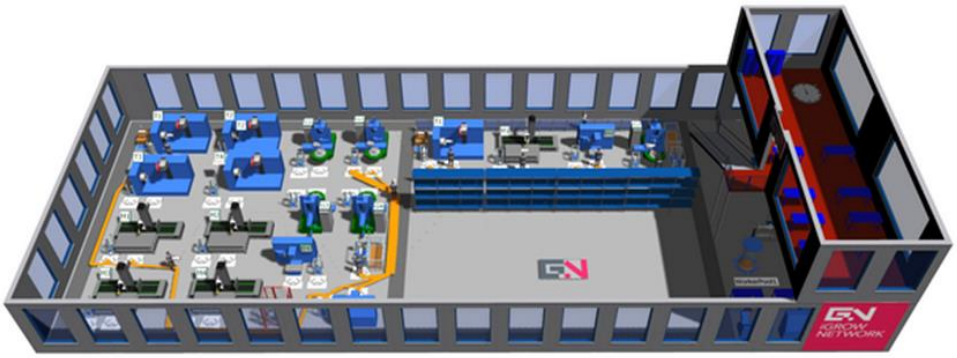
Riadiace systémy nevyrábajú samotní výrobcovia stroja, ale jednotliví špecializovaní dodávatelia systémov riadenia NC strojov (obr. 1.3).

Obr. 1.3 Samostatné stroje s novou konštrukciou (Timeway 2024).

Stroje 1. a 2. Generácie sú konštruované ako poloautomaty. Obrobok treba vkladať a vyberať ručne, pričom majú plne automatizované riadenie pohybu a rezných podmienok obrobku. Sú nevhodné na použitie v AVS (Automatizovaných Výrobných Systémoch).

3. Generácia – využitie vo výrobných bunkách a pružných výrobných systémoch.

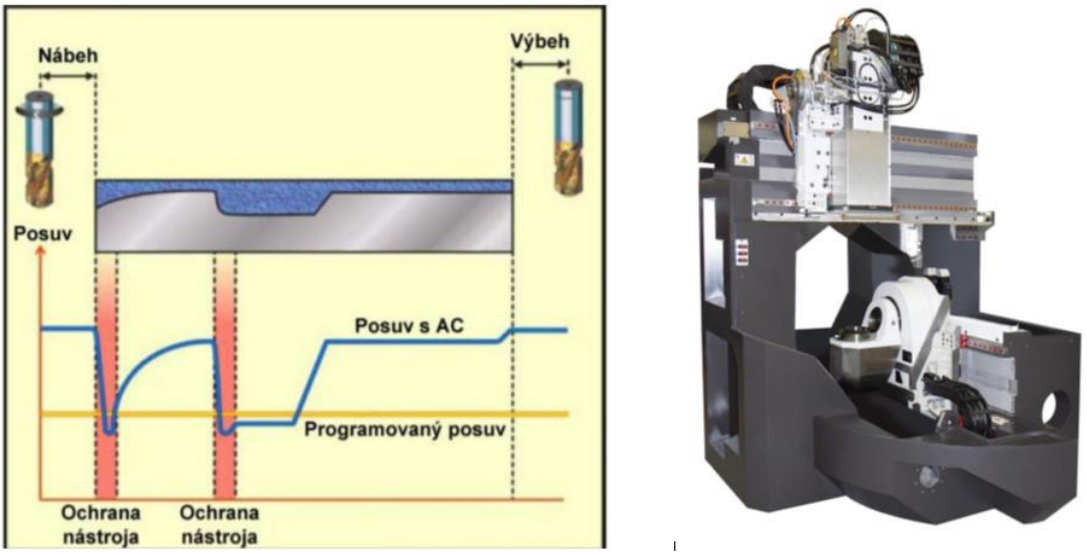
Zdokonalenie jednotlivých mechanických funkcií stroja a prechod na počítačové riadenie (obr. 1.4).



Obr. 1.4 Stroje v pružnom výrobnom systéme (Projektovanie 2024).

Vznikajú obrábacie centrá (viacúčelové CNC stroje). Obsahujú funkcie výmeny nástrojov, obrobkov a dopravu medzi jednotlivými operáciami a zvyšovanie rýchlosti posuvov. Obrábanie obrobku sa uskutočňuje prevažne na jedno upnutie v krátkych časových intervaloch.

4. Generácia – stroje so špeciálnou konštrukciou pre vysokorýchlostné obrábanie. Predpokladom tejto generácie je aplikácia adaptívneho riadenia samotného rezného procesu a inprocesnej kontroly rozmerov (obr. 1.5).



Obr. 1.5 Adaptívne riadenie a stroj pre vysokorýchlostné obrábanie (Vysokorýchlostné 2024).

1.3 Vývoj NC strojov, riadiacich systémov a výrobných systémov (Peterka, 2002):

Rozdelenie vychádza z použitej súčiastkovej základne na stavbu riadiacich systémov. Tie prešli dlhým vývojom, pričom sa v súčasnosti najviac využíva väzba na osobný počítač.

Rozdeľujú sa do nasledovných generácií:

1. Generácia – princíp vákuových elektróniek a ovládanie funkciami relé.
2. Generácia – princíp kremíkových tranzistorových obvodov.
3. Generácia – princíp integrovaných obvodov.
4. Generácia – princíp ovládania mikroprocesormi.
5. Generácia – princíp otvorenej architektúry stroja s využitím osobného počítača.

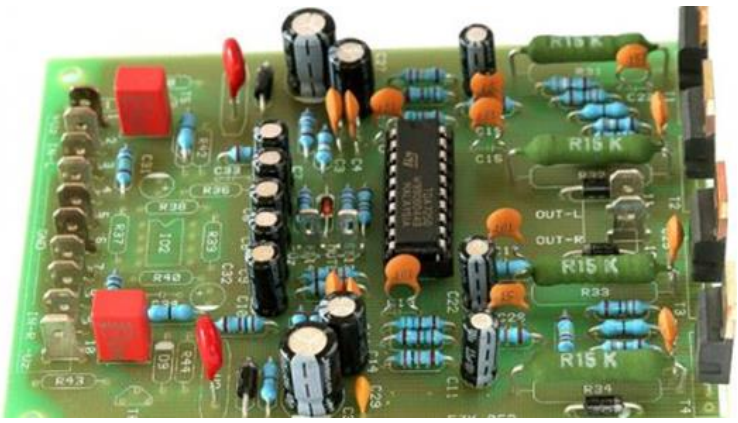
1. Generácia – princíp vákuových elektróniek (obr. 1.6) a ovládanie funkciami relé.

Najjednoduchším druhom elektrónky je dióda s priamym žhavením. Možno ju popísať ako žiarovku s pridanou ďalšou elektródou a anódou.

Elektrónkou preteká prúd, pretože dohodnutý smer v elektrických obvodoch je od kladného k zápornému pólu, hovoríme že prúd tečie z anódy ku katóde.

Obr. 1.6 Ukážka využitia elektrónky (WebSnadno 2024).

2. Generácia – princíp kremíkových tranzistorových obvodov (obr. 1.7).



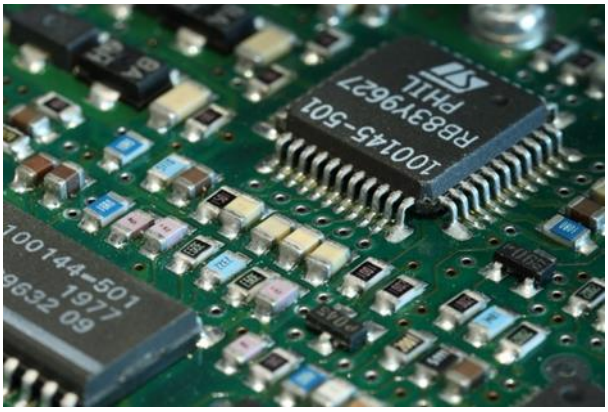
Obr. 1.7 Tranzistorový zosilovač (Tranzistorový 2024).

Pre logické obvody môžeme použiť tranzistor v zapojení so spoločným emitorom alebo kolektorom. Tieto logické obvody sú z hľadiska vývoja najstaršie. V súčasnosti sa už nepoužívajú. Mali veľkú spotrebu.

3. Generácia – princíp integrovaných obvodov (obr. 1.8).

Číslicové obvody pracujú so signálmi, ktoré majú iba dva stavy, vyjadrené z pravidla rozdielnymi úrovňami napätí.

Stavy signálu môžeme znázorniť ako číslo v dvojkovej sústave, t.j. v sústave čísel, v ktorých sú iba čísla 0 a 1. Z toho je odvodený názov číslicové obvody.



Obr. 1.8 Integrovaný obvod (Integrovaný 2024).

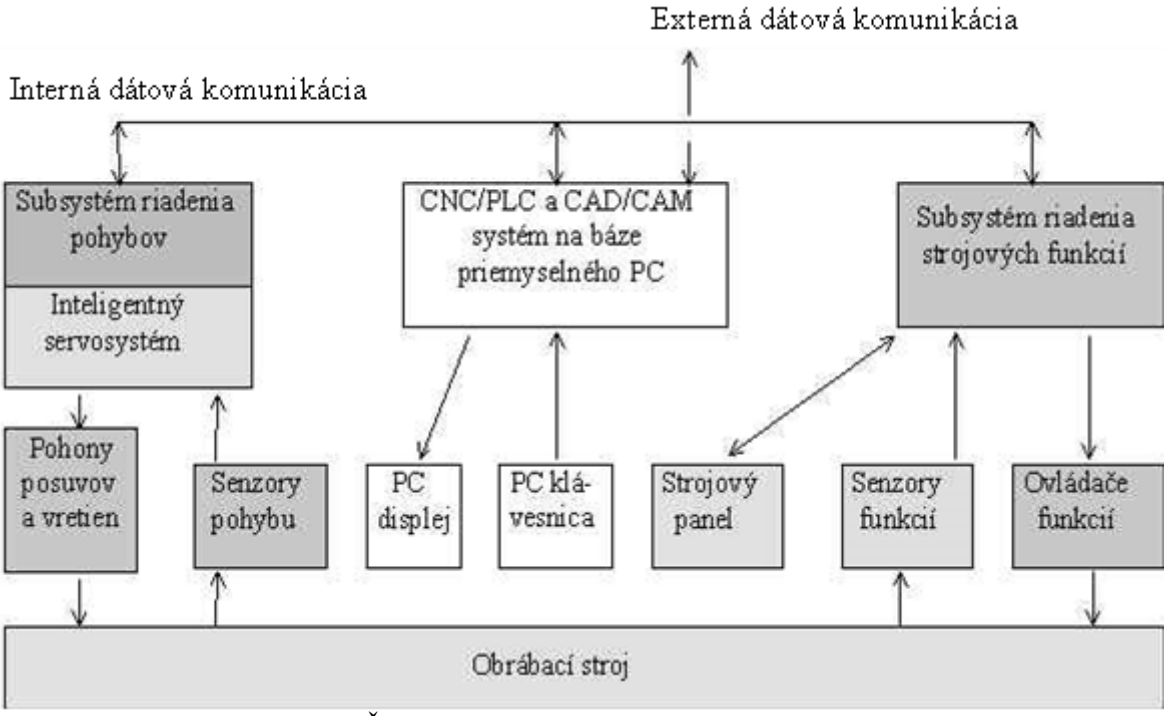
4. Generácia – princíp ovládania mikroprocesormi (obr. 1.9).

Mikroprocesor je elektronický obvod vyrobený technológiou veľmi veľkej integrácie a umiestnený na jednom integrovanom obvode, tzv. čipe (angl. chip). Riadený je programom uloženým v riadiacej pamäti. Obsahuje aritmeticko logickú jednotku (ALU), univerzálne a jednoúčelové registre a ďalšie obvody umožňujúce jeho pripojenie k iným obvodom.

Obr. 1.9 Ukážka mikroprocesora (Mikroprocesory 2024).

5. Generácia – princíp otvorenej architektúry stroja s využitím osobného počítača (obr. 1.10).

CNC systémy s otvorenou architektúrou a softvérovou kompatibilitou s dialógovými univerzálnymi operačnými systémami s grafickým rozhraním. V podstate ide vlastne o maximálne priblíženie celkovej zostavy CNC systému alebo aspoň jeho výraznej časti jednoprocesorovej štruktúre univerzálneho počítača.



Obr. 1.10 Štruktúra CNC systému s otvorenou architekturou.

1.4 Rozdelenie CNC strojov

Obrábacie stroje sa spravidla triedia (Velíšek 2001):

- podľa technológie,
- podľa hlavného rezného pohybu,
- podľa spôsobu riadenia.

Ďalej môžeme rozšíriť delenie CNC strojov:

- podľa usporiadania kinematiky,
- podľa počtu riadených osí,
- podľa možnosti realizovať viac operácií na jednom stroji.

1.4.1 Rozdelenie podľa technológie

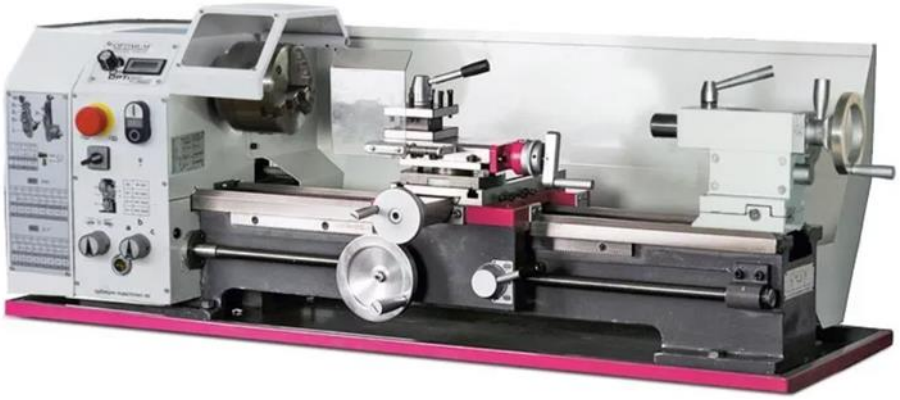
Obrábacie stroje môžeme rozdeliť podľa technologických operácií, ktoré sa na nich vykonávajú:

- Sústružnícke stroje (sústruhy),
- Frézovacie stroje (frézovačky),

- Vŕtacie stroje (vŕtačky),
- Hobľovacie stroje (hobľovačky),
- Obrážacie stroje (obrážačky),
- Vyvrtávaiue stroje (vyvrtávačky),
- Brúsiace stroje (brúsky),
- Stroje pre jemné dokončovacie operácie,
- Stroje na delenie materiálu (píly),
- Špeciálne stroje.

Sústružnícke stroje (sústruhy)

Na týchto strojoch (obr. 1.11) vykonávame operácie sústruženia.



Obr. 1.11 Stroj na sústruženie - sústruh (Stolní 2024).

Takto môžeme obrábať rôzne tipy plôch ako vonkajšie plochy, vnútorné plochy, čelné plochy a rotačné plochy. Ako nástroj sa používa sústružnícky nôž. Hlavný rezný pohyb je rotačný a vykonáva ho obrobok. V závislosti od konštrukcie stroja to môže byť rotácia okolo vodorovnej, alebo zvislej osi.

Frézovacie stroje (frézovačky)

Frézovaním obrábame rovinné alebo tvarové plochy nástrojmi s viacerými reznými hranami (obr. 1. 12). Hlavný rezný pohyb je rotačný a vykonáva ho rezný nástroj – fréza. Posuv je realizovaný v rovine kolmej na os nástroja, záleží však od štruktúry stroja a od možností pohybu nástroja, alebo obrobku.

Obr. 1.12 Stroj na frézovanie – frézovačka (Univerzálna 2024).

Vŕtacie stroje (vŕtačky) (obr. 1.13)

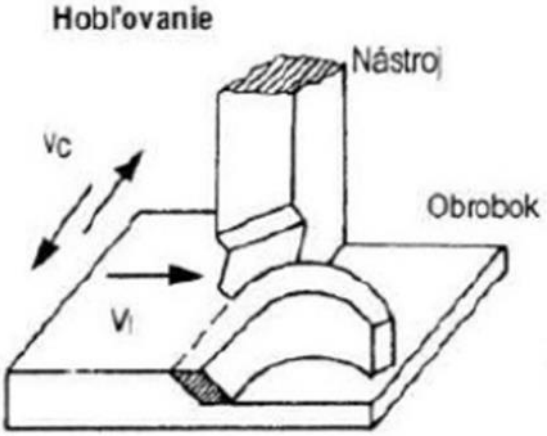
Vŕtanie je v podstate výroba otvorov. Otvory sú vyrábané dvojklinovým nástrojom vrtákom. Hlavný rezný pohyb je rotačný a vykonáva ho nástroj – vrták rotáciou okolo svojej osi a zároveň sa posúva v smere svojej osi. Stroj pre vŕtanie je na (obr. 1.13a). Ukážka ručnej vŕtačka je na (obr. 1.13b).

a) **b)**

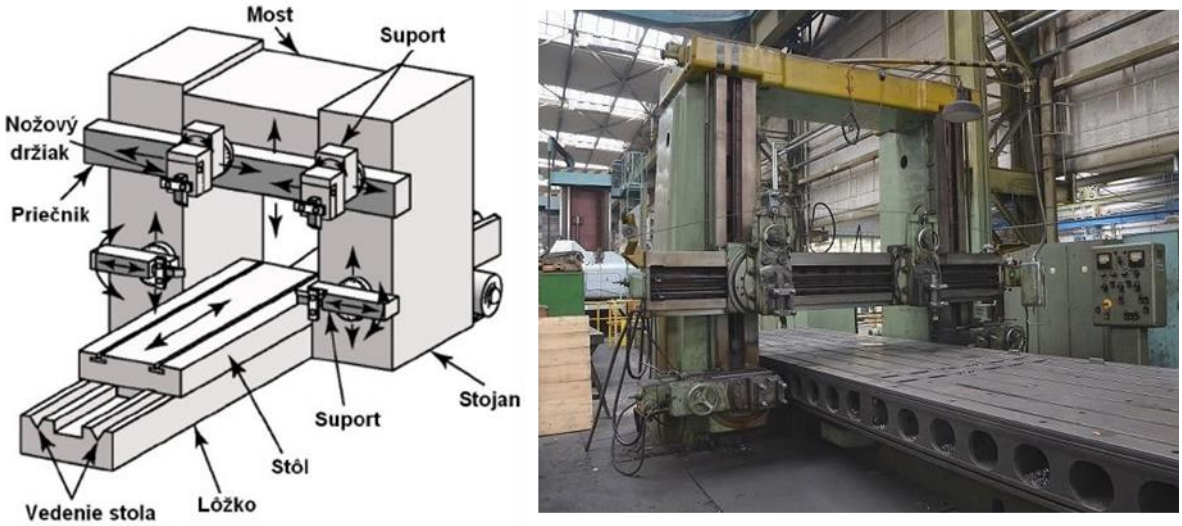
Obr. 1.13 Ukážka strojov na vŕtanie
a) stroj pre vŕtanie (Vŕtačko 2024), b) ručná vrtačka (MAKITA 2024).

Hobľovacie stroje (hobľovačky)

Tieto stroje sú určené pre obrábanie rovinných plôch. Operácia sa vykonáva jednoklinovým nástrojom. Hlavný rezný pohyb je priamočiary vratný a vykonáva ho obrobok. Nástroj vykonáva posuv v osi kolmej na hlavný rezný pohyb. Posuv je v tomto prípade prerušovaný a vykonáva sa v úvratiach vratného pohybu (obr. 1.14). Na obrázku (obr. 1.15) je zobrazený portálový hobľovací stroj.



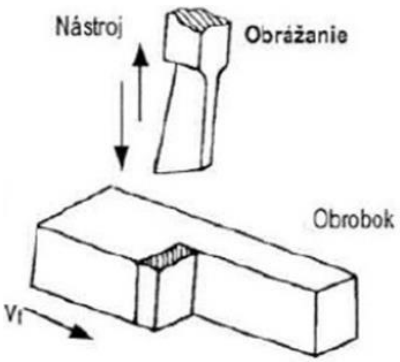
Obr. 1.14 Kinematika hobľovania (Velíšek 2001).



Obr. 1.15 Portálový hobľovací stroj (Technológia 2024, Portál 2024).

Obrážacie stroje (obrážačky)

Obrážacie stroje môžeme zaradiť do tej istej skupiny ako hobľovačky. Hlavný rezný pohyb je priamočiary vratný a vykonáva nástroj. Vedľajší rezný pohyb vykonáva stôl s obrobkom (obr. 1.16). Na (obr. 1.17) je CNC obrážací stroj.

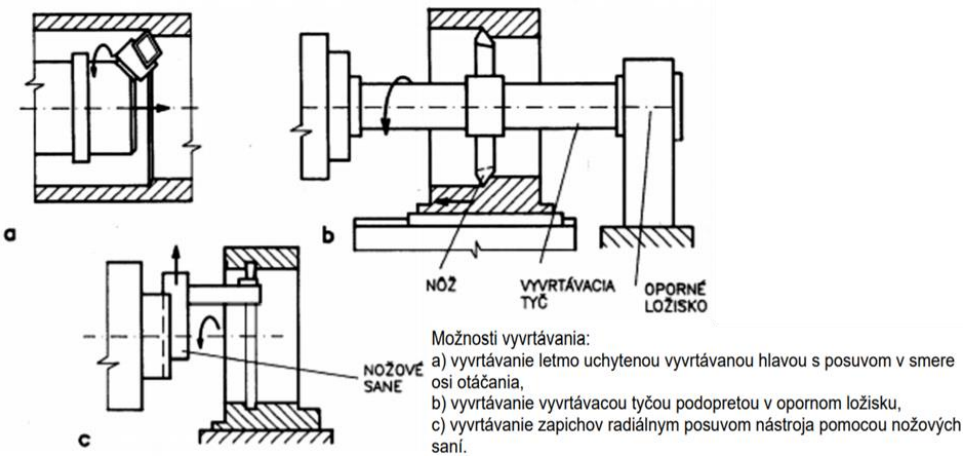


Obr. 1.16 Kinematika obrážania (Velíšek 2001).

Obr. 1.17 CNC obrážačka (CNC 2024).

Vyvrtávacie stroje (vyvrtávačky)

Vyvrtávanie je obrábanie dier jednoklinovým nástrojom, ktorý je upnutý vo vyvrtávacej tyči, alebo ramene. Hlavný rezný pohyb je rotačný a vykonáva nástroj (obr. 1.18). Na (obr. 1.19) je CNC vyvrtávací stroj.

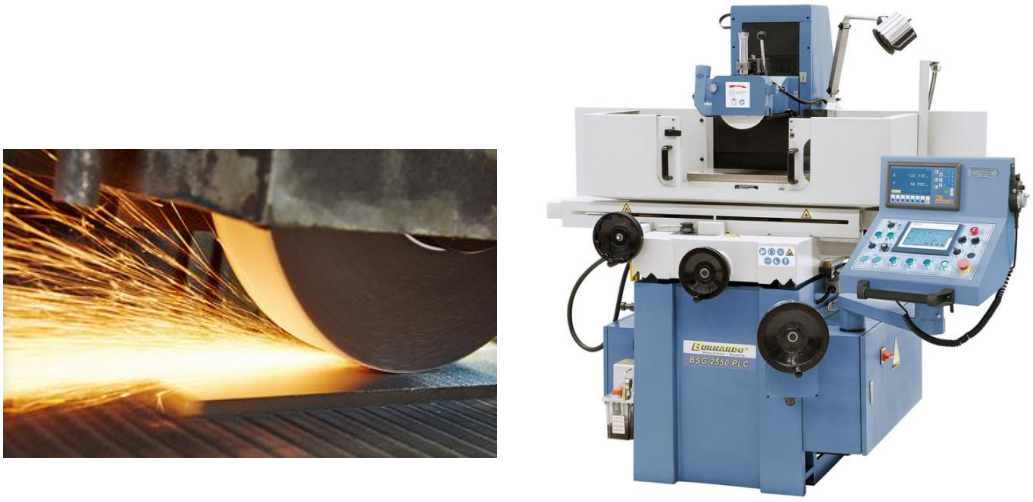


Obr. 1.18 Kinematika vyvrtávania (Velíšek 2001).

Obr. 1.19 CNC vyvrtávačka (Horizontální 2024).

Brúsiace stroje (brúsky)

Brúsenie je obrábanie rovinných, valcových, alebo tvarových plôch mnohoklinovým nástrojom – brúsiacim kotúčom. Hlavný rezný pohyb je rotačný a vykonáva ho nástroj. Obvodová rýchlosť brúsiaceho kotúča je reznou rýchlosťou. Posuv materiálu proti otáčaniu kotúča je rotačný, priamočiary, alebo ich kombinácia. Ukážka brúsenia a CNC stroja pre brúsenie je na (obr. 1.20).



Obr. 1.20 Ukážka brúsenia a CNC brúsiaceho stroja (Rovinná 2024).

1.4.2 Rozdelenie hlavného rezného pohybu

Rozdelenie CNC obrábacích strojov podľa hlavného rezného pohybu vychádza z toho, ktorý člen kinematického reťazca vykonáva hlavný rezný pohyb a ktorý vykonáva posuv. Podľa toho môžeme obrábacie stroje rozdeliť (Velíšek 2001):

Hlavný rezný pohyb je rotačný, posuv plynulý:

- Sústruhy
- Vŕtačky,
- Frézovačky,
- Brúsky.

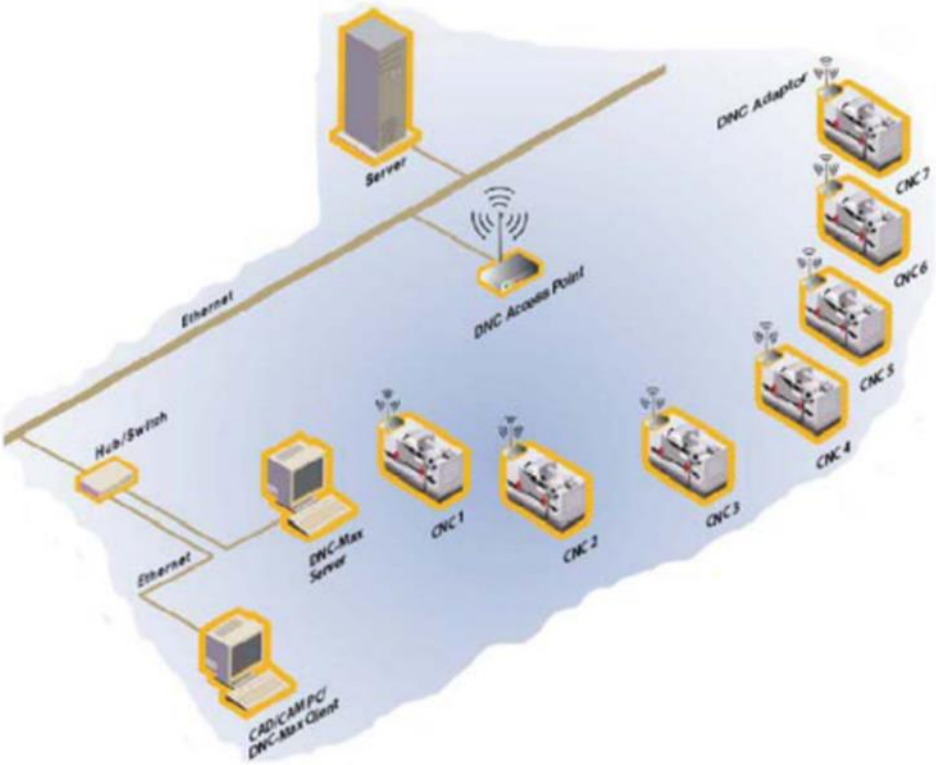
Hlavný rezný pohyb je priamočiary, posuv prerušovaný:

- Hobľovačky,
- Obrážačky,
- Preťahovacie a pretláčacie stroje.

1.4.3 Rozdelenie podľa spôsobu riadenia

Podľa typu riadenia rozdeľujeme stroje na (Velíšek 2001):

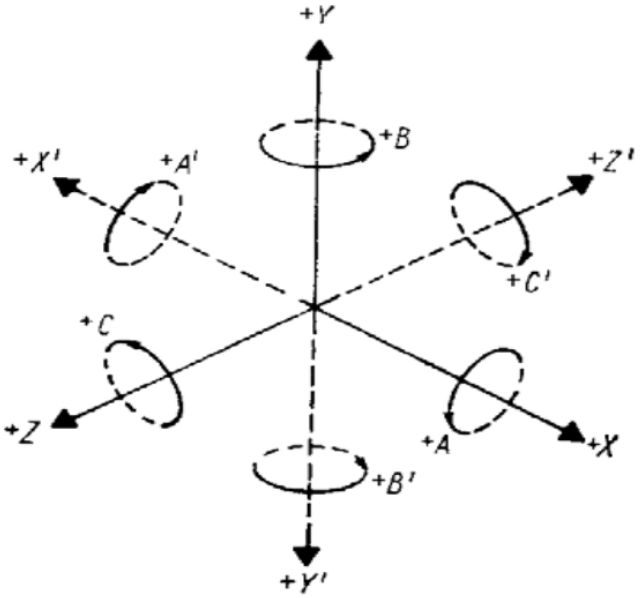
1. Stroje s ľudskou obsluhou (konvenčné univerzálne stroje),
2. Jednoúčelové stroje, poloautomaty a automaty, ktoré pracujú v automtickom pracovnom cykle (riadenie je zabezpečované pomocou nepružnej automatizácie – narážky, dorazy, koncové spínače, vačka,.....),
3. Stroje s riadiacou jednotkou (NC stroje). Pri NC strojoch je potrebný počítač, ktorý je spojený so strojom v tzv. „off line“ teda je potrebné prenášať riadiaci program cez určité médium (v minulosti dierna páska, magnetická páska, dnes disková jednotka, notebook).
4. Stroje s vlastným riadiacim počítačom (CNC stroje). Tieto počítače sú priamo „on line“ spojené s riadiacim systémom stroja, v súčasnosti sú už súčasťou stroja. Pri CNC strojoch je v súčasnosti možné prenášať programy cez sieť, alebo WiFi. CNC programy dajú písať priamo do riadiaceho systému v stroji (platí pre jednoduché súčiastky a programy), alebo sa programy pripravia cez CAM softvér a následne sa prenesú do riadiaceho systému CNC stroja.
5. Stroje typu NC a CNC riadené nadradeným riadiacim systémom. Stroje sú zoskupené v automatizovanom výrobnom systéme a pracujú v „on line“ spojení s nadradeným systémom – riadenie DNC (obr. 1.21).



Obr. 1.21 DNC bezdrôtový systém riadenia (Havrila 2011).

1.4.4 Rozdelenie podľa usporiadania kinematiky

Kinematika obrábacích strojov sa riadi normou ISO 841. V tejto norme je predpísaná nomenklatúra osí a pohybov pre CNC stroje. To znamená norma stanovuje hlavné zásady pre určenie strojových pohybov pomocou pravouhlej súradnicovej sústavy (obr. 1.22). Osi tejto sústavy sú rovnobežné s hlavnými vodiacimi plochami stroja. Sústava určuje pri programovaní stroja súradnice pohybujúceho sa nástroja vzhľadom k nehybnému obrobku.

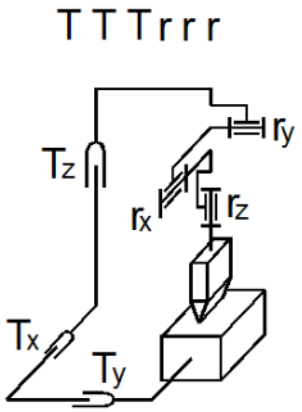


Obr. 1.22 Kinematika obrábacieho stroja (ISO 841 2024).

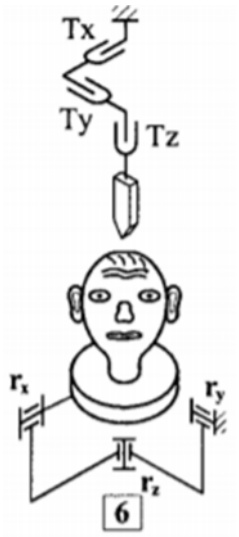
Z pohľadu štruktúry možno stroje rozdeliť na:

- sériové,
- paralelné
- hybridné.

Pojem sériová štruktúra znamená, že výsledný pohyb medzi nástrojom a obrobkom je výsledkom pohybu kinematických dvojíc zapojených do série. Pri skúmaní sériových štruktúr autor (Valentovič 2007) definoval pojem „superštruktúra“. Týmto pojmom možno označiť stroj (obr. 1.23), ktorý je schopný obrobiť každý tvar (obr. 1.24).



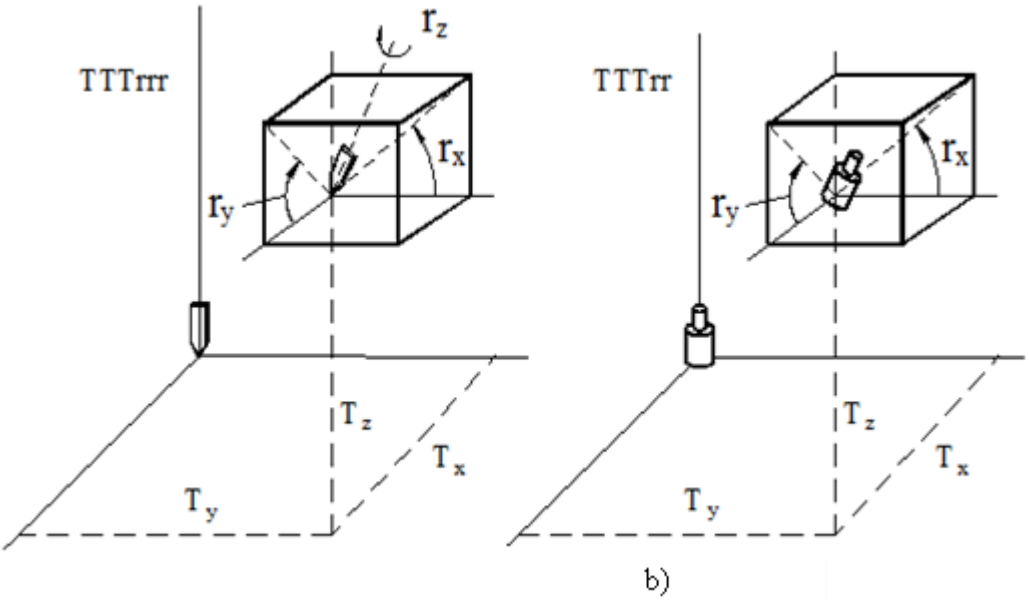
Obr. 1.23 Schéma „superštruktúry“ stroja.



Obr. 1.24 Všeobecný tvar.

Všetky sériové štruktúry strojov vznikajú práve z tejto „superštruktúry“ vynechaním a kombináciou kinematických dvojíc. Je len na konštruktérovi, kde preruší sériovú štruktúru, čím vlastne udelí pohyby nástroju aobrobku.

Superštruktúra má schopnosť premiestniť nôž alebo frézu do ľubovoľnej polohy v priestore. Pri noži sú tomu potrebné tri dvojice translačné (T) (umiestnenie hrotu nástroja v priestore) a tri orientačné dvojice rotačné (r) (obr. 1.25a) (Valentovič 2007).

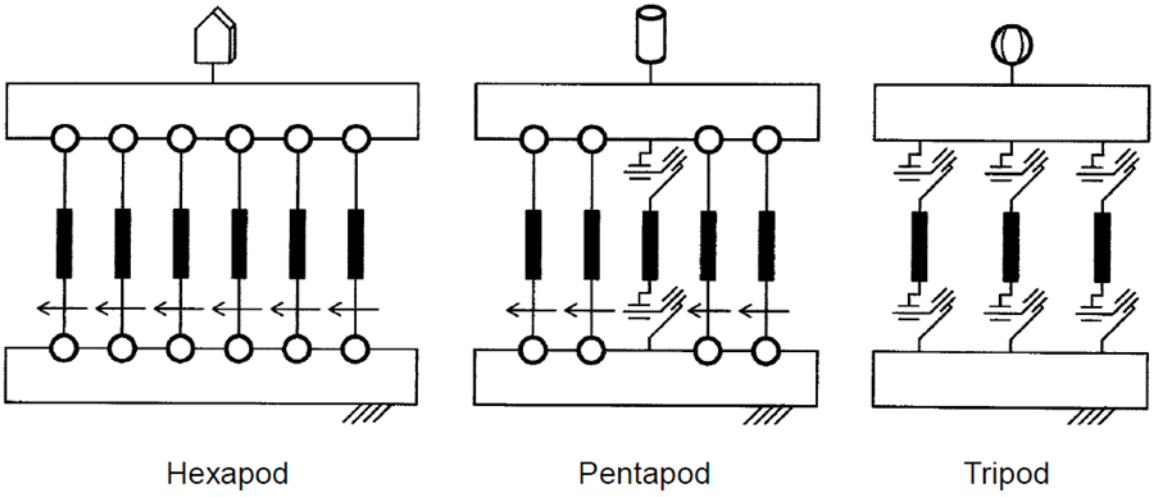


Obr. 1.25 Superštruktúry“ stroja (Valentovič 2007)
a) nožový nástroj b) rotačný nástroj.

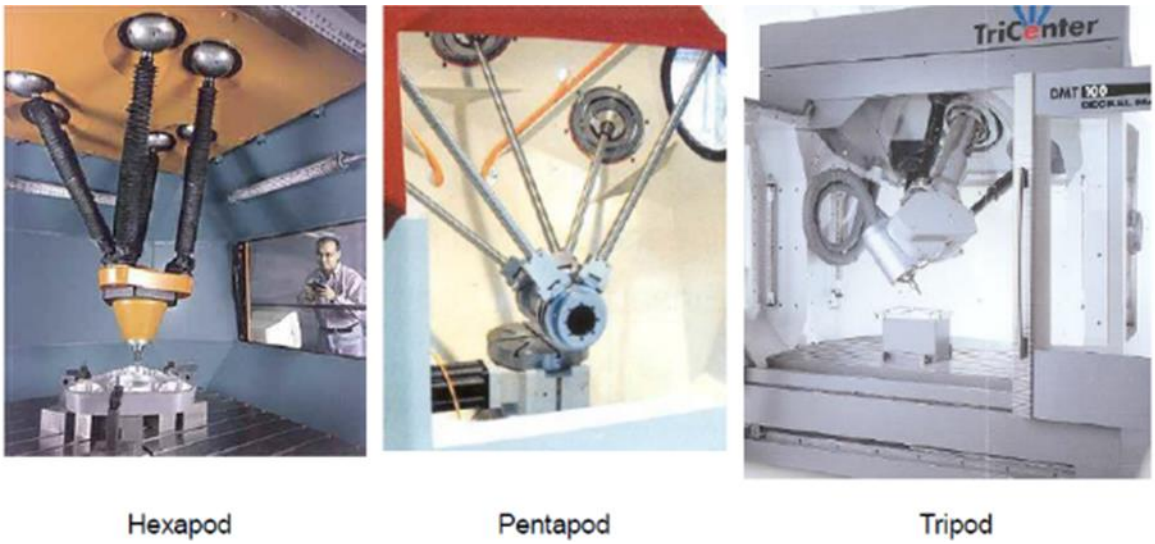
Na premiestnenie frézy (obr. 1.25b) potrebujeme tri dvojice translačné a dve orientačné dvojice rotačné. Superštruktúra má vreteno pre rotačné nástroje. Pri pohybe nástroja v priestore rozlišujeme dve fázy pohybu:

- polohovanie („positionning“) – je to premiestnenie vzťažného bodu nástroja (napr. ťažiska) z jednej priestorovej polohy do inej,
- smerovanie („directionning“) – je priestorové uhlové natáčanie nástroja prípadne obrobku k vzťažnému bodu.

Rozdiel medzi štruktúrami sériovými a paralelnými je v tom, že pri sériových štruktúrach sú kinematické dvojice od rámu k nástroju alebo obrobku zapojené do série a pri paralelných štruktúrach súčasne viacej dvojíc pohybuje obrobkom alebo nástrojom (Valentovič 2007). Najznámejšie paralelné štruktúry sú hexapod, pentapod, tripod. Ich schématické zobrazenie je na (obr. 1.26). Tieto štruktúry sa v praxi na komerčnom trhu neobjavujú. Existujú hlavne vo výskumných ústavoch, prípadne na univerzitách. Tento stav je zapríčinený nevýhodami, ktoré takéto štruktúry majú. Sú to hlavne zložitý softvér aj hardvér, malý pracovný priestor v pomere k priestoru stroja, možnosť obrábať len „z jednej strany hranola“. Na (obr. 1.27) sú reálne stroje s paralelnou štruktúrou.



Obr. 1.26 Paralelné štruktúry strojov (Valentovič 2007).



Obr. 1.27 Paralelné štruktúry strojov.

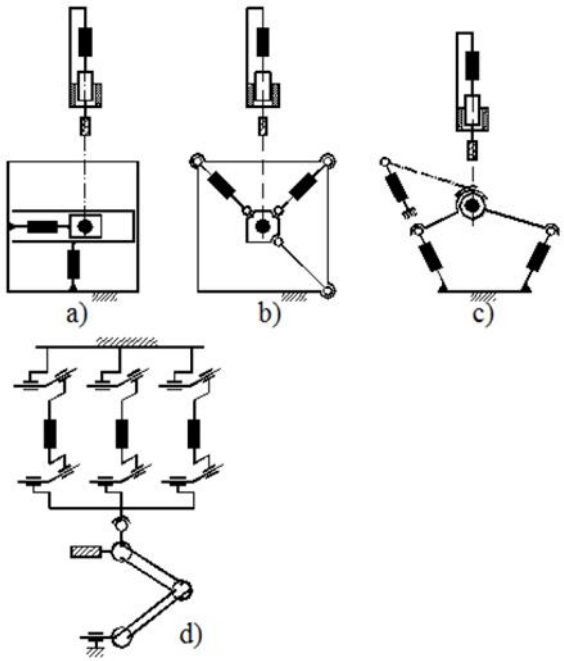
Hybridné štruktúry sú v podstate paralelné štruktúry dvoj alebo trojmotorické, ku ktorým sa sériovo pripájajú ďalšie translačnéalebo rotačné osi. Cieľom týchto štruktúr je vylepšiť sériové štruktúry alebo spojiť výhody štruktúr sériových a paralelných. Sú to napríklad (Valentovič 2007) (obr. 1.28):

a) Box in Box

b) Zavesené vreteno

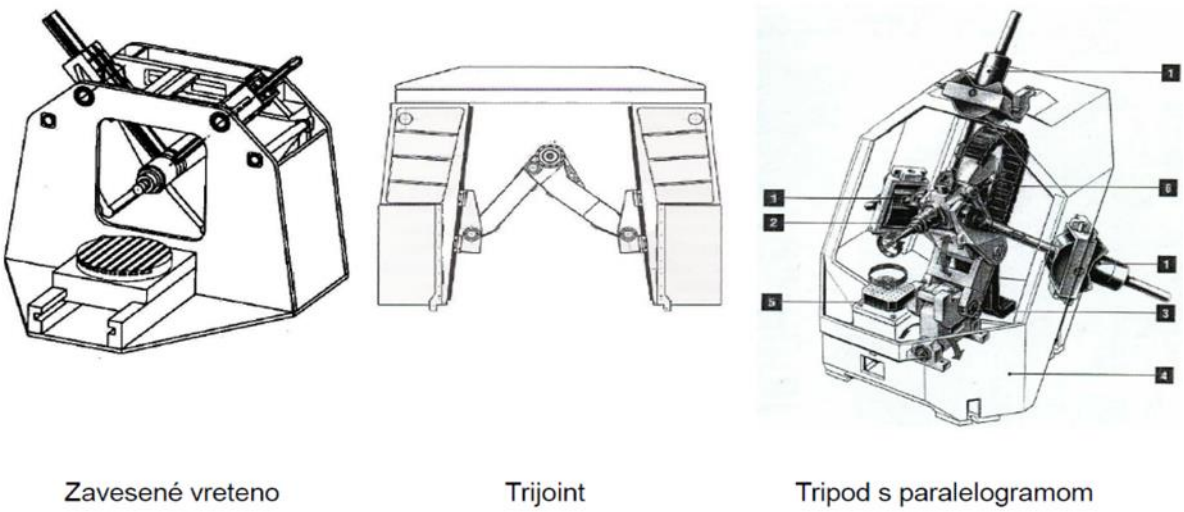
c) Trijoint

d) Tripod s paralelogramom



Obr. 1.28 Hybridné štruktúry strojov (Valentovič 2007).

Na (obr. 1.29) sú zobrazené reálne hybridné štruktúry (Valentovič 2007).

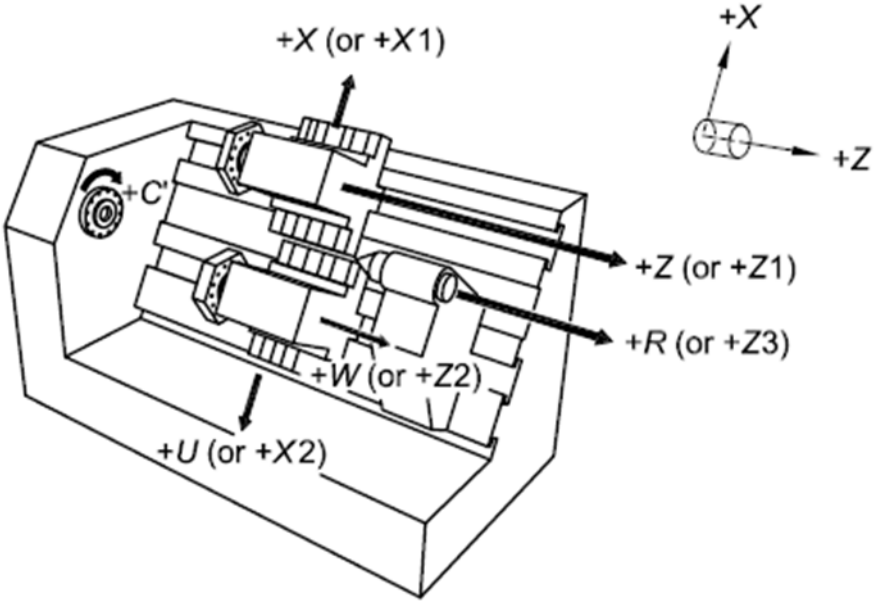


Obr. 1.29 Reálne hybridné štruktúry strojov (Valentovič 2007).

1.4.5 Rozdelenie podľa počtu riadených osí

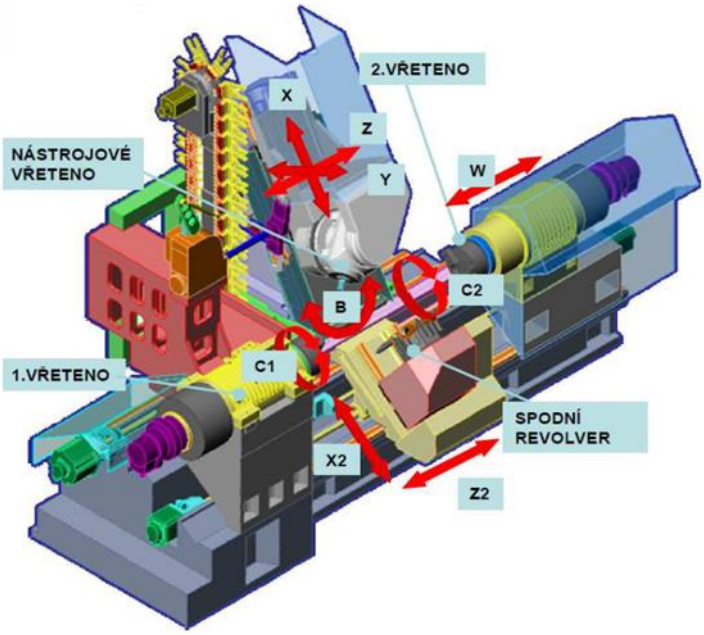
Počet riadených osí stroja udáva aj jeho výrobné možnosti. Možno povedať,, že čím je viac riadených osí na stroji, tým je stroj schopný vyrobiť zložitejšiu súčiastku. Treba si však uvedomiť, že hovoríme o obrábacích strojoch určených primárne pre odoberanie materiálu, teda trieskové obrábanie. Z tohto pohľadu nám mechanika hovorí, že v priestore máme 6 stupňov voľnosti. Teda aj počet riedených osí môže byť maximálne 6 (v oboch smeroch kladný

aj záporný). Otázka znie prečo niektorí dodávatelia strojov hovoria o väčšom počte riedených osí ako 6. Je to dane konštrukciou stroja (obr. 1.30).



Obr. 1.30 Ukážka stroja s viacerými riadenými osami.

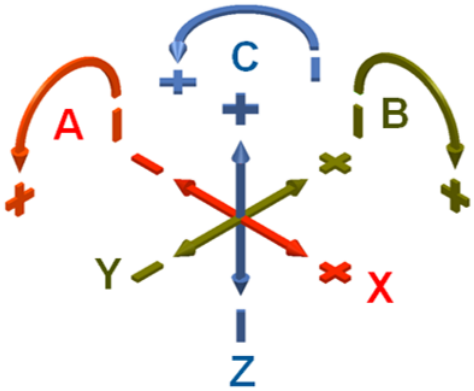
Pri tomto sústružníckom centre môžeme pozorovať tieto možnosti pohybov: rotácia obrobku (os C), translácia revolverov (os Z1 a Z2), translácia revolverov (os X1 a X2), translácia koníka (os Z3). Ak spočítame počet osí dostaneme číslo 6. Toto číslo by zodpovedalo počtu riadených osí 6, ale treba si všimnúť, že riadené osi sú v niektorých súradniciach znásobené. Ak by sme zobrali túto skutočnosť tak je riadenie stroja len v 3 osiach (X, Z, C). Na (obr. 1.31) je vidieť viac riadených osí v tomto prípade 9 osí.



Obr. 1.31 Ukážka stroja s 9 riadenými osami (Příručka 2024).

V nadväznosti na počet riadených osí je potrebné vziať do úvahy, či sú tieto osi riadené súvisle resp. či je vzájomný pohyb jednotlivých osí v jednom čase (obr. 1.32). Pri štruktúrach frézovacích strojov pod označením „D“ rozumime smer (z angl. direction). Spolu s číslom dostávame označenie, v koľkých smeroch možno súvisle riadiť osi stroja. Na základe toho môžeme štruktúry frézovacích strojov rozdeliť na:

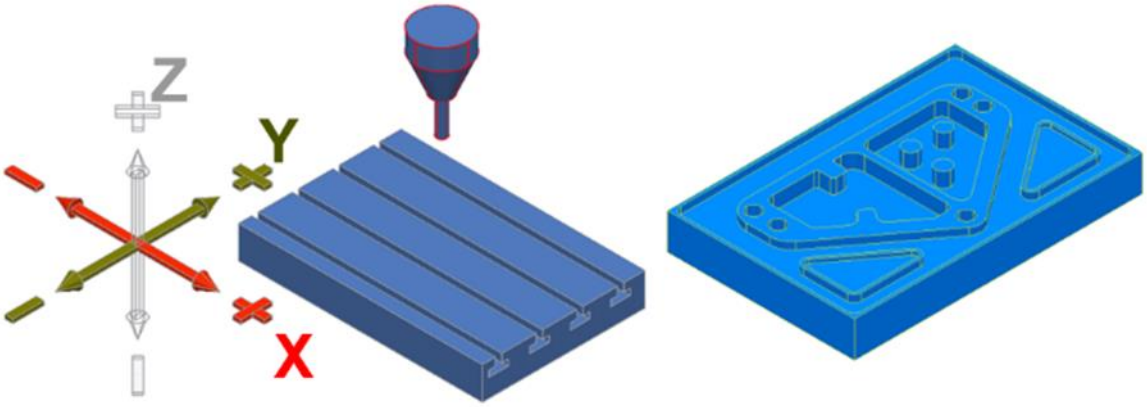
2 – osové štruktúry (resp. 2D),
3 – osové štruktúry (resp. 3D),
4 – osové štruktúry (resp. 4D),
5 – osové štruktúry (resp. 5D).



Obr. 1.32 Možnosti riadenia osí pre frézovanie.

Dvoj-osová štruktúra (2D)

Umožňuje súvislé riadenie v dvoch translačných súradnicových osiach vo viacerých pracovných rovinách (XY, XZ, YZ – vždy pracujeme iba v jed nej z pracovných rovín podľa typu stroja). Tretia os je zvyčajne kolmá na pracovnú rovinu a nastavuje sa na požadovanú súradnicu vzhľadom na pracovnú rovinu frézovacieho stroja (obr. 1.33).

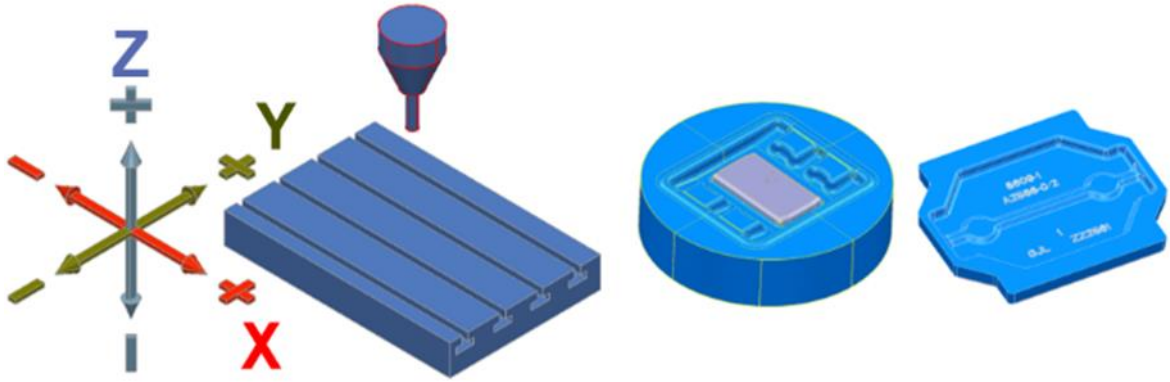


Obr. 1.33 2D štruktúra stroja.

Troj-osová štruktúra (3D)

Troj-osová (3D) štruktúra umožňuje súvislé riadenie troch translačných súradnicových osí X, Y, Z. Nástroj sa pohybuje medzi dvomi priestorovo definovanými bodmi. Tento spôsob riadenia nástroja umožňuje frézovanie otvorených priestorových útvarov. 3D štruktúry

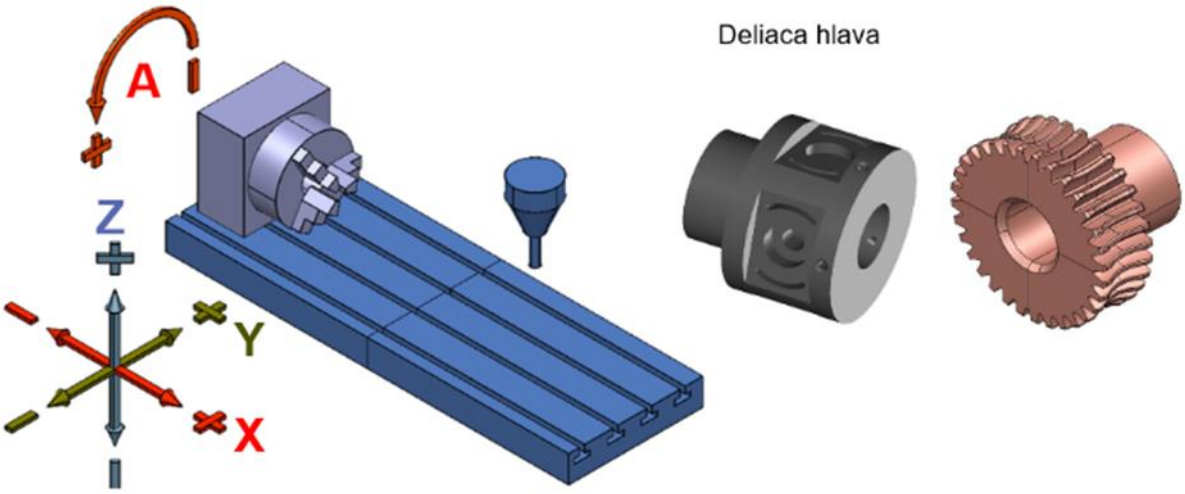
frézovacích strojov sú v praxi najrozšírenejšie. Sú vhodné hlavne pre výrobu zápustiek pre kovanie, modelov pre formovanie do piesku a následné odlievanie (obr. 1.34).



Obr. 1.34 3D štruktúra stroja.

Štvor-osová štruktúra (4D)

Štvor-osová štruktúra (4D) umožňuje súvislé riadenie troch translačných súradnicových osí X, Y, Z a naklonenie obrobku, alebo nástroja okolo jednej z osí. Najčastejšie sa v praxi môžeme stretnúť so štruktúrami, kde sa súvisle riadia pohyby v osiach X, Y, Z, A (obr. 1.35).

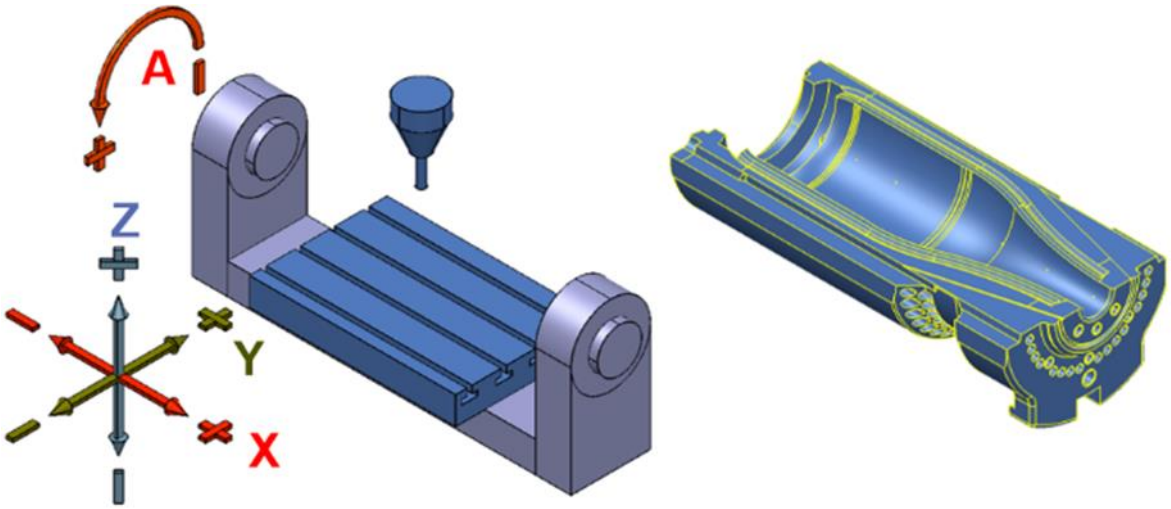


Obr. 1.35 4D štruktúra stroja.

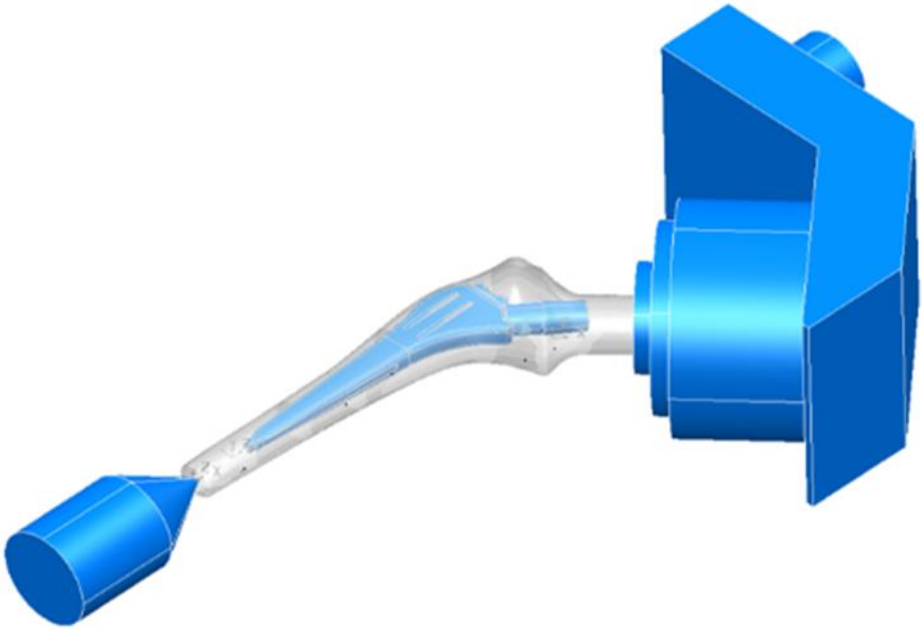
Druhou štruktúrou, ktorú možno nájsť v praxi pomerne často je frézovací stroj, kde sa súvisle riadia osi X, Y, Z, A, ale namiesto deliacej hlavy sú konštruované s tzv. kolískou, ktorá zabezpečuje rotačný pohyb okolo osi X (obr. 1.36). Takúto štruktúra stroja je možné využiť pre obrábanie rotačných súčiastok súvislým spôsobom, ale aj indexovaným obrábaním. To je spôsob obrábanie, kde je súčiastka polohovaná rotačnou štruktúrou obrábanou plochou kolmo na nástroj, kde je indexovaná a realizuje sa operácia 3 osového obrábania.

Využitím štruktúry 4D frézovacieho stroja s deliacou hlavou, upínacích a polohovacích prípravkov je možné frézovať aj kĺbový implantát (obr. 1.37). Pre ustavenie a upnutie

polotovaru bol použitý prípravok na ktorom je umiestnená sústružnícka hlava a bol podopretý koníkom z druhej strany.



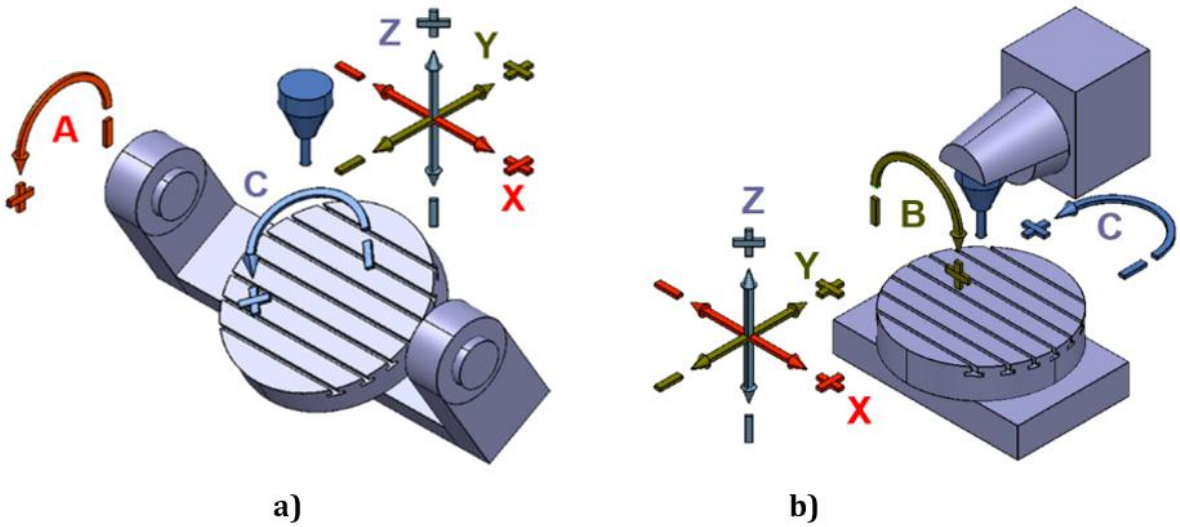
Obr. 1.36 4D štruktúra stroja – kolíska.



Obr. 1.37 Ustavenie a upnutie polotovaru kĺbového imlantátu.

Päť-osová štruktúra (5D)

Kombinácií 5D štruktúr existuje v praxi pomerne veľa, záleží na usporiadaní jednotlivých súvisle riadených osí. 5D štruktúra umožňuje súvislé riadenie troch súradnicových osí X, Y, Z a naklonenie nástroja, alebo obrobku okolo dvoch rotačných osí (obr. 1.38a). Na tomto obrázku je štruktúra, kde je obrobok upnutý na stole stroja a môže byť rotovaný okolo osi Z (C) a zároveň môže byť naklápaný okolo osi X (A). Na obrázku (obr. 1.38b) je štruktúra stroja, kde je možná kombinácia pohybov nástroja a obrobku. Napríklad obrobok bude mať pohyb X, C a nástroj bude mať pohyb Y, Z, B.



Obr. 1.38 5D štruktúry strojov:
a) Štruktúra stroja X,Y,Z,A,C, b) Štruktúra stroja X,Y,Z,B,C

Vzhľadom na požiadavky praxe, kde sa stále vo väčšej miere uplatňujú komplexné súčiastky s 3D FFS sa zväčšuje aj podiel frézovacích strojov s 5D štruktúrou. Na týchto strojoch sa frézujú rôzne tvary komplexných súčiastok napríklad rotory do motorov, turbínové kolesá s lopatkami rôznych tvarov a aj pri frézovaní cykloidných ozubených kolies, používaných do prevodoviek veterných turbín – patentovaná technológia (stratégia frézovania) firmy DMG (obr. 1.39) .

Obr. 1.39 Príklady komplexných tvarových plôch.

1.4.6 Rozdelenie podľa možnosti realizovať viac operácií na jednom stroji

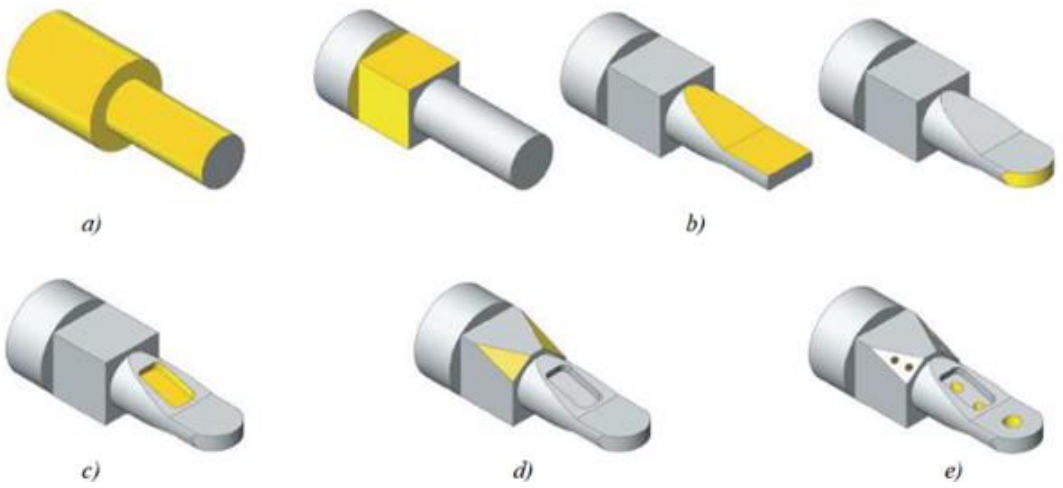
V súčasnosti existuje v praxi veľ obrábacích strojov, ktoré dokážu realizovať viaceré operácie na jednom stroji. Sú známe pod pojmom obrábacie centrá. Rozdeľme si tieto stroje podľa toho aké energie dokážu kombinovať v jednom stroji. Z tohto pohľadu rozdeľujeme tieto stroje pre:

- multitechnologické obrábanie,
- multienergetické obrábanie.

Multitechnologické obrábanie.

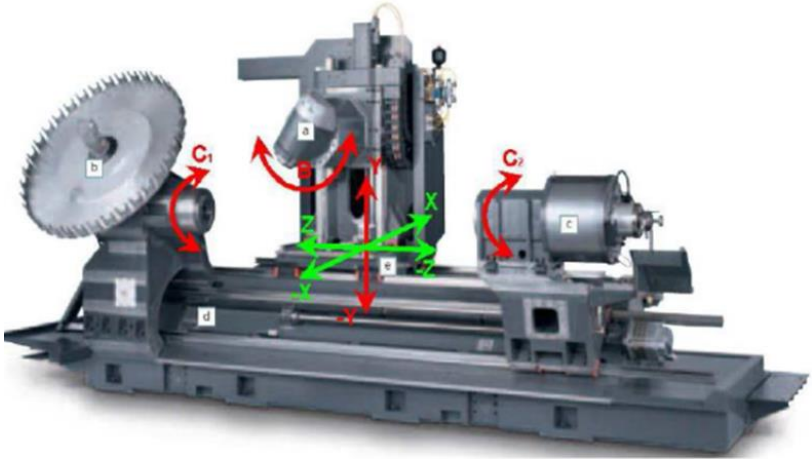
Ide o obrábanie a stroje, ktoré vychádzajú z **jednej technológie.** Napríklad z technológie frézovania, ale dokážu vŕtať i sústružiť, alebo na inom multitechnologickom stroji, ktorý vychádzal z koncepcie sústruhov môžeme okrem sústruženia aj frézovať a vŕtať mimoosové diery.

Pre prípad obrábania zložitej konzoly (obr. 1.40) potrebujeme plne 5-osové sústružnícko-frézovacie centrum (s riadenými X, Y, Z, B, C osami) (obr. 1.41) a samostatne poháňanými nástrojmi. Obrobok je upnutý v skľučovadle hlavného vretena.



a) Vonkajšie sústruženie *b)Indexované frézovanie* *c) Frézovanie vybrania*
d) Frézovanie šikmých plôch *e) Vŕtanie dier*

Obr. 1.40 Obrabanie zlozitej konzoly (SolidCAM 2010).



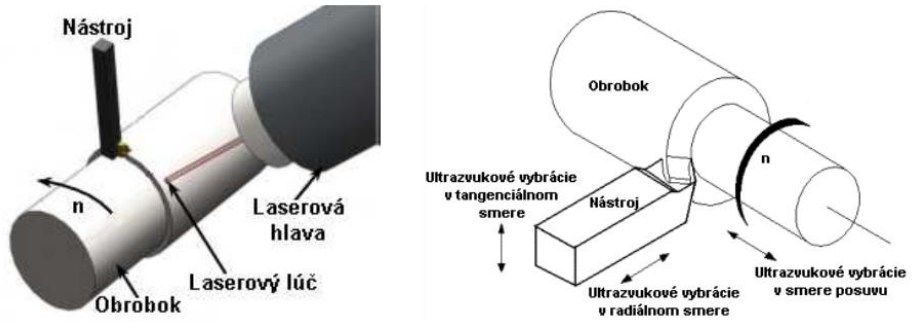
Obr. 1.41 Obrábanie zložitej konzoly (Kolář 2009).

Vonkajšie sústruženie valcových plôch (obr. 1.40a) - zarovnanie čela a sústruženie dvoch vonkajších valcových plôch. Indexované frézovanie (obr. 1.40b) –táto operácia je vykonávaná frézovacím nástrojom s orientáciou svojej osi kolmo na os obrobku. Naklopením hlavy,

riadením B osi sa možno frézovať šikmé plochy. Poloha osi frézy je kolmá na obrábanú plochu. Zaoblenie obrábame frézou s indexovanou osou nástroja kolmo na os obrobku, využitím riadenej Y- ovej osi. Frézovanie vybrania (obr. 1.40c) - využitie B osi, vybranie je frézované nástrojom upnutým v sklopnej nástrojovej hlave. Frézovanie šikmých plôch (obr. 1.40d) - šikmé plochy získame natočením nástrojovej hlavy, riadením B osi a napolohovaním vretena, aby sa obrobok dostal do potrebnej polohy pre frézovanie. Vŕtanie dier (obr. 1.40e) - vŕtanie veľkej diery je zvládnuteľné aj na 3-osovom sústružníckom centre bez riadenej B a Y osi. Dieru navŕtame vrtákom, ktorého os rotácie je kolmá na os obrobku. Natočenie nástroja dosiahneme indexovaním osi Z. Dve malé diery už musia byť vŕtané natočením nástrojovej hlavy. Diery sú kolmé na šikmú plochu drážky, preto ich navŕtanie je možné len na plne riadenom 5-osovom sústružnícko-frézovacom centre (HEIDENHAIN 2010).

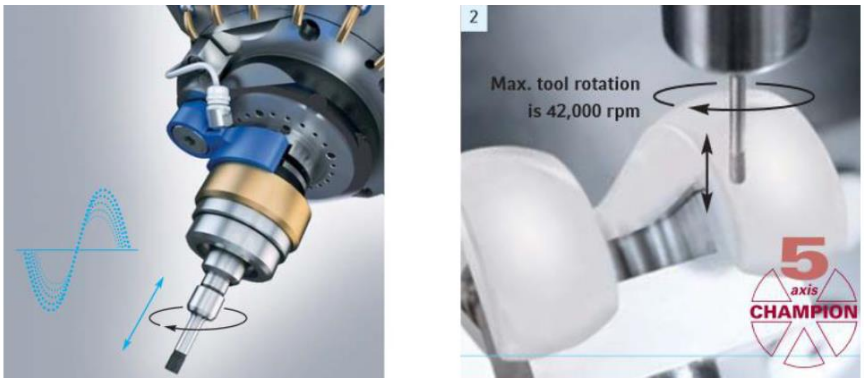
Multienergetické obrábanie.

Ide o obrábacie stroje, ktoré v jednom využívajú kombináciu technológií, založených na aplikácii rôznych energií. Frézovací stroj s ultrazvukovou hlavicou t.j. na jedno upnutie hrubujeme a dokončujeme väčšie plochy formy a hneď na to použijeme ultrazvukové obrábanie jemných reliéfov, plôch ťažšie prístupných, veľmi malých apod. V minulosti boli realizované rôzne štúdie a experimenty, kde sa spájali rôzne energie pri odoberaní triesky. Môžeme spomenúť sústruženie s podporou lasera (obr 1.42a), alebo ultrazvukom podporované sústruženie (obr. 1.42b).



Obr. 1.42 Ukážka multienergetického obrábania (Attia 2010, Ahmed 2006).
a) sústruženie s podporou lasera, b) ultrazvukom podporované sústruženie

V súčasnosti sa využíva kombinácia rôznych druhov energií hlavne v oblasti kombinácie frézovanie – ultrazvuk (obr. 1.43) kde sa vyrábajú súčiastky pre medicínsky priemysel, nástroje, súčasti čerpadiel, hodinársky a optický priemysel a letecký priemysel (obr. 1.44).



Obr. 1.43 Kombinácia frézovania a ultrazvuku (Ultrasonic 2015).

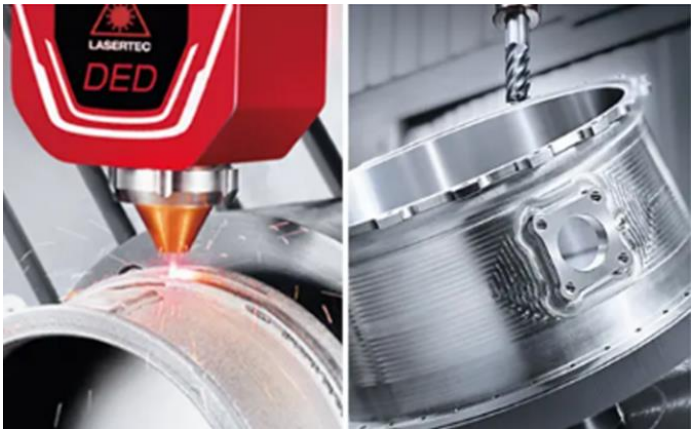
Obr. 1.44 Využitie kombinácie ultrazvuku a frézovania v praxi (Ultrasonic 2015).

Ďalšou kombináciou využívanou v praxi je frézovanie – laser (obr. 1.45). Tieto stroje dokážu frézovať požadovaný tvar, dosiahnuť požadované rozmery a presnosť. Následne sú schopné vymeniť nástrojový držiak frézy za nástrojový držiak laserovej hlavy a obrobiť laserom potrebné plochy (hlavne gravírovanie). Predstavitelia tejto technológie sú na (obr. 1.46)

Obr. 1.45 Využitie kombinácie lasera a frézovania v praxi (Lasertec 2015).

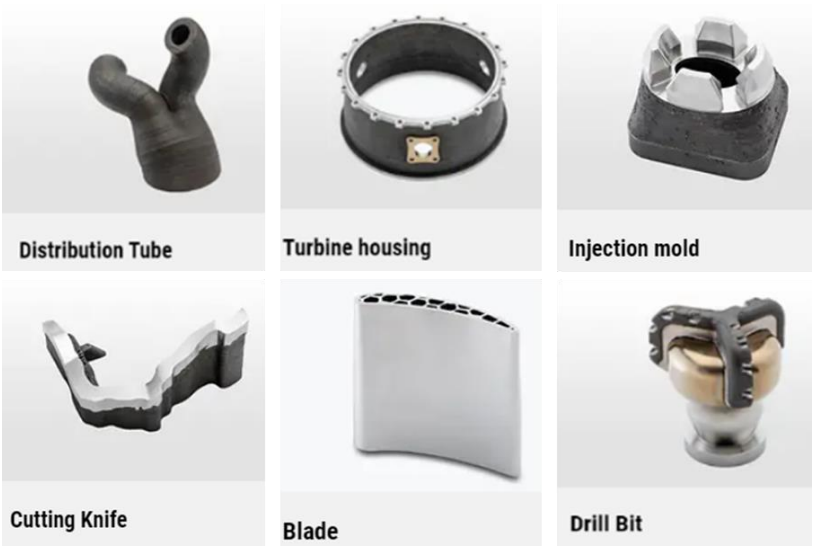
Obr. 1.46 Ukážka využitia lasera v praxi (Lasertec 2015).

V súčasnosti napreduje technológia laserového navárania tvaru súčiastky (technológia DED – Directed Energy Deposition) v kombinácii s frézovaním. Napríklad firma DMG MORI uvádza tieto stroje pod označením DED hybrid (obr. 1.47).



Obr. 1.47 Ukážka kombinácie lasera a frézovania v praxi (Lasertec 2024).

Aplikácia tejto kombinovanej metódy výroby tvaru má uplatnenie pri výrobe komplikovaných rozvádzacích trubíc, turbínových častí, vstrekovacích foriem, rezných nástrojov, lopatiek a vrtákov (obr. 1.48).



Obr. 1.48 Súčiastky vyrobené kombináciou lasera a frézovania (Lasertec 2024).

Literatúra

Marek, J. et al. Stavba a provoz CNC obráběcích strojů [online]. 1. vyd. Brno: Ústav výrobních strojů systému a robotiky, FSI, VUT v Brně, 23. 3. 2023, updated, průběžně aktualizováno. [cit. 2024-05-22]. Učebnice Ústavu výrobních strojů, systému a robotiky, FSI, VUT v Brně, 1 svazek. Dostupné z: https://www.os.fme.vutbr.cz. ISBN 978-80-907452-4-7.

Timeway Machine Tool. 2024. [cit. 2024-05-25]. Dostupné na internete: http://sk.timewaymaquinas.com/milling-machines/horizontal-milling-machines/industrial-milling-mahcines.html

Sustruh Poloautomatický ASR 200. 2024. [cit. 2024-05-22]. Dostupné na internete: https://www.poziadavka.sk/ponuky/ponuka-74090/Sustruh-poloautomaticky-ASR-200

Projektovanie výrobných a logistických systémov. 2024. [cit. 2024-05-25]. Dostupné na internete: https://innovation.sk/projektovanie-vyrobnych-systemov/

Peterka, J. a kol. 2002. Programovanie NC strojov I. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 75 s. ISBN 80-227-1686-3

Vysokorýchlostné portálové obrábacie stroje GF AgieCharmilles , Mikron HSM / XSM – stroje s najlepším pracovným prístupom. 2024. [cit. 2024-09-17]. Dostupné na internete: https://www.plasticportal.sk/sk/vysokorychlostne--portaloveportalove--obrabacieobrabacie--strojestroje--gfgf--agiecharmillesagiecharmilles--mikronmikron--hsmhsm--xsmxsm--%E2%80%93%E2%80%93--strojestroje--ss--najlepsimnajlepsim--pracovnympracovnym--pristupom/c/617/pristupom/c/617/

WebSnadno. 2024. [cit. 2024-09-17]. Dostupné na internete: http://radiotv.wbs.cz

Tranzistorový zasilovač 2 x 70 W, stavebnice (KSD7251SX). 2020. [cit. 2020-09-16]. Dostupné na internete: https://www.emerx.cz/tranzistorovy-zasilovac-2-x-70-w-ezk-ksd7251sx.html

Integrovaný obvod: Malý čip s velkým mozkem. 2020. [cit. 2020-09-16]. Dostupné na internete: https://technickysvet.cz/integrovany-obvod/

Mikroprocesory s architekturou RISC - čipy Motorola řady 88000 (88k). 2020. [cit. 2020-09-16]. Dostupné na internete: https://www.root.cz/clanky/mikroprocesory-s-architekturou-risc-cipy-motorola-rady-88000-88k/

Velíšek, K., 2001. Obrábacie stroje. STU v Bratislave

Stolní soustruh OPTIturn TU 2506 V. 2018. [cit. 2018-03-12]. Dostupné na internete: https://www.naradi-vitek.cz/Stolni-soustruh-OPTIturn-TU-2506-V

Univerzálna frézka Bernardo Variomill FU 1200 E Servo. 2021. [cit. 2021-09-10]. Dostupné na internete: https://www.boukal.sk/univerzalna-frezka-bernardo-variomill-fu-1200-e-servo/509/produkt?gclid=EAIaIQobChMI0dWttojk7gIVBIbVCh3DLA7rEAkYBSABEgKId_D_BwE

Vŕtačko-frézka Bernardo FM 45 HSV - Digitálne odmeriavanie. 2023. [cit. 2023-09-25]. Dostupné na internete: https://www.boukal.sk/vrtacko-frezka-bernardo-fm-45-hsv-digitalne-odmeriavanie/487/produkt?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIgq3C05DRiAMVCJ2DBx1-dS1NEAQYCSABEgKS1fD_BwE#gallery-1

MAKITA HP1641K1X. 2023. [cit. 2023-09-13]. Dostupné na internete: https://www.pomocnik.sk/makita-hp1641k1x

Technoógia obrábania. 2023. [cit. 2024-10-16]. Dostupné na internete: https://www.slideserve.com/haig/technol-gia-obr-bania

Portál hobľovačka TOS HD 20 A. 2023 [cit. 2023-10-16]. Dostupné na internete: https://unimachines.sk/port%C3%A1l-hob%C4%BEova%C4%8Dka-tos-hd-20-a-1962-9038.html

CNC obrážačky. 2023. [cit. 2023-08-16]. Dostupné na internete: https://www.sappv.cz/stroje-sk/eastar/cnc/

Horizontální CNC vyvrtávačky. 2023. [cit. 2023-08-16] Dostupné na internete: https://www.tecnotrade.cz/katalog/dbc-130s/

Szlifowanie. 2024. [cit. 2023-10-24]. Dostupné na internete: http://fawor.com/oferta/szlifowanie/

Rovinná brúska Bernardo BSG 2550 PLC s digitálnym odmeriavaním. 2023. [cit. 2023-10-17]. Dostupné na internete: https://www.boukal.sk/rovinna-bruska-bernardo-bsg-2550-plc-s-digitalnym-odmeriavanim/22096/produkt?gclid=EAIaIQobChMIgoynupHk7gIVwuFRCh3u4AZUEAQYBiABEgIsrPD_BwE

Havrila, M.: 2011. Trendy v rozvoji moderných DNC systémov obrábania / - 2011. - 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: Strojírenská technologie : Plzeň 2011 : 4. ročník mezinárodní konference : 25.1.-26.1.2011, Plzeň. - Plzeň : ZČU, 2011 P. 1-3. - ISBN 978-80-7043-934-0

ISO 841:2001. International Industrial automation systems and Integration – Numerical control of machines – Coordinate system and motion nomenclature

Valentovič, E.: 2007. Stratégia obrábania. STU. Bratislava. ISBN 978-80-227-2657-3

Příručka CNC programování (Vitralab_Title). 2023. [cit. 2023-10-11]. Dostupné na internete: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf

SolidCAM. SolidCAM2009 Příručka soustružení-frézování. 2010. [cit. 2010-01-18]. Dostupné na internete: <http://cz.solidcamsupport.net/index.php?_m=downloads&_a=viewdownload&downloaditemid=73&nav=0,15. >

HEIDENHAIN. CNC PILOT 4290 V.7 Softwarové funkce pro B-osu. 2010. [cit. 2010-02-02]. Dostupné na internete: < http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/619_925-C1.pdf. >

Kolář. P. 2009. Vývojové trendy soustružnických strojů malé a střední velikosti. *MM prumyslové spektrum.* [cit. 2024-10-09]. Dostupné na internete: http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvojove-trendy-soustruznickych-stroju-male-astredni-velikosti.html.

Attia. H., Tavakol. S., Vargas. R., Thomson. V., 2010. Laser-assisted high-speed finish turning of superalloy Inconel 718 under dry conditions. *CIRP Annals – Manufacturing Technology.* [cit. 2012-05-25]. Dostupné na internete: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850610000946.

Ahmed. N., Mitrofanov. A. V., Babitsky. V. I., Silberschmidt. V. V., 2006. Analysis of material response to ultrasonic vibration loading in turning Inconel 718. *Materials Science and Engineering*. [cit. 2012-05-26]. Dostupné na internete: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509306002644.

ULTRASONIC *linear* Series. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné na internete: https://en.dmgmori.com/products/machines/ultrasonic/ultrasonic-linear

LASERTEC: CNC laser for the highest precision. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné na internete: https://en.dmgmori.com/products/machines/lasertec

LASERTEC 65 DED hybrid. 2024. [cit. 2024-05-14]. Dostupné na internete: https://en.dmgmori.com/products/machines/additive-manufacturing/powder-nozzle/lasertec-65-ded-hybrid

2.

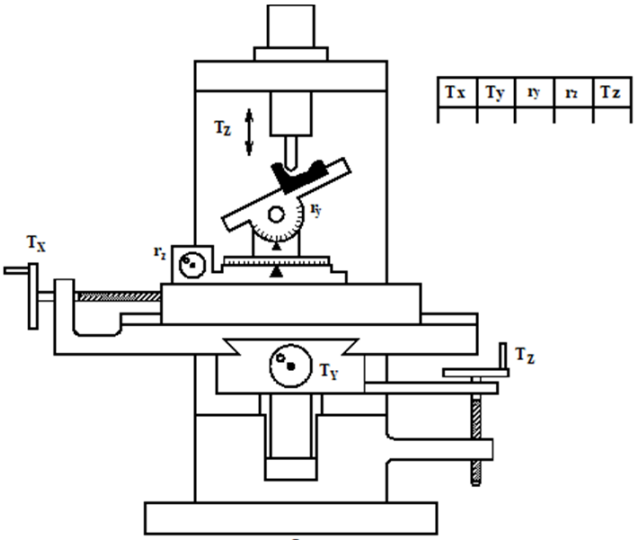
Technológia CNC obrábania

Väčšina zdrojov odbornej literatúry uvádza, že technológia obrábania je realizovaná prostredníctvom sústavy SNOP (stroj, nástroj, obrobok, prípravok). Prvky tejto sústavy spoločne pôsobia vo výrobnom procese, ktorého výsledkom je súčiastka resp. tvar z požadovanými vlastnosťami – najmä presnosť súčiastky a kvalita povrchu určená jeho drsnosťou.

2.1 Historický prehľad možnosti výroby plôch

Na začiatku výrobného procesu máme výkres súčiastky, kde sú údaje o jej tvare, rozmeroch, toleranciách a drsnosti povrchu. Výkres je vyhotovený v patričných pohľadoch, obsahuje potrebné rezy súčiastkou, čím je jednoznačne stanovený tvar súčiastky. Tvar súčiastky resp. plôch na súčiastke si vyžaduje použitie konkrétneho stroja pre výrobu tejto plochy.

V minulosti sa na tieto účely využívali stroje s ručným ovládaním, kde sa postupne nastavovali súradnice pre výrobu tvarovej plochy (obr. 2.1).

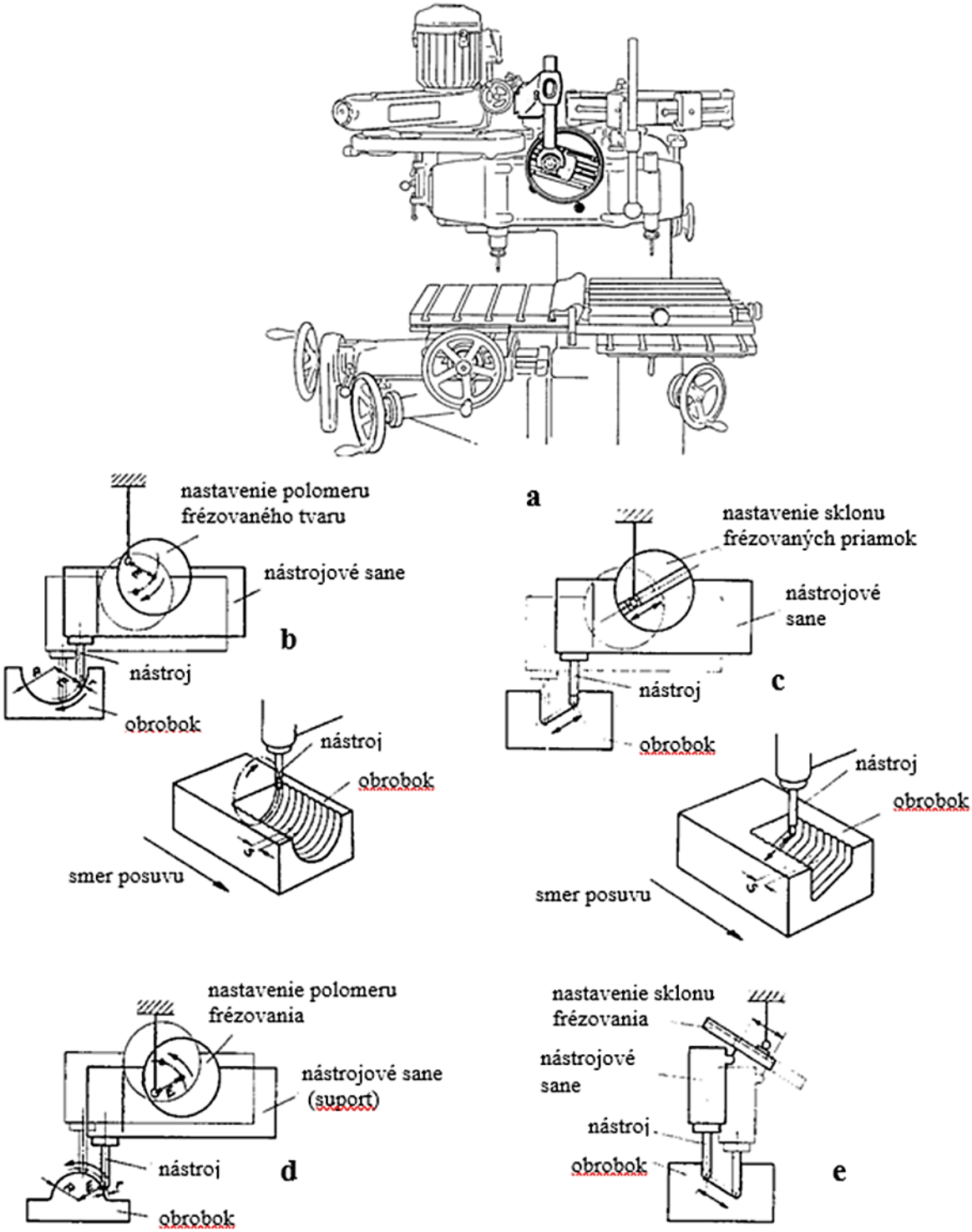


Obr. 2.1 Súradnicová metóda obrábania na ručne ovládanej frézovačke (Valentovič 2007)

Frézovačka má všetky „tvarotvorné“ pohyby nastavované ručne. Pri každom bode sa nastavia súradnice T_x, T_y, r_x, r_y, nakoniec sa nástroj ručne zahĺbi do hĺbky T_z. Na vyrobenie plochy nie je dôležité akými prostriedkami meníme súradnice osí, dôležitá je existencia

dostatočného počtu osí na zhotovenie tvaru. Motorický pohon osí najmä prostriedkami CNC zvyšuje možnosť automatizácie obrobenia plochy (Valentovič 2007).

Neskôr boli konštruované stroje, ktoré boli schopné vyrábať zložité tvarové plochy bez nastavovania súradníc. Boli to kopírovacie frézovačky (obr. 2.2)



Obr. 2.2 Univerzálny kopírovacia frézovačka KF firmy Deckel (Valentovič 2007)

Nástrojom je fréza s polguľovým zakončením (tzv. „kopírovacia fréza“). V podstateje nástroj vedený rukou obsluhy stroja cez mechanizmus paralelogram x, y, z. Ten je so suportom spojený tyčou s guľou na konci. Guľu drží robotník v ruke. Priestorové pohyby gule a frézy sú rovnaké, takže robotník môže frézovať rôzne technické i umelecké tvary.

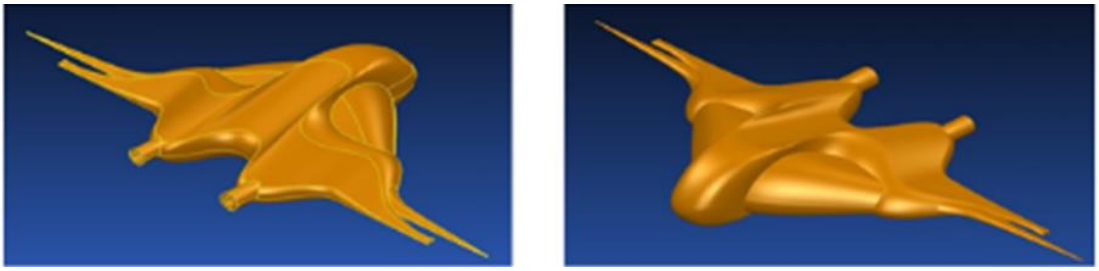
Obrobené tvary musia zodpovedať výkresu. Frézovačka KF má prídavné zariadenie (hrubé čiary na obr. 2.2a), ktoré slúži alternatívne ako priamkovod alebo kružnicovod. Je to kruhová doska otočná okolo stredu (kružnicovod), v ktorej sa posúva kladka s kardanovým kĺbom (priamkovod). Ten je spojený so suportom.

Keď chce robotník frézovať kruhovú plochu nastaví si polomer kruhovodu tak, že kladka s kardanovým kĺbom sa otáča na polomere R (obr. 2.2b). Keď chce robotník frézovať priamkovú plochu, zablokuje otáčanie dosky, nastaví smer drážky do smeru brázdy (obr. 2.2c). Tak možno frézovať plochy vytvorené z kružníc konkávnych (obr. 2.2d) alebo konvexných (obr. 2.2e).

Posúvanie „z dráhy do dráhy“ sa robí ručnými kolami na dolnej časti stroja. Alternatívne môže stroj slúžiť ako obyčajná mechanická kopírovacia fréza. V pravej časti je uchytený model, ktorý kopíruje kopírovací palec. Robotník cez guľovú páku vedie palec po modeli, fréza vykonáva rovnaké pohyby v obrobku ako palec na modeli.

Poznanie podstaty starších metód obrábania zložitých tvarov je dobrým východiskom pre poznanie podstaty nových CNC metód.

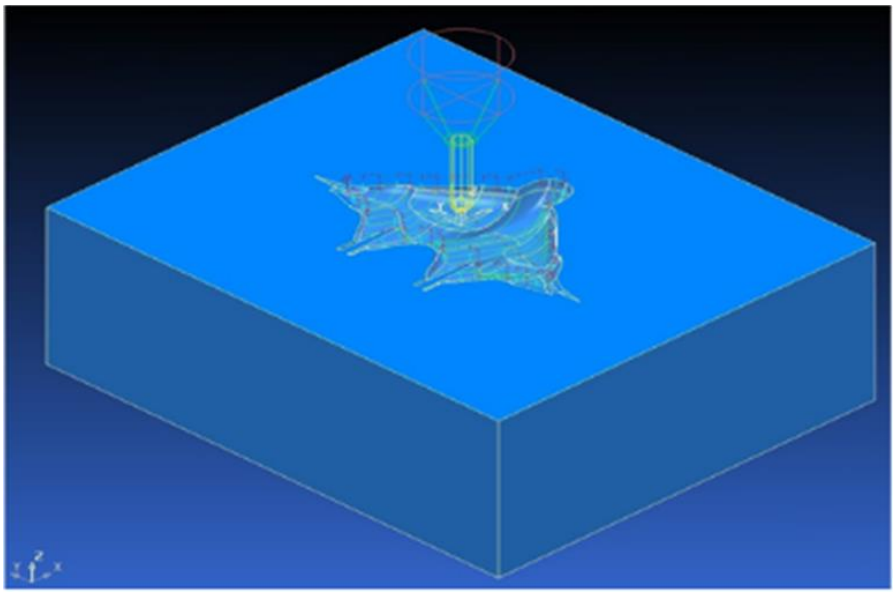
Aj v súčasnosti sa pri obrábaní na CNC strojoch používa model súčiastky. Nie je to však fyzický model, ale počítačový model. Pre zložité tvarové plochy sa využívajú rôzne CAD/CAM softvéry (obr. 2.3)



Obr. 2.3 Príklad modelu z CAD softvéru (Valentovič 2007)

Tento model je ďalej spracovaný v CAM softvéri. Tam sa určí polotovar z ktorého bude výsledný tvar vyrobený, určia sa nástroje potrebné pre operácie hrubovania, obrábania na tvar a dokončovania. Následne sú na základe tvaru obrobku a nástroja vygenerované dráhy

pre vzájomný pohyb nástroja a obrobku (obr. 2.4). Proces odoberania triesky je možné simulovať priamo v softvéri. Nakoniec je vygenerovaný program pre riadiaci systém CNC stroja a ten je prenesený do systému CNC stroja.



Obr. 2.4 Ukážka generovaných dráh z CAM softvéru (Valentovič 2007)

2.2 Obrábaná plocha a obrábaný tvar

Ak budeme vychádzať z matematickej definície tak matematická plocha je geometrický útvar opísaný v priestore x, y, z. vzťahom:

$$z = f(x^m, y^n, k)$$

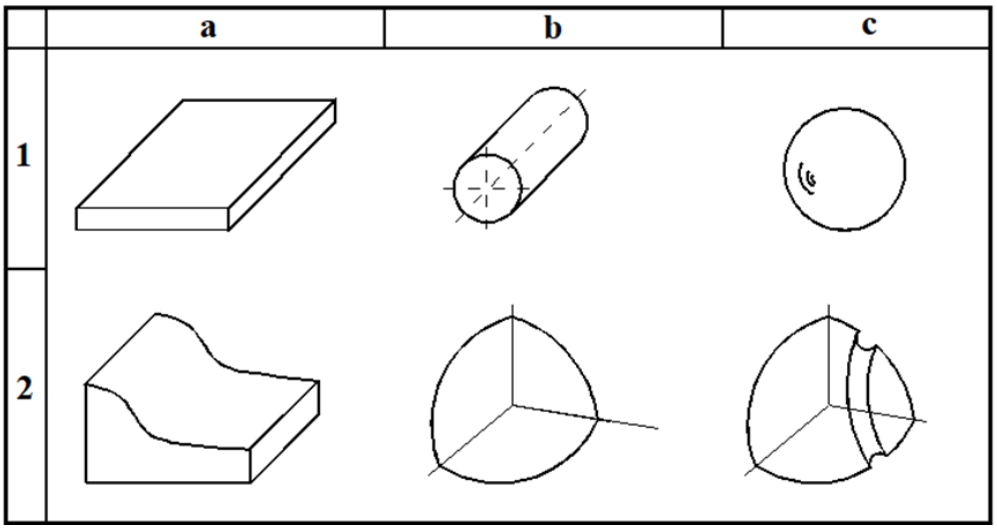
kde:
m, n sú mocnitele,
k je konštanta.

Najväčšia hodnota mocniteľa udáva rád plochy. Guľa, valec, kužeľ sú plochy druhého rádu. Tvar je teda jedna plocha, alebo súbor plôch, ktoré oddeľujú materiál súčiastky od okolia. Plochy môžu na seba plynulo nadväzovať, alebo sa pretínať v hranách (Valentovič 2005).

Prevažná väčšina obrábaných tvarov a plôch sa dá opísať matematicky. To dáva možnosti ich modelovania v 3D na počítači, ak sa vyrábajú na CNC strojoch. Zložitosť výroby závisí od stupňa matematickej zložitosti rovníc opisujúcich ich tvar. Na (obr. 2.5) je klasifikácia plôch z tohto hľadiska.

Plochy stálej krivosti sa automaticky obrábajú na tradičných strojoch, lebo vyžadujú jednoduchú lineárnu väzbu dvoch pohybov, čo sa dá zabezpečiť mechanicky (napr. väzba rotácie teda frekvencie otáčania a translácie pri sústružení valca). Takáto väzba umožňuje

na tradičných strojoch vyrábať i niektoré vybrané plochy nestálej krivosti, najmä závity a ozubenia (Valentovič 2007).

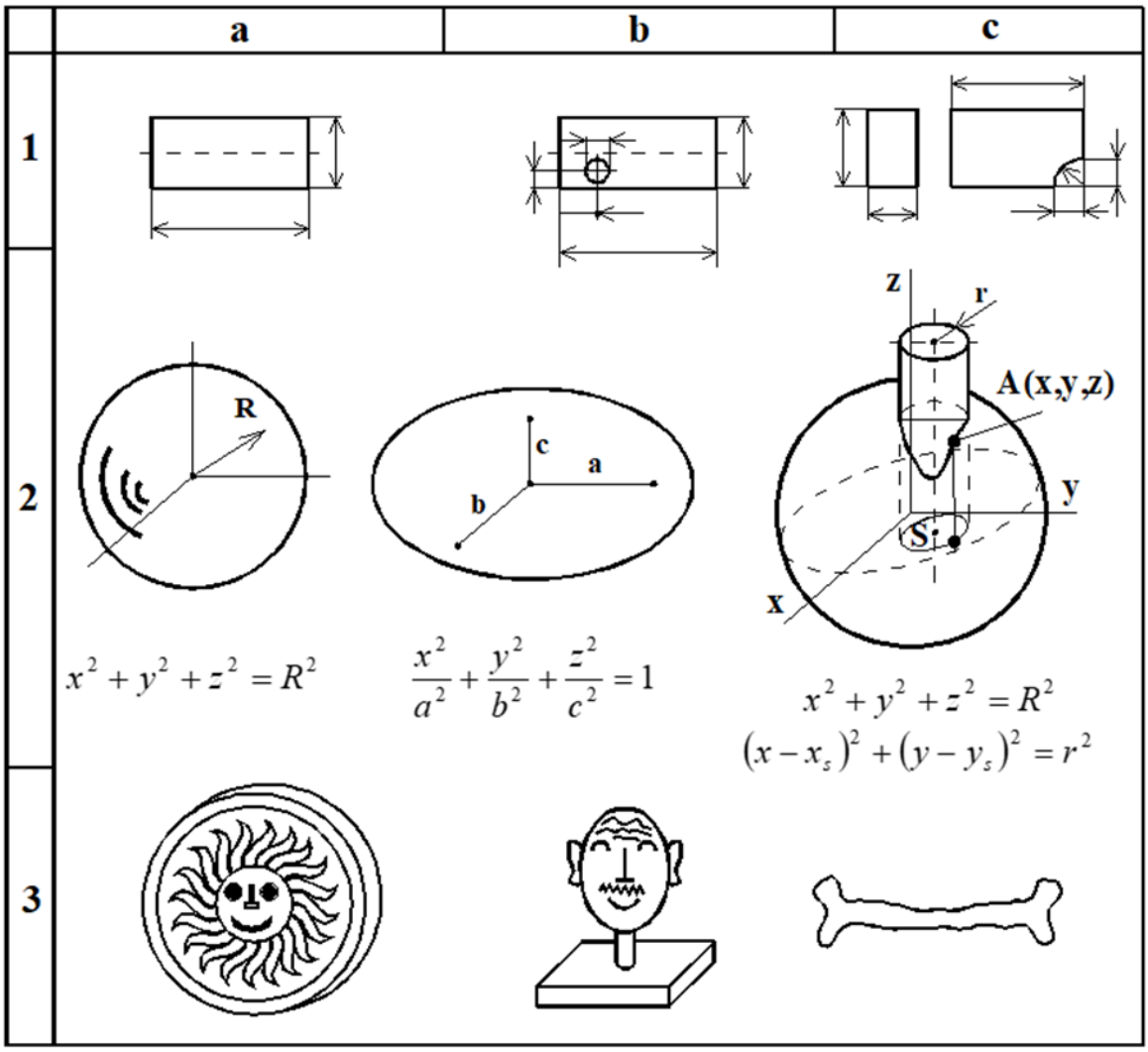


Obr. 2.5 Matematické plochy z hľadiska geometrie (Valentovič 2007)
1 – plochy stálej krivosti, 2 – plochy premennej krivosti zakrivené raz (2.5a), dvakrát (2.5b), trikrát (2.5c)

Plochy s nestálou krivosťou môžu byť alternatívne zakrivené raz (rozvinuteľné), dvakrát, alebo trikrát. Každá krivosť znamená, že stroj musí mať jednu, dve alebo až tri uhlovo-orientované osi alebo použitý nástroj musí byť s jednou, dvomi, či tromi krivosťami. Obrábanie dvakrát a trikrát zakrivených plôch s nestálou krivosťou dnes možno automatizovať na CNC strojoch vhodnej kinematiky nástrojom vhodného tvaru.

Už vyššie sme uviedli, že každá plocha má svoju matematickú definíciu danú príslušnou rovnicou. Tieto rovnice sa však neuvádzajú na výkresoch. Jednoduché plochy možno definovať kótami (obr. 2.6 – riadok 1). V CAD softvéroch môžeme využiť tzv. predmodelované plochy resp. útvary (plošné, alebo objemové prvky), ktoré majú svoju matematickú rovnicu. Táto rovnica je naprogramovaná v CAD a užívateľ iba upravuje danú plochu (obr. 2.6 – riadok 2). Ak existuje prienik dvoch plôch, rovnicu prienikovej krivky dostaneme z rovníc prenikajúcich sa plôch (obr. 2.6 – riadok 2c). Mnohé umelecké, najmä úžitkové artefakty môžeme vytvárať zo známych matematických plôch, čo nám umožňuje priamo ich modelovať na počítači. Sú však plochy vytvorené prírodou alebo umelcom, ktoré sú také zložité, že ich priame modelovanie na počítači cez ich matematizáciu nie je možné. Majú bizarné tvary, nevieme kde tieto plochy začínajú a kde končia. Nevieme kde končí plocha líca a začína plocha nosa sochy. Príroda alebo umelec nám dáva k dispozícii model. Pomocou skenera môžeme na takomto modeli zmerať súradnice veľkého počtu

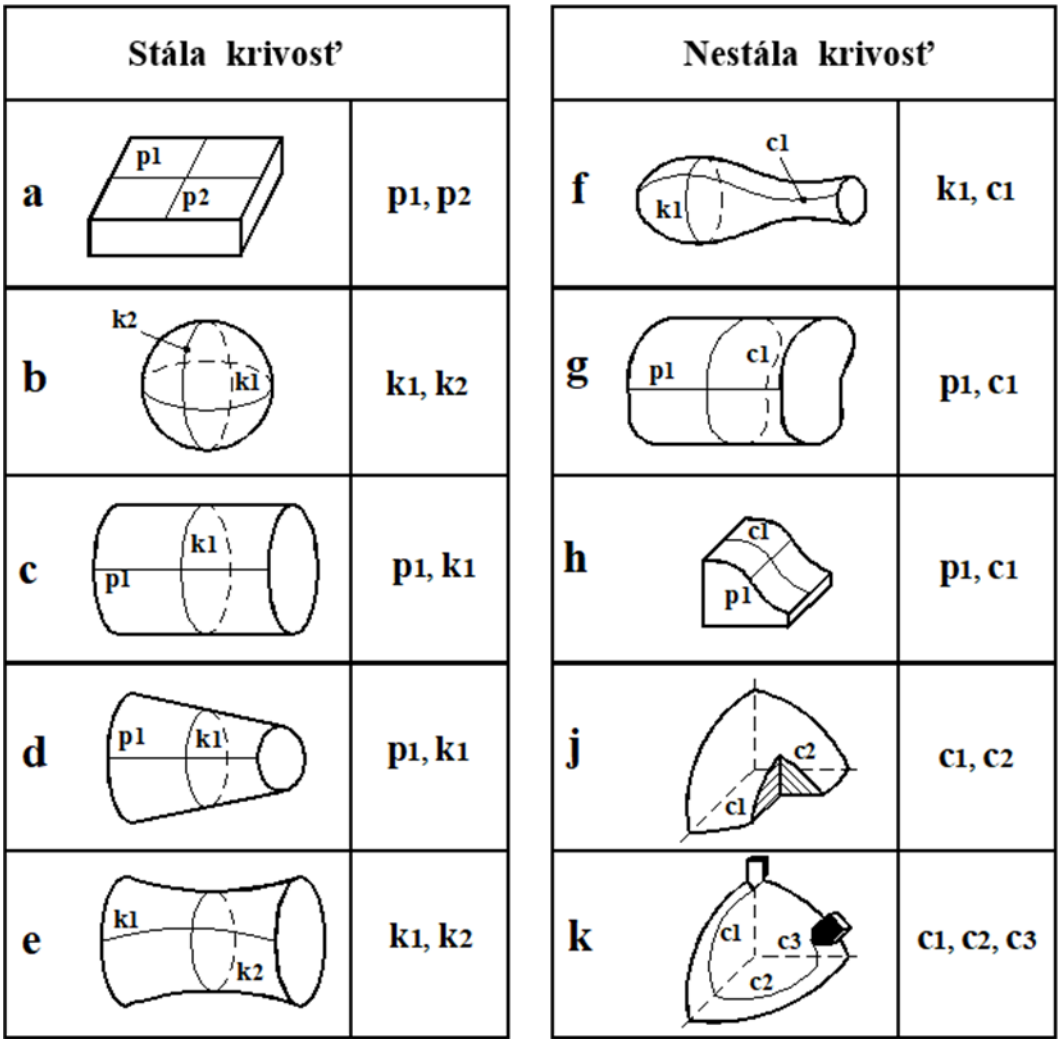
bodov a s použitím týchto súradníc môžeme vytvoriť kópiu modelu. Príklady sú na (obr. 2.6 – riadok 3) (Valentovič 2007).



Obr. 2.6 Plochy podľa vstupných údajov (Valentovič 2007)
1 – plochy dané kótami,
2 – plochy dané rovnicami,
3 – plochy dané umelcom a prírodou

Z hľadiska zakrivenia plôch máme plochy stálej krivosti a plochy nestálej krivosti. Pri plochách stálej krivosti sú čiary stálej krivosti, t. j. priamky (p) alebo kružnice (k) (obr. 2.7) alebo skrutkovice stáleho stúpania. Pri plochách premennej krivosti aspoň jedna krivka (c) je nestálej krivosti (obr. 2.7). Plochy všeobecne môžu byť zakrivené raz, dvakrát alebo trikrát. Najzložitejšie z hľadiska obrábania sú plochy trikrát zakrivené. Sú to dráhy vytvorené na plochách dvakrát zakrivených. Nôž, ktorý ich vytvára sa musí v normálovom

režime obrábania nakláňať okolo osi x, osi y a natáčať okolo vlastnej pozdĺžnej osi (obr. 2.7k).



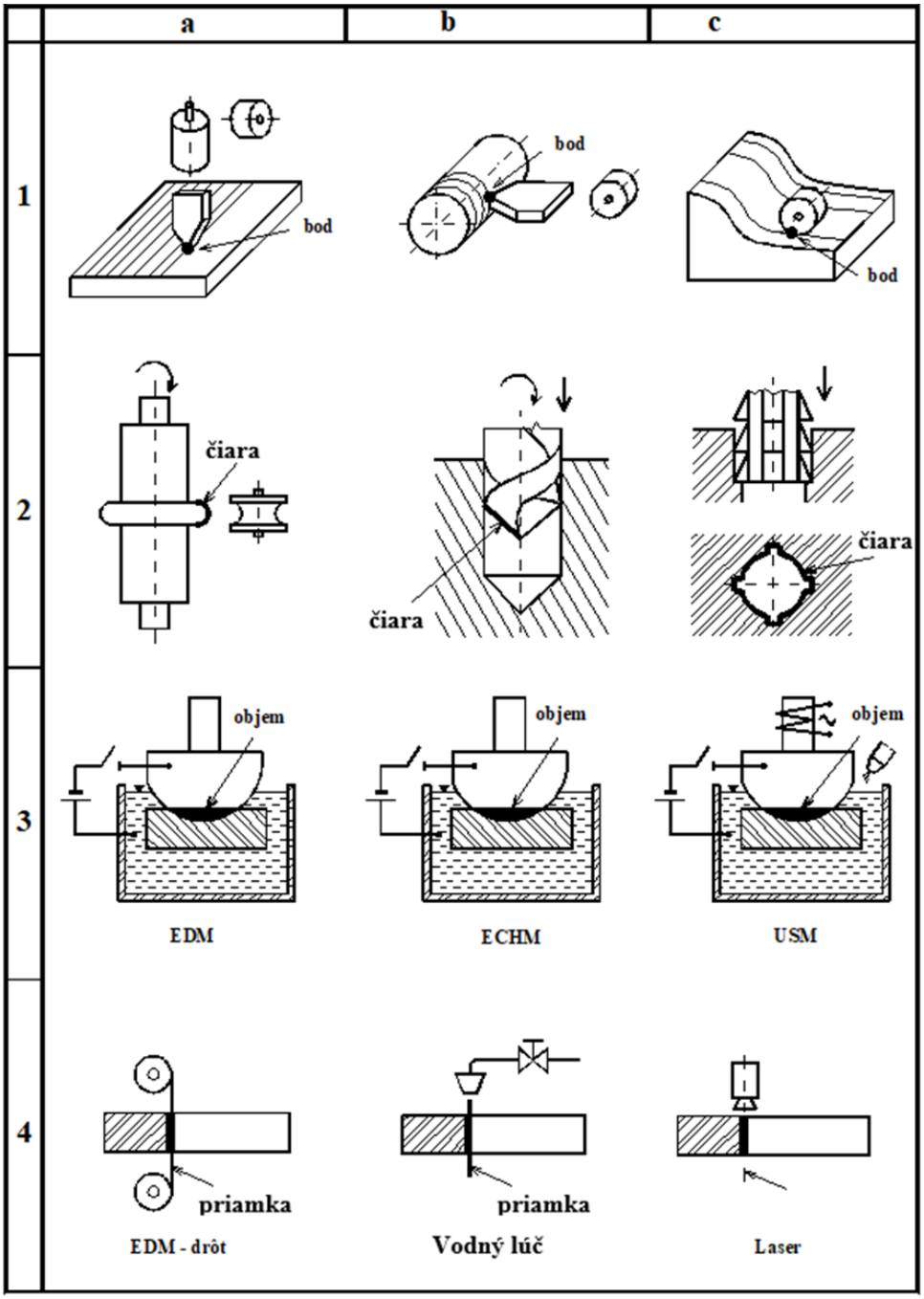
Obr. 2.7 Plochy stálej krivosti a plochy nestálej krivosti (Valentovič 2007)

Ak chceme obrábať tvar odoberaním materiálu vo forme triesky máme alternatívne na výber nasledovné metódy, ktoré sa opierajú o zákony geometrie a kinematiky (obr. 2.8) (Valentovič 2007):

1. pohybom jediného „rezného bodu“ v materiáli obrobku (riadok 1),
2. priestorovým pohybom „reznej čiary“ v materiáli obrobku (tvarové obrábanie, riadok 2),
3. odtlačením celého povrchu (plochy-množiny bodov) do materiálu obrobku (riadok 3),
4. pohybom „reznej priamky“ v materiáli obrobku (riadok 4).

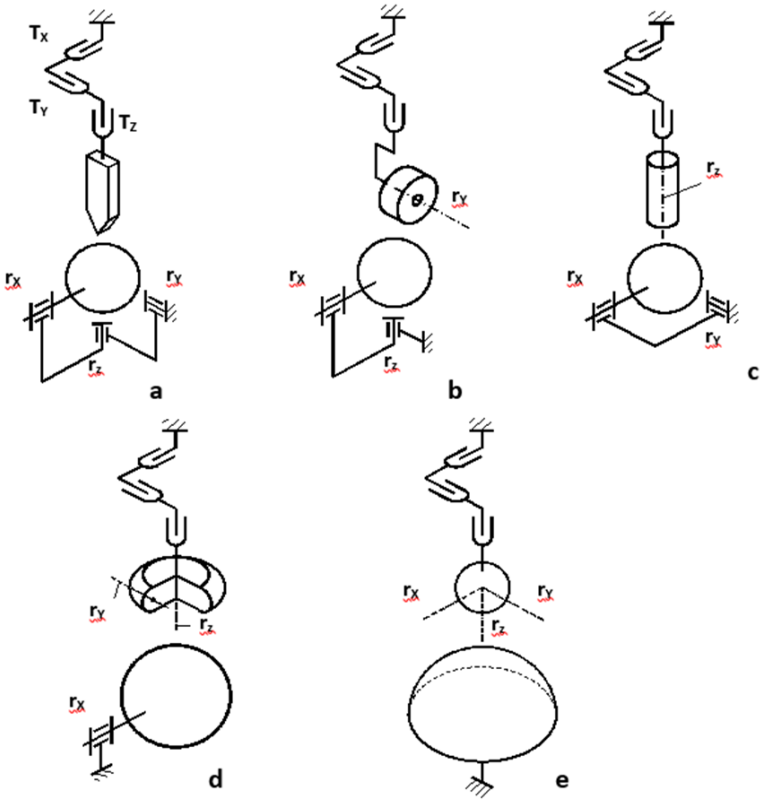
Všeobecne tu platí, že čím viac „bodov“ nástroja prevzatých z obrábaného tvaru sa pohybuje v materiáli obrobku, tým jednoduchšia je kinematika stroja.

Teoreticky by s počtom týchto bodov mala stúpať i produktivita procesu. Žiaľ, rýchlosť tvorby triesok pri objemových metódach je podstatne menšia ako pri bodových a čiarových klinových metódach (Valentovič 2007).



Obr. 2.8 Prehľad technologických metód obrábania tvaru (Valentovič 2007)
1 – **bodová,** resp. kinematická,
2 – **čiarová,** resp. tvarová (špeciálny tvarový klinový nástroj),
3 – **objemová,** resp. pomerná: EDM (a), ECHM (b), USM (c),
4 – **lúčová**: EDM drôtová (a), PASER (b), LASER (c)

Uveďme si príklad obrábania dvakrát zakrivenej plochy v tomto prípade je to guľa. Teoreticky ak chceme takúto plochu obrobiť „hrotovým“ nástrojom v normálovom smere s požiadavkou križovania sa jednotlivých dráh je nutné použiť štruktúru TTTrrr (obr. 2.9a).



Obr. 2.9 Obrábanie dvakrát zakrivenej plochy rôznymi nástrojmi (Valentovič 2007)
a, b, c, – z troch strán,
d – z dvoch strán,
e – z jednej strany

Na obrázku 2.9 si treba všimnúť, že štruktúra stroja postupne ako je do tvaru nástroja vnesená symetria tvaru v určitom smere potrebuje menej rotačných dvojíc pre vytvorenie gule. Dá sa teda povedať, že chýbajúce rotačné dvojice stroja nahrádzajú rádiusy nástrojov. Ak chceme guľu obrobiť nástrojom s „jedným rádiusom“, aby sa dráhy križovali (valcová fréza a čelná valcová fréza) postačí štruktúra TTTrr (schémy obr. 2.9b,c).

Ak je nástroj „dvojrádiusový“ (toroidná fréza) postačí schéma TTTr (schéma obr. 2.9d). „Trojrádiusovým“ (guľová fréza) nástrojom môžeme guľu obrobiť na štruktúre TTT, ale len z jednej strany (schéma obr. 2.9e) (Valentovič 2007).

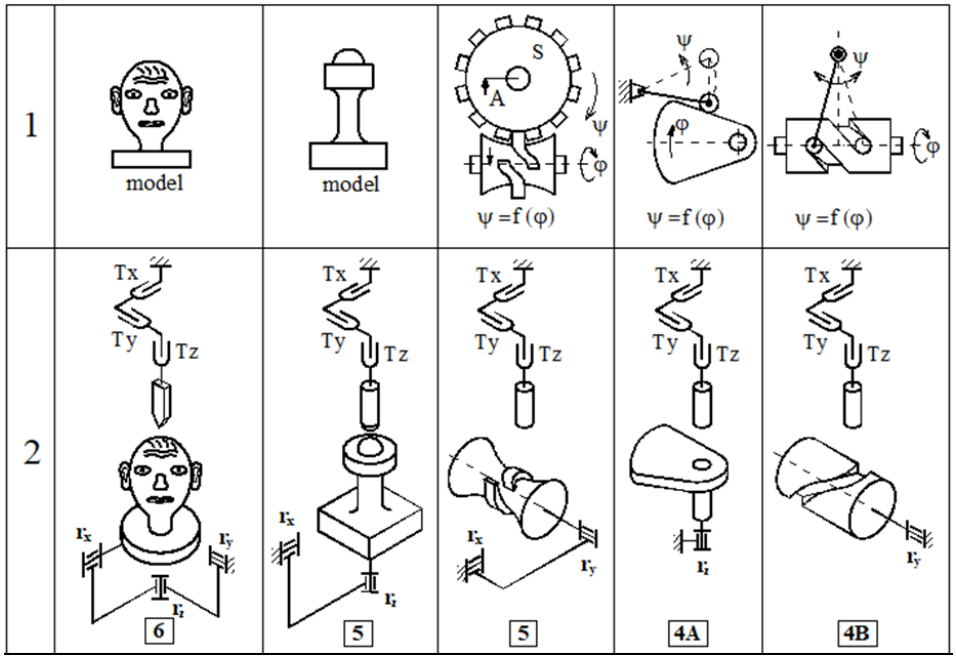
Ako vybrať pre daný tvar obrobku vhodný stroj a nástroj?

Na (obr. 2.10) je päť reprezentantov tvarov výrobku (riadok 1) a vhodné tvary nástrojov a štruktúr strojov pre ich obrábanie (riadok 2).

Sú to:

1. busta hlavy s jemnými ryhami obrobiteľnými iba „nožom“,
2. váza (fakľa) zložitá ako busta hlavy, ale ryhy sa dajú obrobiť rádiusovou frézou,
3. globoidná vačka,
4. rovinná vačka,
5. valcová vačka.

Pri buste potrebujeme stroj známy ako „šestka“, pre vázu je to „päťka“, pre rovinnú vačku „štyri A“ a pre valcovú „štyri B“. (Štvorka A sa dá prestaviť na štvorku B) (Valentovič 2007).



Obr. 2.10 Predstavitelia najzložitejších tvarov vyrábaných na strojoch S rotačnými osami (Valentovič 2007)
1 – reprezentanti výrobkov,
2 – štruktúry stroj-nástroj-obrábaný tvar

2.4 Ustavenie a upínanie

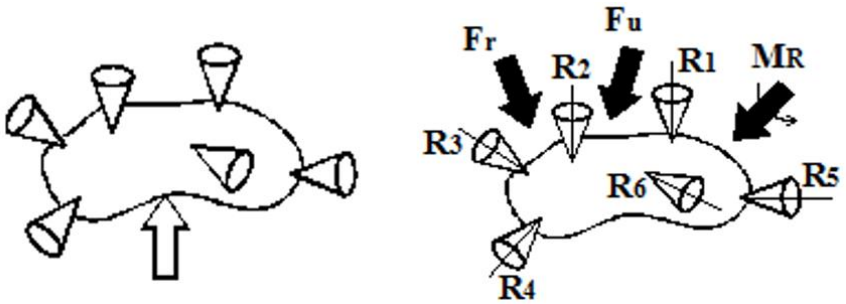
Spôsoby ustavovania a upínania sú hlavným zdrojom nepresnosti výroby. Stroje sú relatívne presné, ich opakovaná presnosť neklesne pod 0,01 mm. Ak však ten istý polotovar

je na stroj ustavený raz podľa názoru jedného robotníka, inokedy druhého, musí sa to prejaviť na opakovanej presnosti obrábania.

V prvom rade je potrebné dosiahnuť stav opakovateľnosti ustavovania a upínania i pri výrobe novej výrobnej dávky, a to nielen v rozmiestnení ustavovacích bodov, ale i rozmiestení upínacích síl a ich veľkostí.

Ustavenie je položenie polotovaru na opierky, tak, aby mu tieto odorali jeho šesť stupňov voľnosti (obr. 2.11). Všeobecný tvar je prakticky nemožné viackrát ustaviť do tej istej polohy (Valentovič 2007). Šesť stupňov voľnosti je tu rozdelených podľa formuly:

$$6 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1$$

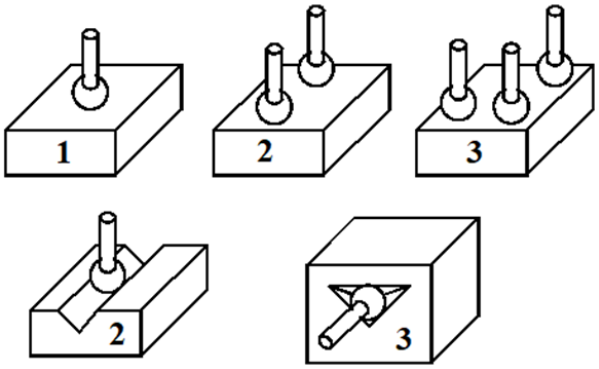


Obr. 2.11 Ustavenie všeobecného tvaru (Valentovič 2007)

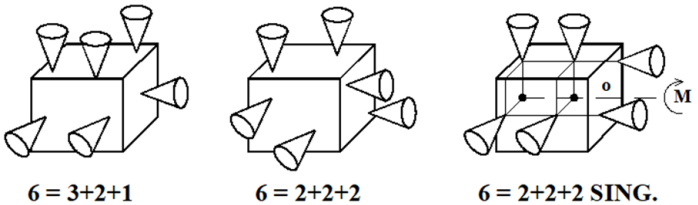
Konštrukcia upínača musí byť riešená na základe zákonov statiky. K tomu potrebujeme poznať aktuálnu výslednicu rezných síl F_r, aktuálnu výslednicu upínacích síl F_u, aktuálny rezný výsledný dvojicový moment M_r. Potom vypočítame hodnoty reakcií R_1 až R_6 metódami statiky z podmienok rovnováhy vonkajších a reakčných síl a momentov.

Je vhodné ak na povrchu polotovaru sú niektoré tvarové prvky, ktoré umožňujú naraz odobrať tri alebo dva stupne voľnosti. Napr. rovina môže alternatívne odoberať 3, 2 alebo 1 stupeň voľnosti. Tvarovaným prvkom, ktorý odoberie dva alebo tri stupne voľnosti pri guľovej opore môže byť nielen rovina, ale i „V“ drážka alebo ihlanový otvor (obr. 2.12).

Znovuustavenie hranola na 6 opier podľa formuly $6 = 3 + 2 + 1$(obr. 2.13) je bez problémov. V núdzi môžeme hranol ustaviť i podľa formuly $6 = 2 + 2 + 2$. Opory však musíme rozmiestniť tak, aby nevznikla tzv. singularita (schéma e), pri ktorej reakcie v oporách nie sú schopné zachytiť moment dvojice síl M, pretože tieto reakcie nemajú rameno k osi „o“. Dvojicový moment potom zachytia iba trecie sily. Je to stav známy v statike ako „singularita“ (Valentovič 2007).



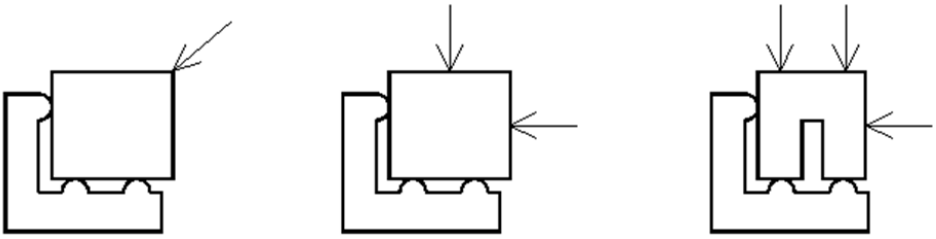
Obr. 2.12 Tvarové prvky pre ustavenie (Valentovič 2007)



Obr. 2.13 Opätovné ustavenie hranola a singularita (Valentovič 2007)

Upínacie sily môžu byť rozmiestnené tromi spôsobmi (obr. 2.14):

- jediná centrálna upínacia sila sa rozloží do všetkých opôr,
- proti každej stene upínača pôsobí upínacia sila,
- proti každej opore pôsobí upínacia sila.



Obr. 2.14 Rozmiestnenie upínacích síl (Valentovič 2007)

Pri treťom spôsobe môžeme v každej opore vyvolať vhodnú prítlačnú silu a deformácia obrobku bude malá. Nevýhodou je väčší počet aktuátorov upínacích síl.

2.4.1 Ustavenie a upínanie obrobkov

V súčasnosti vieme pre upínanie obrobkov využiť rôzne spôsoby odobratia šiestich stupňov voľnosti a tak zabezpečiť aby bol obrobok nehybný aj keď naň pôsobia rôzne druhy síl a momentov. Z hľadiska energie, ktorú použijeme na upnutie možno rozdeliť upínače na:

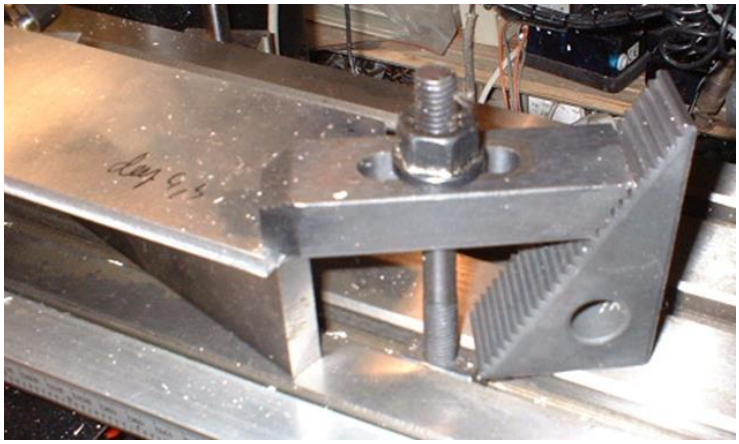
- mechanické,
- pneumatické,
- hydraulické,
- magnetické,
- vákuové.

Mechanické upínače sú z historického hľadiska najviac využívané. Sú vhodné hlavne pre menšie prevádzky, kde prevažuje kusová výroba. So vzrastajúcim počtom vyrábaných kusov (sériová prípadne hromadná výroba) je potrebné uvažovať s dostatočne rýchlou a presnou výmenou súčiastok (obrobkov) v upínači. Tu je potrebné využívať upínače pneumatické a hydraulické, prípadne je potrebné a žiadúce skonštruovať upínací prípravok. Na (obr. 2.15) sú zobrazené sady upínacích nástrojov pre mechanické upínanie obrobkov.

Obr. 2.15 Sady upínacích nástrojov pre obrobky (Hoffman 2024)

V týchto sadách sa nachádzajú úpinky, skrutky s drážkou tvaru T, matice s podložkami, výškovo nastaviteľné stojany a upínacie podložky. Ukážka reálneho upnutia súčiastky na stole obrábacieho stroja je na (obr. 2.16). Upnutie je realizované využitím T matice v drážke stola, skrutky, matice s podložkou, úpinky a upínacej podložky so „schodíkmi“.

Ďalšou možnosťou mechanického upínania je použitie zveráka, ktorý sa pripevní na stôl obrábacieho stroja. Týchto zverákov je veľa druhov a je možné vybrať si z katalógu výrobcu.



Obr. 2.16 Upnutie súčiastky na stole stroja (Présentation 2024)

Výrobcovia zverákov ponúkajú vo svojich katalógoch viacero typov mechanických zverákov. Sú to napríklad vysokotlakové zveráky, alebo modulárne zveráky, ktoré je možné zostaviť si z jednotlivých ponúkaných častí na mieru pre potreby upnutia konkrétnej súčiastky (obr. 2.17).

Obr. 2.17 Vysokotlakový a modulárny zverák (Upínacia 2024)

Pneumatické (obr. 2.18) a **hydraulické** (obr. 2.19) upínače so využívané pre upínanie obrobkov na CNC strojoch, ktoré sú nasadené v sériovej a hromadnej výrobe.

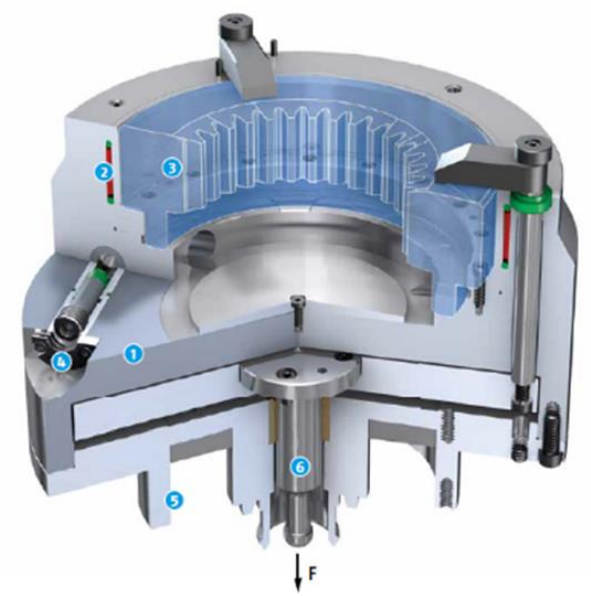
Obr. 2.18 Pneumatický zverák (NC 2024)

Mechanizmus pneumatického zveráka ťahá pri uťahovaní čeľuste smerom nadol, čím zabraňuje zdvíhaniu čeľuste a obrobku. Obrobok je možné upnúť veľmi rýchlo – obrobok sa upne počas 1,5s. V prípade že vyletí tlaková hadica, zverák sa nepovolí – zostáva utiahnutý.

Obr. 2.19 Hydraulický zverák (Vysoký 2024)

Zverák má 3 nastaviteľné uťahovacie stupne. Skrutka je uložená v puzdre pre jej ochranu proti vniknutiu prachu, triesok a nečistôt. Mechanizmus ťahá pri uťahovaní čeľuste smerom nadol. Dosadacia plocha pre obrobok kalená > 45 HRC.

Ďalšími možnosťami hydraulického upínania obrobkov sú hydraulické upínacie systémy vyrobené na mieru pre zákazníkov (obr. 2.20).



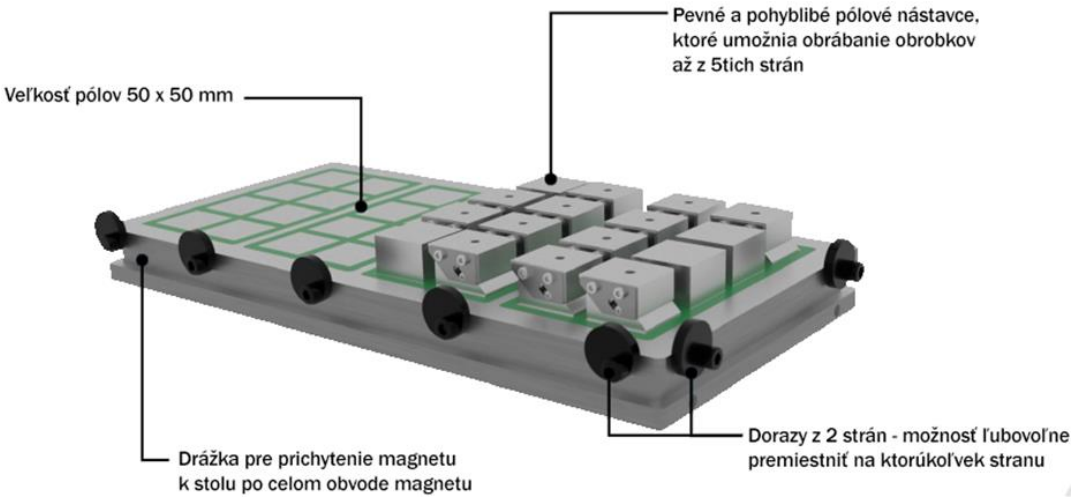
Obr. 2.20 Hydraulický upínač (SCHUNK 2014)

Upínač sa skladá z 1 – základného telesa, 2 – upínacej oblasti/rozširovacia objímka do ktorej sa vkladá 3 – obrobok/nástroj, ďalej 4 – ovládanie upínania, 5 – upínanie do stroja s 6 – čapom pre ustavenie a upnutie do upínacieho systému stroja. Výhodami tohoto riešenia upínania sú (SCHUNK 2014):

- celková presnosť opakovania < 0,006 mm,
- mnohostranné použitie: frézovanie, sústruženie, testovanie, brúsenie, rezanie ozubených kolies,
- automatické centrovanie,
- integrovaný prevodník tlaku na ovládanie.

Elektro-permanentné upínače – magnetický obvod je tvorený permanentnými magnetmi a sústavou cievok, ktoré spolu s riadiacou elektronikou zabezpečujú zapínanie a vypínanie magnetickej dosky. Tieto typy upínačov sa vyznačujú vysokou bezpečnosťou, takže pri výpadku elektrickej siete nehrozí odopnutie obrobku. Elektrický prúd sa používa len na zapnutie, vypnutie dosky a odmagnetovanie obrábaného kusu, čo trvá rádovo niekoľko sekúnd (podľa veľkosti magnetickej dosky) (SELOS 2024).

Elektro-permanentné upínače Mastermill (obr. 2.21) sú charakterizované štvorcovým usporiadaním magnetických pólov. Magnetický obvod upínača je navrhnutý tak, aby maximálne koncentroval magnetické pole do oblasti obrobku a tak zabezpečil maximálnu upínaciu silu.



Obr. 2.21 Magnetický upínač Mastermill (SELOS 2024)

Výhody elektro-permanentných dosiek je možné zhrnúť do nasledovných bodov (SELOS 2024):

- zvýšenie produktivity práce (až o 600% v celkových časoch),
- úspora elektrickej energie menšie opotrebovanie nástrojov,
- možnosť obrábania z 5 strán na jedno upnutie,
- vysoká bezpečnosť systému – počas obrábania systém nie je pod elektrickým prúdom,
- vyššia presnosť obrobených povrchov,
- vyššie rýchlosti obrábania,
- žiadne teplotné výkyvy,
- stabilná konštrukcia – upínač sa nedeformuje, prevedenie je vodotesné,
- rozmer magnetických pólov 50 x 50 mm,
- vysoká upínacia sila – až 170 N/cm^2,
- limit prebrúsenia až 6 mm,
- možnosť spájania dosiek do väčších celkov s ovládaním z jedného ovládača.

Aplikácia magnetického upínača je na (obr. 2.22)

Obr. 2.22 Aplikácia magnetického upínača (macmatic 2024)

Okrem týchto druhov magnetov sa môžeme v praxi stretnúť aj s Permanentnými upínačmi, kde je magnetický obvod vytvorený z neodymových (NdFeB) magnetov a v kombinácii s vhodným typom pólovej dosky. Vytvorí sa tak dostatočná prídržná sila pre použitie v aplikácii ako je frézovanie, alebo brúsenie (SELOS 2024). Zapínanie a vypínanie

upínača sa vykonáva mechanicky pomocou kľúča. Vo vypnutom stave je magnetické pole uzavreté v telese upínača, kým v zapnutom stave je vhodne nasmerované cez pólovú dosku do upínaného obrobku (UNIMAGNET 2024). Príklady permanentných magnetov kruhového a hranolovitého tvaru sú na (obr. 2.23).

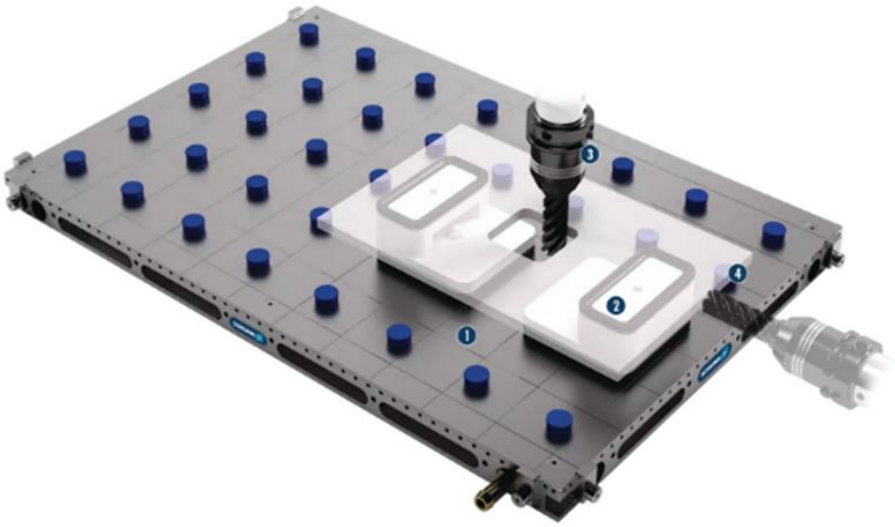
Obr. 2.23 Príklady permanentných magnetických upínačov (SELOS 2024)

Vákuové upínače resp. vákuová upínacia technológia prináša benefity ako: krátke nastavovacie časy, relatívne vysoké prídržné sily, vysoká presnosť. Pomocou tejto techniky môžeme upínať neferomagnetických (resp. nemagnetické) materiály bez deformácií. Systém je modulárny a má možnosť mobilného použitia, teda je možné ho premiestniť a využiť na inom stroji prípadne aj v inej výrobnej prevádzke (obr. 2.24) (Vákuová 2024).

Obr. 2.24 Modulárna matricová platňa na vákuové upínanie obrobkov (Vákuová 2024)

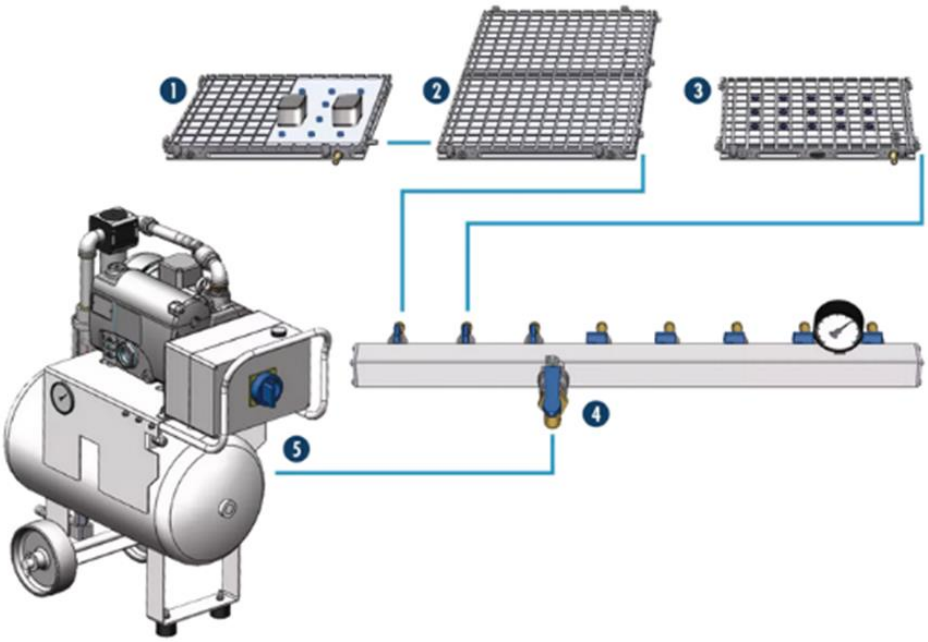
Matricové platne je možné vybaviť voliteľnými trecími ostrovčekmi na zvýšenie horizontálnych prídržných síl. V porovnaní s matricovými platňami bez trecích ostrovčekov sú horizontálne prídržné sily na matricových platniach s trecími ostrovčekmi až o 30% vyššie. Podporná platňa je v kombinácii s prísavkami riešením pre obrábanie z 5

strán a obrábanie výrezov obrobkov (obr. 2.25). Funkcia vákuovej platne: 1 – oporná platňa, 2 – prísavky, 3 – výroba výrezov, 4 – obrábanie čelnej hrany.



Obr. 2.25 Funkcie matricovej platne na vákuové upínanie obrobkov (Vákuová 2024)

Celý vákuový modulárny systém a jeho funkcie je na (obr. 2.26). Kde je: 1 – matricová platňa s opornou platňou a prísavkam i, 2 – matricová platňa modulárneho systému, 3 – matricová platňa s trecími ostrovčekmi, 4 – rozdeľovač vákua, 5 – vákuová jednotka.



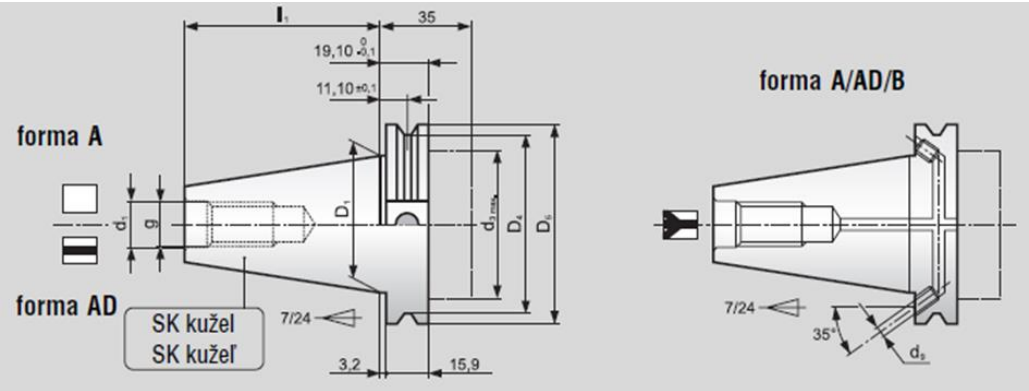
Obr. 2.26 Flexibilný modulárny systém (Vákuová 2024)

2.4.2 Ustavenie a upínanie nástrojov

V praxi nájdeme značné množstvo výrobcov a dodávateľov upínacej techniky pre nástroje. Je potrebné si uvedomiť, že nie všetci títo dodávatelia poskytujú záruku kvality upínačov, čo sa týka hlavne presnosti a v niektorých prípadoch aj kvality vyváženia držiaka nástrojov. Sú na trhu firmy, ktoré sú schopné ponúknuť spomínané držiaky s garanciou kvality. Ich portfólio zahŕňa aplikácie držiakov od výrobkov, ktoré vyžadujú mikro obrábanie až po veľkoobjemové odoberanie materiálu. Poskytujú možnosti upnutia výstružníkov, vrtákov, fréz a aj závitníkov. Pritom je kladený dôraz na nízke vibrácie a povrchy, ktoré spĺňajú požiadavky presnosti a drsnosti povrchu. Predstavme si niektoré aplikácie upínania stopkových rezných nástrojov.

Najskôr si predstavme najpoužívanejšie typy kužeľov, ktoré sa používajú pre upínanie do vretena CNC stroja. Kužele vretena CNC stroja sa zvyčajne delia na dva druhy, jeden je univerzálny systém s kužeľom 7:24 a druhý je systém HSK s kužeľom 1:10.

Pre kužeľ 7:24 existuje viacero štandardov resp. veľkostí. Najčastejšie sa stretneme so štandardom DIN ISO 7388-1 (DIN 69871) a MAS BT (obr. 2.27).

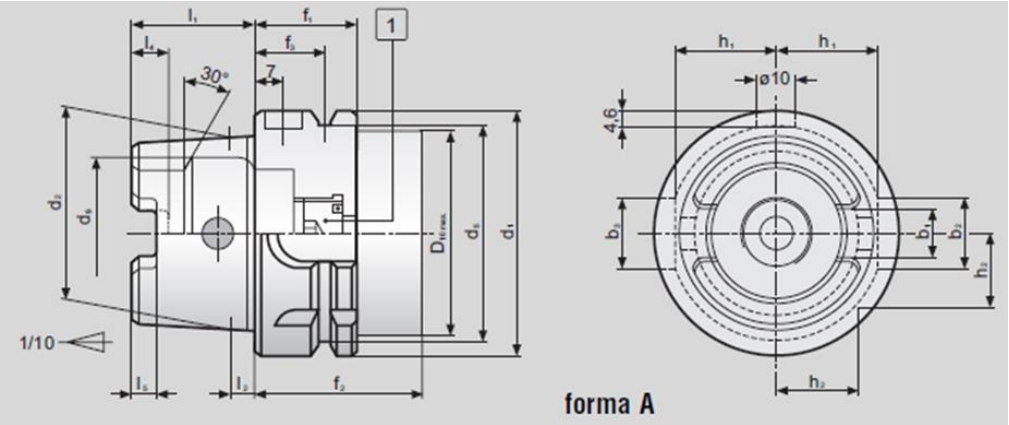


Obr. 2.27 Kužeľ štandardu SK (Commerc 2011)

SK nástrojový držiak je vysokorýchlostný nástrojový držiak, ktorý je modelom držiaka nástroja BT. Držiaky nástrojov sú upnuté pomocou ťažného čapu, ktorý sa nachádza na jeho konci (Rozdiel 2023). Ťažný čap je na (obr. 2.28). Vľavo čap pre držiak SK, vpravo čap pre držiak BT).

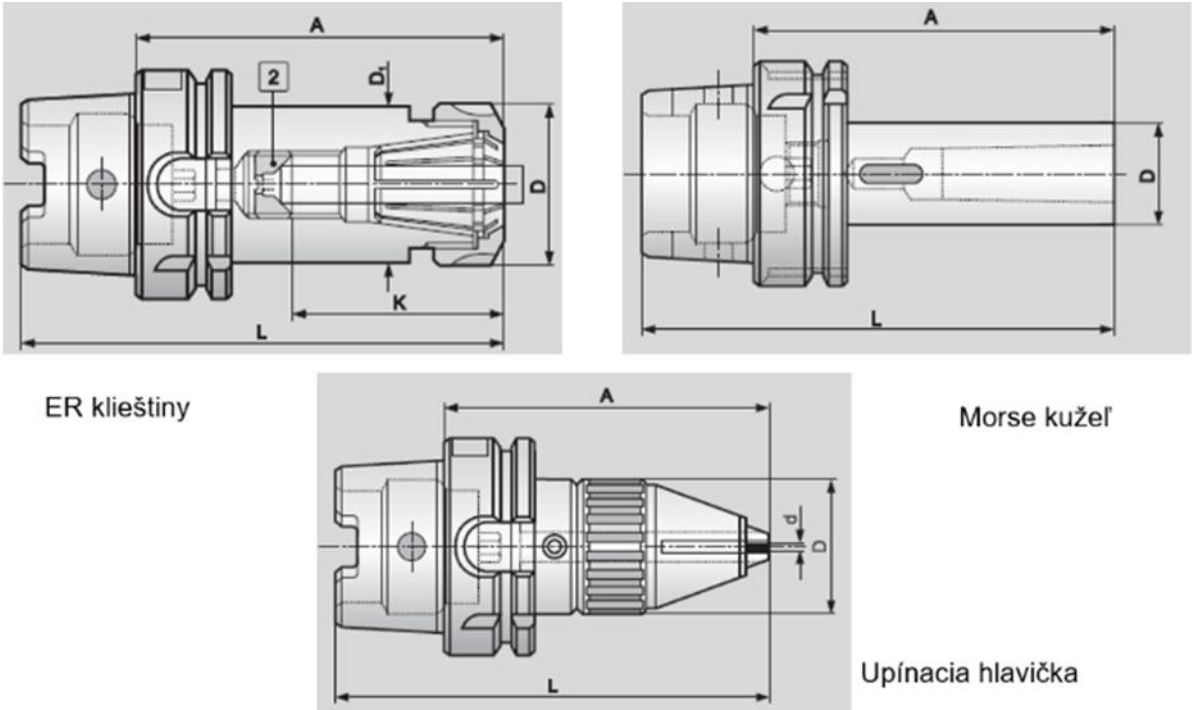
Obr. 2.28 Ťažné čapy pre držiaky SK a BT (Commerc 2024, Ceratizit 2024)

Nemecká norma pre držiaky nástrojov HSK je DIN 69873. Existuje šesť noriem a špecifikácií, HSK-A, HSK-B, HSK-C, HSK-D, HSK-E a HSK-F. Bežne sa používajú tri z nich: HSK-A (automatická výmena nástroja s vnútorným chladením), HSK-C (manuálna výmena nástroja s vnútorným chladením) a HSK-E (automatická výmena nástroja s vnútorným chladením, vysokorýchlostný typ) (Jianken 2024). Držiak HSK je na (obr. 2.29).



Obr. 2.29 Kužeľ typu HSK (Commerc 2011)

Podľa toho aký typ upínania sa nachádza na opačnej strane kužeľa môžeme upínať stopkové rezné nástroje do ER klieštin, morse kužeľa, alebo do upínacej hlavičky (obr. 2.30)



Obr. 2.30 Rôzne možnosti upínania nástrojov (Commerc 2011)

Pri upínaní do klieštín ponúkajú firmy viacero variant upínania. Záleží na požiadavke zákazníka, aké operácie bude s upínačom vykonávať. Je možné použiť držiaky pre štandardné operácie, držiaky pre výkonové obrábanie, alebo držiaky pre vysoko presné obrábanie (obr. 2.31).

Obr. 2.31 Klieštinové držiaky nástrojov (MASAM 2024)

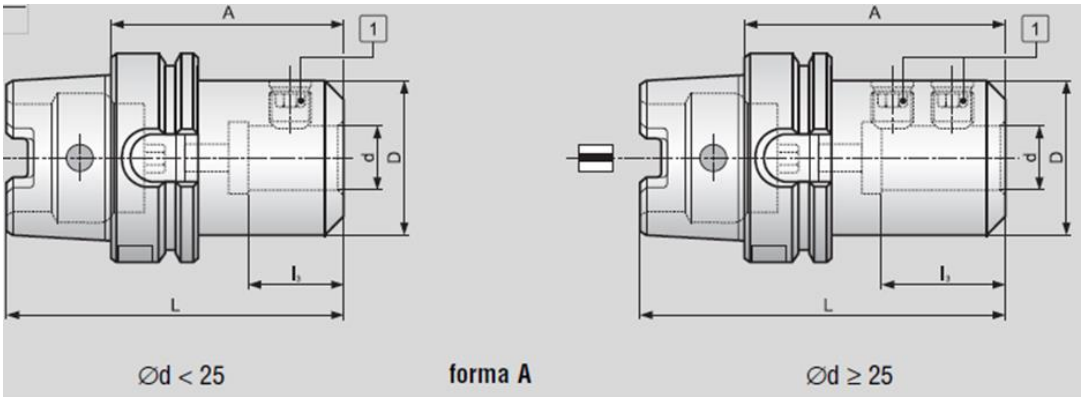
Ďalšou možnosťou upínania stopkových rezných nástrojov je upnutie do vŕtacej hlavičky. Na (obr. 2.32) sú príklady vŕtacích hlavičiek.

Obr. 2.32 Príklady vŕtacích hlavičiek (Vrtací 2024, Boukal 2024)

Vľavo je vŕtacia hlavička pre CNC stroj a pre lepšie pochopenie a porovnanie je vpravo vŕtacia hlavička pre ručnú vŕtačku. Tento spôsob upínania stopkových rezných nástrojov je

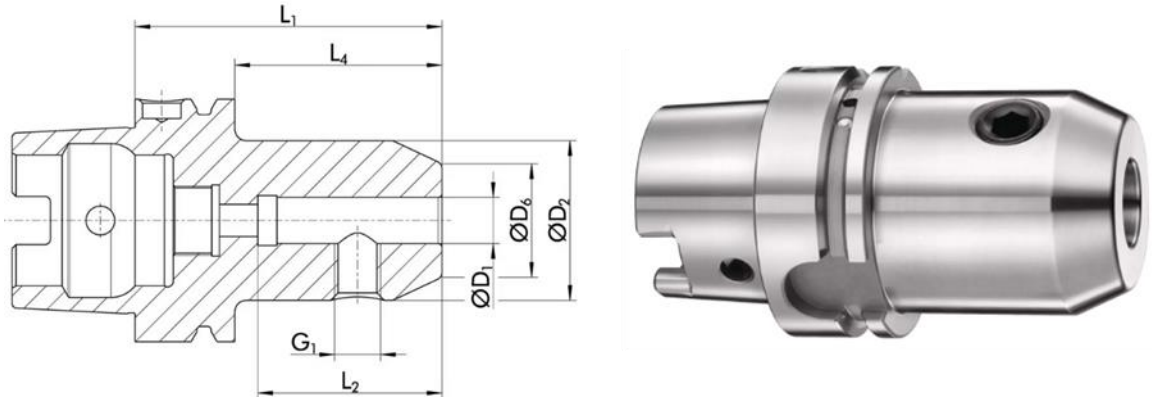
používaný prioritne pre operáciu vŕtania a preto čo sa týka presnosti nie je hlavička vhodná pre vŕtanie presných dier.

Upínač WELDON umožňuje upínanie nástrojov s valcovou stopkou a bočnou upínacou plochou. Pomocou upínacej skrutky sa zabraňuje pretočeniu a vytiahnutiu (obr. 2.33). Niektoré verzie ponúkajú prostredníctvom chladiacich kanálov periférne chladenie, ktoré je uzatvárateľné pomocou skrutiek a chladiacu kvapalinu vedie priamo k reznej hrane nástroja.



Obr. 2.33 Upínanie rezných nástrojov WELDON (Commerc 2011)

Upínače WELDON sú dodávané pre viaceré rozhrania upínacích kužeľov. Na (obr. 2.34) je zobrazený upínač pre rozhranie HSK – A 50, je určený pre konkrétny upínací priemer v tomto prípade 12 mm. Tieto upínače sú vyvážené s kvalitou vyváženia G 2,5 pre n = 25 000 min^{-1} (resp. U_{max} < 1 g.mm). Majú presnosť hádzania ≤ 0,003 mm (WEL 2024).



Obr. 2.34 Upínač WELDON pre rozhranie HSK – A 50 (WEL 2024)

Hydraulické upínače dokážu poskytnúť presné upínanie stopkových nástrojov (obr. 2.35). Tieto upínače sú vhodné pre nástroje na frézovanie, pre stroje na výrobu resp. brúsenie nástrojov, alebo aj pre sústruženie. Takéto upínače disponujú (Hydraulický 2024):

- opakovateľnou presnosťou obvodového hádzania < 0,003 mm,
- tlmením vibrácii,
- rýchlym nastavením (v priebehu sekúnd),
- presným vyvážením (G2,5 pre 25 000 min^{-1}).

Obr. 2.35 Hydraulický upínač TENDO Silver (TENDO 2024)

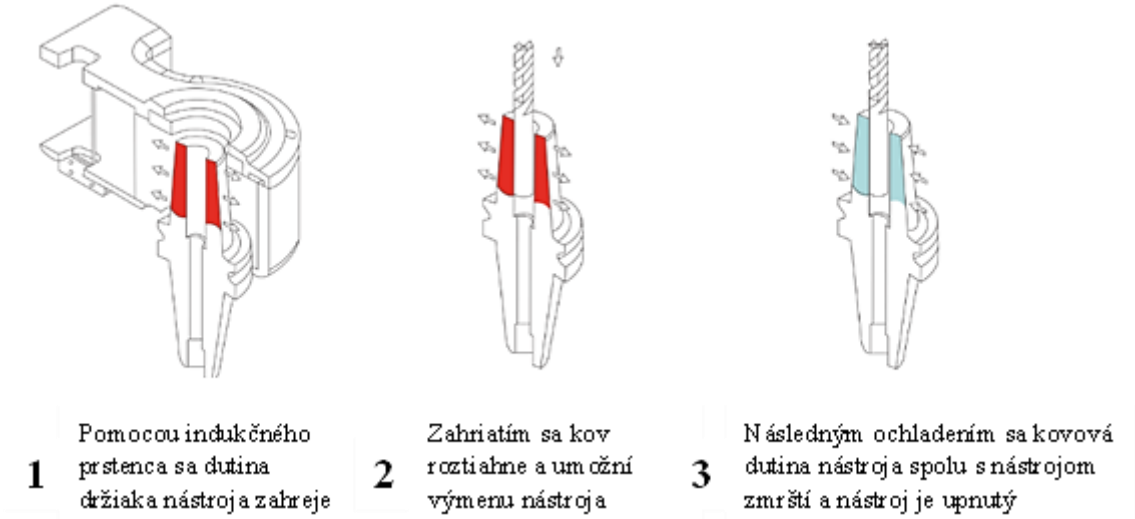
Hydraulický upínač TENDO má (TENDO 2024):

1. Upínaciu skrutku pre ovládanie upínacieho piesta pomocou inbusového kľúča,
2. Upínací piest, ktorý zatláča hydraulickú kvapalinu do systému olejovej komory,
3. Tesniaci prvok pre zabezpečenie tesnosti systému,
4. Expanzné puzdru, ktoré sa rovnomerne rozťahuje oproti stopke nástroja,
5. Komorový systém, ktorý ak sa naplní hydraulickou kvapalinou, začne pôsobiť na upnutý nástroj tlmiacim účinkom,
6. Základné teleso upínača so strojovým rozhraním, teda zodpovedajúcim typom kužeľa,
7. Nástroj.

Redukčné puzdrá umožňujú upnutie rôznych priemerov stopky v rozsahu 3-32 mm pomocou len jedného upínača nástroja (TENDO 2024) (obr. 2.36).

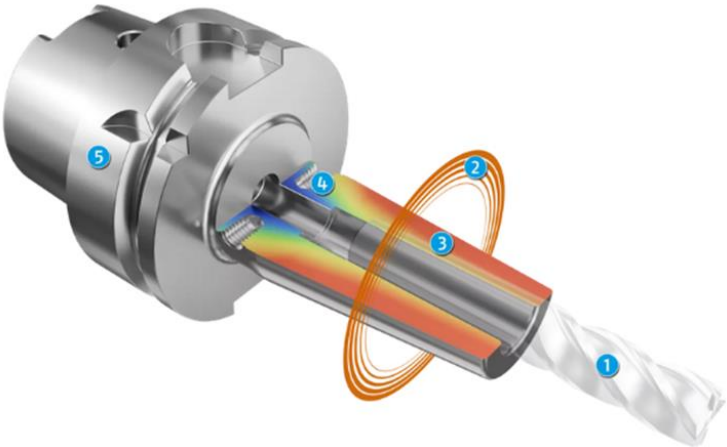
Obr. 2.36 Redukčné puzdro pre hydraulický upínač TENDO Silver (TENDO 2024)

Princíp tepelného upínania je založený na ohreve upínacej časti nástrojového držiaka elektrickou indukciou, nástroj sa vloží do držiaka a po vychladnutí je nástroj upnutý (obr. 2.37).



Obr. 2.37 Princíp tepelného upínania nástrojov (macmatic 2024)

Príklad tepelného upínača je na (obr. 2.38). Je tu nástroj – 1, na upínaciu časť držiaka – 3 pôsobia vírivé prúdy cez indukčnú cievku – 2, sú tu vyvažovacie otvory a ako celok je tu základné teleso držiaka – 5.



Obr. 2.38 Funkcia tepelného upínača (macmatic 2024)

Pre tepelné upínanie sa používaj prístroje s rôznou konfiguráciou (obr. 2.39). Môžu to byť relatívne jednoduché prístroje uložené na stole, alebo to môžu byť prístroje s aktívnym chladením nástrojovej zostavy. Môžeme ich teda rozdeliť na (ALBA 2024):

- Stolové (vzduchom chladene),
- Skriňové (vzduchom chladene, vodou chladené).

Obr. 2.39 Prístroje pre tepelné upínanie Bilz (Bilz 2015)

Pri stolových prístrojoch je proces ochladenia „manuálny“ teda na vzduchu. Niekoľko násobne efektívnejší je systém automatického chladenia nástrojovej zostavy. Celý cyklus – ohrev, upnutie ochladenie a sušenia nástrojovej zostavy prebieha v čase cca 30 sekúnd (ALBA 2024) (obr. 2.40).

Obr. 2.40 Prístroj pre tepelné upínanie s aktívnym chladením (ThermoGrip 2024)

2.5 Vyvažovanie rezných nástrojov

V ideálnom prípade by hmotnosť pneumatiky a disku, ktoré spolu vytvárajú koleso, mala byť na náprave rovnomerne rozdelená. Ak sa stane, že rozloženie hmotnosti nie je rovnomerné, dochádza k takzvanému „nevyváženiu“. Všimnete si to za jazdy, pretože sa pneumatiky nebudú otáčať „rovnomerne“. Dlhodobé nevyrovnané zaťaženie náprav môže spôsobiť ich poškodenie. Nevyváženosť si na svojich pneumatikách môžete všimnúť na základe nasledujúcich znakov:

a) Vibrácie alebo „trasenie“ volantom,
b) Znížený jazdný komfort pri rýchlostiach medzi 80 a 120 km/h,
c) Horší kontakt pneumatiky s povrchom vozovky.

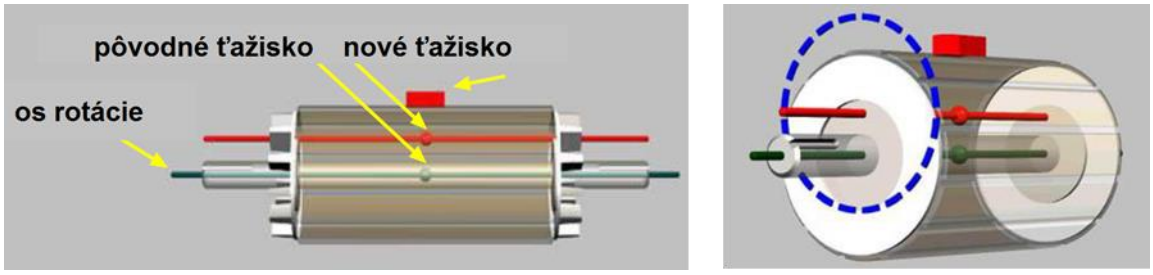
Ak nastanú vyššie uvedené prípady znamená to ísť do autorizovaného servisu, pretože nevyváženosť sa musí vyrovnať pridaním závažia na ráfik, aby sa koleso následne vyvážilo a zabránilo sa tak rýchlejšiemu opotrebovaniu dezénu (obr. 2.41)

Obr. 2.41 Prístroj pre vyvažovanie pneumatík (Barum 2024)

Podobne sa správajú aj držiaky rezných nástrojov, ktoré sú určené pre vysokorýchlostné obrábanie. Výrobcovia držiakov rezných nástrojov vyvažujú samotné držiaky vo výrobe. Poďme však najskôr ku definícii nevyváženosti. Vyvažovaním sa zaoberajú normy:

- STN ISO 1940-1 (Mechanické kmitanie. Požiadavky na kvalitu vyváženia rotorov v nemennom (tuhom) stave. Časť 1: Špecifikácia a overovanie tolerancií vyváženia),
- ANSI S2.19-1975 (Standard for Balance Quality of Rotating Rigid Bodies totožná s normou ISO,
- DIN 69888 (Requirements for balancing of rotating tool systems).

Nevyváženosť je definovaná ako stav, ktorý nastáva, keď sa os rotujúceho telesa, "os zotrvačnosti", nezhoduje s rotačnou osou. Veľkosť nevyváženosti je násobkom hmoty a polomeru, s ktorým ťažisko hmoty rotuje okolo osi otáčania (obr. 2.42).

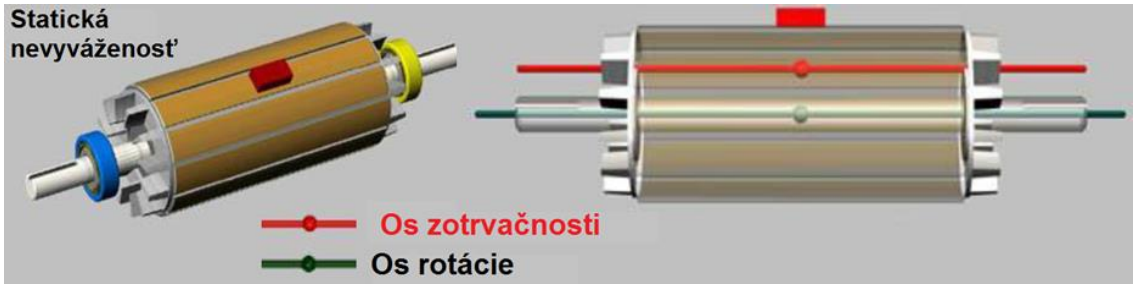


Obr. 2.42 Nevyváženosť rotora

Podľa ISO 1940-1 rozlišujeme rôzne stavy nevyváženosti, ktoré závisia na polohe hlavnej osi zotrvačnosti v pomere k osi rotácie. Vyskytujú sa tri hlavné typy nevyváženosti:

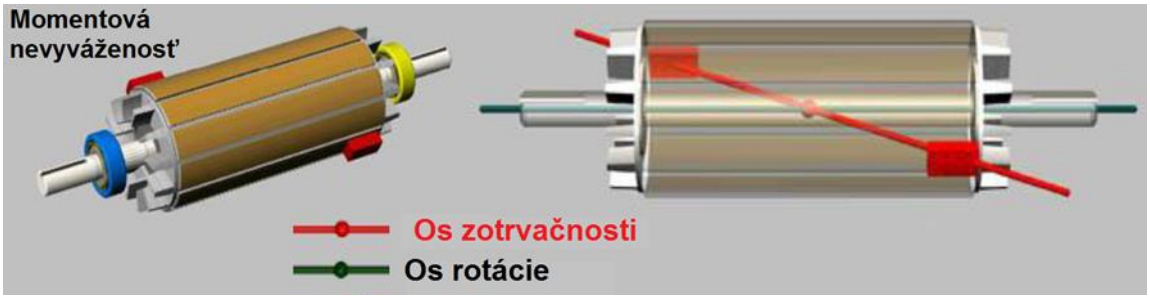
- Statická nevyváženosť,
- Dvojicová nevyváženosť,
- Dynamická nevyváženosť.

Statická nevyváženosť je prítomná ak sa hlavná os zotrvačnosti nezhoduje s osou rotácie a je rovnobežná s osou otáčania (nevyváženosť v jednej rovine). Spôsobuje posunutie ťažiska rotora z geometrického stredu, pričom rotor za prevádzky kmitá rovnobežne k svojej osi rotácie (obr. 2.43).



Obr. 2.43 Statická nevyváženosť rotora

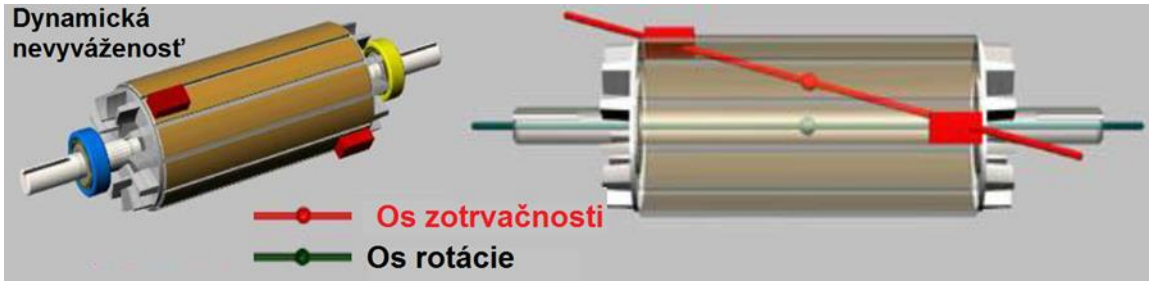
Dvojicová nevyváženosť je prítomná ak sa hlavná os zotrvačnosti nezhoduje s osou rotácie ale pretína osi otáčania v strede ťažiska rotora. Dva silové vektory môžu mať síce rovnakú veľkosť, ale ich poloha je presne o 180° proti sebe pootočená. Toto rozdelenie nevyváženosti sa už nemôže zistiť jednoduchým odvalením rotora, pretože rotor nezaujme v pokoji žiadnu jednoznačnú polohu. Otáčajúci sa rotor vykonáva kývavé pohyby okolo osi (kolmo na os rotácie), pretože oba silové vektory vytvárajú moment (obr. 2.44).



Obr. 2.44 Dvojicová (Momentová) nevyváženosť rotora

Dynamická nevyváženosť je prítomná ak sa hlavná os zotrvačnosti nezhoduje s osou rotácie, nie je s ňou rovnobežná a ani ju nepretína. Dva silové vektory v dvoch ľubovoľných rovinách majú rozdielnu veľkosť a uhlovú polohu. Pretože tento druh nevyváženosti sa dá

kompletne zistiť iba za rotácie, hovorí sa o dynamickej nevyváženosti. Táto nevyváženosť sa dá rozdeliť na statickú a momentovú nevyváženosť. Pre úplné odstránenie dynamickej nevyváženosti je potrebné dve vyvažovacie roviny (nevyváženosť v dvoch rovinách). Dynamická nevyváženosť sa vyskytuje u všetkých rotorov (obr. 2.45).



Obr. 2.45 Dynamická nevyváženosť rotora

Nežiaduce vplyvy nevyváženého nástroja a držiaku môžeme rozdeliť do troch kategórií:

Vplyv na obrobok

- Zhoršená drsnosť povrchu,
- Nesymetria na obrobku
- Nedodržanie tolerancií

Vplyv na stroj

- Odstredivá sila = veľké pnutie vo vretene
- Predčasné opotrebenie ložísk vretena
- Nižšia životnosť, vyššie náklady na údržbu

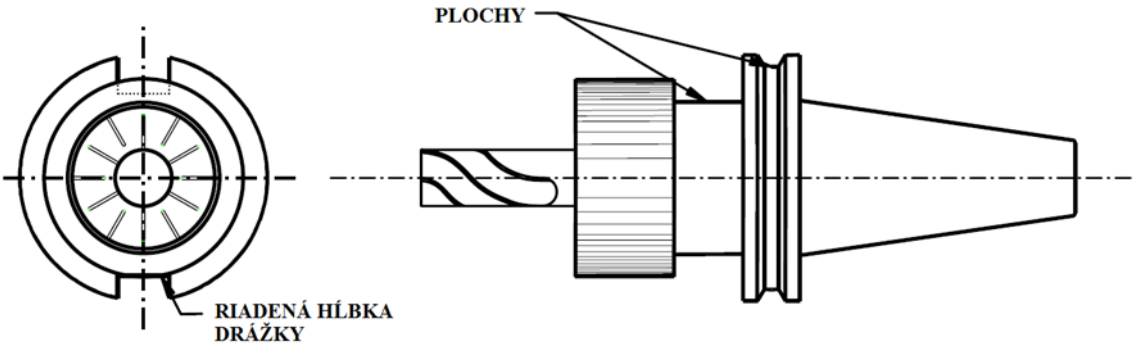
Vplyv na rezný nástroj

- zvýšené opotrebenie nástroja
- Nižšia životnosť nástroja

Výskumy ukazujú, že existujú dva typy zdrojov nevyváženosti pri vysokorýchlostných držiakoch:

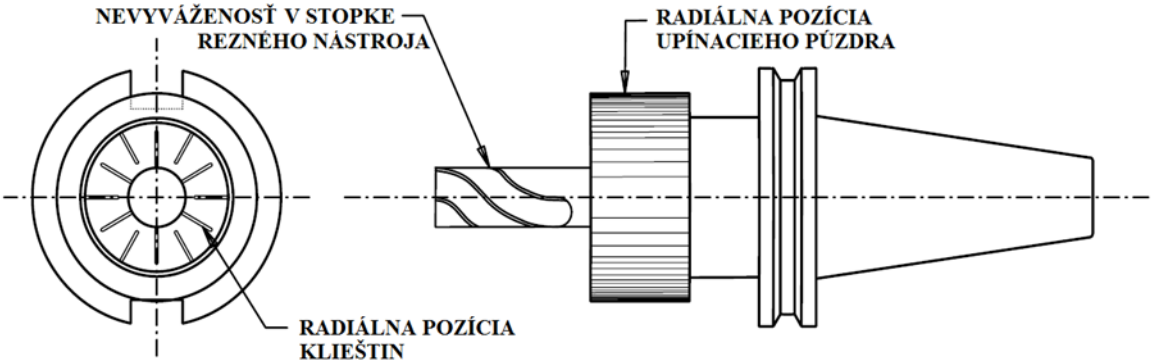
- a) Kontrolovateľná (pevné) zdroje
- b) Nekontrolovateľné (variabilné) zdroje

Kontrolovateľné (pevné) zdroje možno eliminovať buď starostlivou konštrukciou alebo vyvážením držiaka výrobcom. Všetky držiaky používané pri vysokorýchlostnom obrábaní by mali byť vyvážené výrobcom vyvažovaním v dvoch pracovných rovinách. To zaručí, že všetky pevné zdroje nevyváženosť budú odstránené z držiaka (obr. 2.46).



Obr. 2.46 Kontrolovateľné zdroje nevyváženosti (Layne 2007)

Nekontrolovateľné (variabilné) zdroje nerovnováhy treba zmeniť zakaždým, keď sa rezný nástroj uvoľní a znovu upne. Zdroje nerovnováhy sa zvyčajne nachádzajú v jednej časti držiaka nástroja - na konci rezného nástroja. Pretože sú zvyčajne sústredené okolo stopky rezného nástroja, vo väčšine prípadov je možné využiť vyvažovanie v jednej rovine (obr. 2.47).

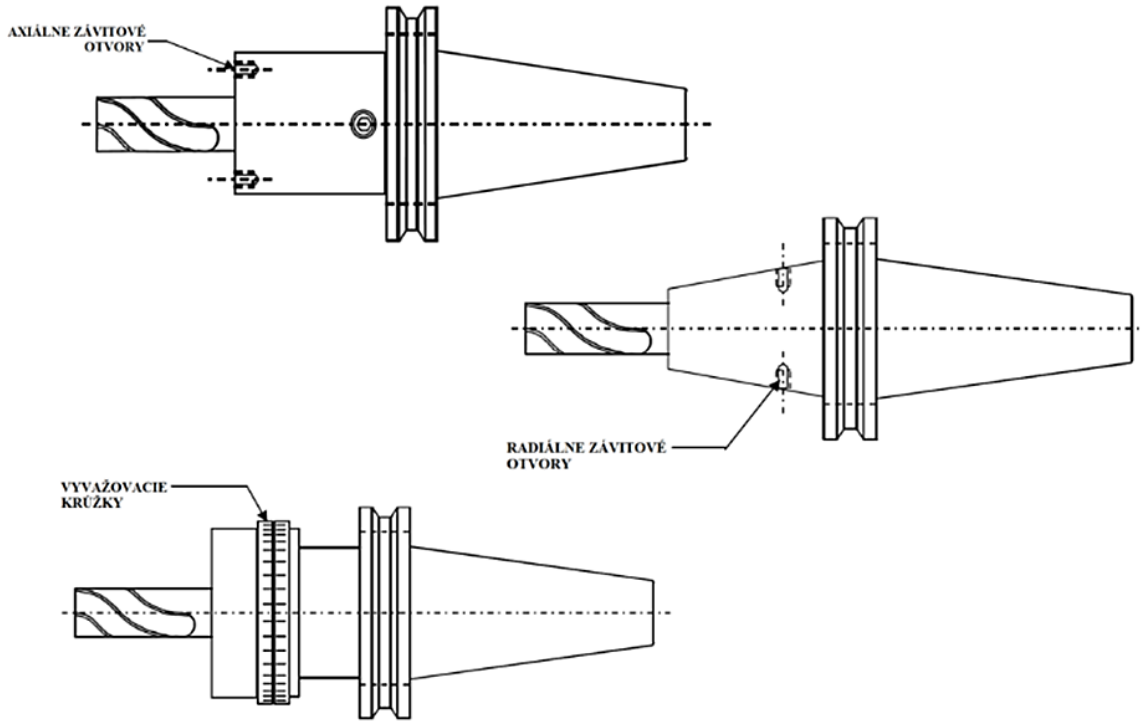


Obr. 2.47 Nekontrolovateľné zdroje nevyváženosti (Layne 2007)

Pevné zdroje nevyváženosti môžu byť ľahko odstránená z držiaka nástroja odstránením materiálu vŕtaním alebo brúsením ako súčasť procesu výroby držiaku nástroja výrobcom. Variabilné zdroje, však, môžu byť odstránené až potom, čo nástroj a držiak nástroja sú vo svojom konečnom stave pripravené na obrábanie.

Odstránenie variabilných zdrojov nevyváženosti odoberaním materiálu vŕtaním alebo brúsením nie je dobrou variantou, pretože po niekoľkých výmenách nástroja bude držiak zničený. Niekoľko výrobcov držiakov vyvinulo pre vyvažovanie svojich držiakov systém pre odstránenie variabilných zdrojov nevyváženosti (obr. 2.48):

- Axiálne závitové otvory
- Radiálne závitové otvory
- Vyvažoviacie krúžky



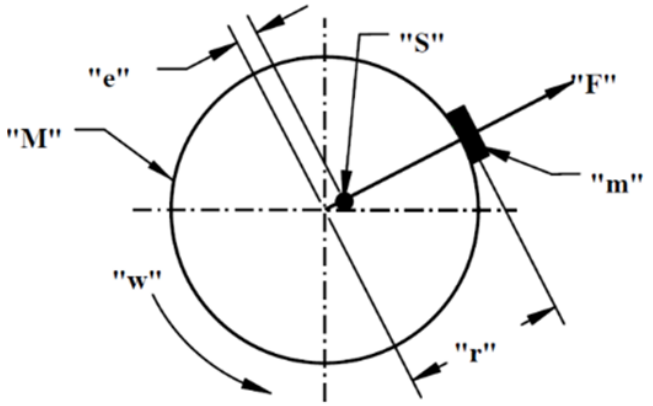
Obr. 2.48 Možnosti odstránenia zdrojov nevyváženosti (Layne 2007)

Vyvažovanie je pracovný postup, pri ktorom sa kontroluje, v prípade nevyhnutnosti upravuje rozloženie hmoty rotora tak, aby zostatková nevyváženosť alebo kmitanie čapov a/alebo sily pôsobiace na ložiská frekvenčne zodpovedajúce prevádzkovým otáčkam boli v rámci stanovených hraníc.

Pod pojmom nevyvážená nástrojová zostava (rotor) sa rozumie v praxi rotujúce teleso, ktorého hlavná centrálna os zotrvačnosti nie je totožná s osou rotácie. Vyvažovanie je potom taký pracovný postup, pri ktorom sa zisťuje rozloženie hmoty nástrojovej sústavy a pridaním alebo uberaním materiálu je korigované tak, aby sa poloha hlavnej centrálnej osi zotrvačnosti nástrojovej zostavy čo najmenej odlišovala od polohy osi rotácie.

Rozlišujeme ***začiatočnú nevyváženosť*** - je nevyváženosť akéhokoľvek druhu, ktorú má rotor pred vyvážením a ***zostatkovú (konečná) nevyváženosť*** – je nevyváženosť akéhokoľvek druhu, ktorá zostane po vyvažovaní.

Výpočet nevyváženosti



"M" - hmotnosť rotora
"S„ - ťažisko
"e" – posunutie ťažiska
"r" – vzdialenosť od stredu rotora po stred nevývažku
"ω" - uhlová rýchlosť
"m" - nevývažok
"U" – nevyváženosť rotora

Nevyváženosť rotora:

U = M . e alebo U = m . r [g.mm]

Odstredivá sila:

$F = U \times \omega^2$ kde $\omega = \frac{2\pi \,.\, ot./min}{60}$

Potom $F = m \,.\, r \left(\frac{2\pi \,.\, ot/min}{60}\right)^2$ [N]

Zvyšková nevyváženosť:

$$U_{zv} = \frac{G \,.9549 \,.m}{n} \qquad [g.mm]$$

kde	U_{zv} - je zvyšková nevyváženosť	[g.mm],
	G - stupeň akosti vyvažovania (G1,0; G2,5; G6,3)	[ms^{-1}]
	m - hmotnosť nástrojovej zostavy (držiak plus nástroj)	[kg],
	n - frekvencia otáčania	[min^{-1}],
	9549 – konštanta	[-]

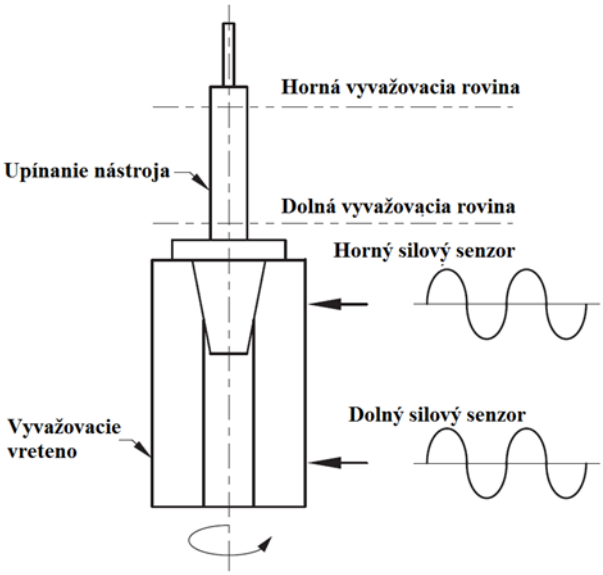
Stupne kvality vyváženia G sú navrhnuté na základe súčinu e . ω vyjadreného v mm/s. Ak veľkosť súčinu je 6,3 mm/s, stupeň kvality sa označuje G 6,3. Pre rotačné nástrojové zostavy je odporúčané vyvažovať nástroje na hodnotu ***G 2,5 m.s^{-1}*** a menej, pre maximálnu frekvenciu otáčania vretena.

V súčasnosti je množstvo výrobcov vyvažovacích systémov rezných nástrojov ako: HAIMER, HOFMANN, KAISER, DURR, CEMB. Na (obr. 2.49) je vyvažovací prístroj firmy Haimer.

Obr. 2.49 Vyvažovací prístroj Tool Dynamic firmy Haimer (Haimer 2024)

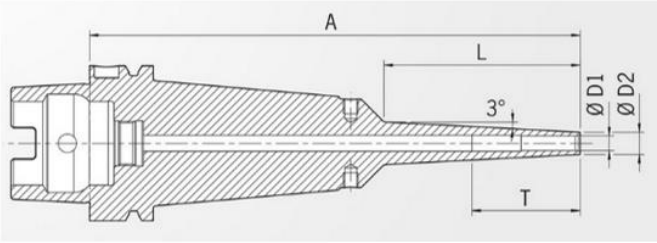
Princíp merania (obr. 2.50)

Upnutý nástroj s držiakom sa vloží do vyvažovacieho vretena a spustí sa otáčanie. Senzory zmerajú vyskytujúce sa odstredivé sily. Meranie odstredivých síl sa vykonáva v 2 rôznych rovinách pomocou vyvažovacieho vretena. Ak je smer pôsobenia odstredivých síl zhodný so smerom otáčania vretena, dostaneme sínusový signál sily. Zistenie veľkosti signálu a taktiež aj poloha uhla vzťahujúceho sa k vretenu. Zo silových signálov sa výpočítajú nevyváženosti vzťahujúce sa na vyvažovacie roviny. Ak sa poloha vyvažovacích rovín zmení, zmení sa tiež vypočítaná nevyváženosť. Zo zisteného nevývažku sa vypočíta kompenzácia nevyváženosti.



Obr. 2.50 Princíp vyvažovania

Na (obr. 2.51 je ukážka držiaka pre tepelné upínanie nástrojov s vyvažovacími otvormi.



Obr. 2.51 Príklad držiaka s vyvažovacími otvormi (Power 2024)

Literatúra

Valentovič, E., 2007. Stratégia obrábania. STU. Bratislava. ISBN 978-80-227-2657-3

Hoffman Group, Sady upínacích prvkov. 2024. [cit. 2024-02-02]. Dostupné na internete: https://www.hoffmann-group.com/SK/sk/hos/Up%C3%ADnacia-technika/Mechanick%C3%A9-up%C3%ADnacie-prvky/Up%C3%ADnacie-prvky/Sady-up%C3%ADnac%C3%ADch-prvkov/c/30-13-01-01-00?tId=844

Présentation. 2024. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na internete: http://philippe.demerliac.free.fr/Tek.htm

Upínacia technika. 2024. [cit. 2024-03-21]. Dostupné na internete: https://www.hoffmann-group.com/SK/sk/hos/Up%C3%ADnacia-technika/c/30-00-00-00-00?tId=342

NC pneumatický strojný zverák , typ VMC-P , VERTEX. 2024. [cit. 2024-06-12]. Dostupné na internete: https://www.kovonastrojecz.sk/nc-pneumaticky-strojny-zverak-typ-vmc-p-vertex/

Vysoký NC strojný zverák s hydraulickým posilňovačom, typ VQHJ, VERTEX. 2024. [cit. 2024-09-04]. Dostupné na internete: https://www.kovonastrojecz.sk/vysoky-nc-strojny-zverak-s-hydraulickym-posilnovacom-typ-vqhj-vertex/

SCHUNK, Hydraulic Expansion Technology, Customer-specific Solutions. © 2014 SCHUNK GmbH & Co. KG

SELOS Upínače na frézovanie. 2024. [cit. 2024-01-10]. Dostupné na internete: https://www.magnety.sk/upinace-na-frezovanie/

macmatic Sada Mastermill 420 x 600. 2024. [cit. 2024-03-11]. Dostupné na internete: https://www.macmatic.cz/prislusenstvi/magneticke-upinace/sada-mastermill-420-x-600-1-detail

UNMIAGNET Magnetické upínače. 2024. [cit. 2024-10-05]. Dostupné na internete: https://www.unimagnet.sk/magnety-pre-priemysel-a-obchod_k102/magneticke-upinace_k20/

Vákuová upínacia technológia. 2024. [cit. 2024-02-05]. Dostupné na internete: https://schunk.com/sk/sk/technika-upinania-obrobkov/vakuova-upinacia-technologia/c/PUB_8323

Vrtací hlavička SK40. 2024. [cit. 2024-04-8]. Dostupné na internete: https://www.zvaracky-obchod.sk/kovoobrabacie-stroje/frezy-frezky/prislusenstvo/prislusenstvo-pre-cnc-frezky/36741-vrtaci-hlavicka-sk40.htm

Boukal - Zubové skľučovadlo s kľučkou Narex XX 13-B16 (1,5-13 mm). 2024 [cit. 2024-1-15]. Dostupné na internete: https://www.boukal.sk/zubove-sklucovadlo-s-kluckou-narex-xx-13-b16-1-5-13-mm/10710/produkt#gallery-1

Commerc Service. 2011. [cit. 2011-04-25]. Pramet upínače. Dostupné z WWW: http://www.commercservice.sk/images/pramet%20upinace.pdf

Rozdiel medzi držiakom nástroja BT a držiakom nástroja SK. 2023. [cit. 2023-10-23]. Dostupné na internete: https://sk.newrgytools.com/info/difference-between-bt-and-sk-tool-holder-89110758.html

Commerc Service Upínacie čapy. 2024. [cit. 2024-10-30]. Dostupné na internete: https://www.loziska-naradie.sk/kategoria/upinacie-capy

CeratizitUpínacie čapy pre nástroje podľa ISO 7388-2. 2024. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na internete: https://cuttingtools.ceratizit.com/sk/sk/products/82534030.html

Jianken Stručný úvod a rozdiely medzi držiakmi nástrojov BT, SK a HSK. 2023. [cit. 2023-10-20]. Dostupné na internete: https://sk.jian-ken.com/news/brief-introduction-and-differences-of-bt-sk-a-58799135.html

MASAM Upínanie nástrojov a obrobkov. 2024. [cit. 2024-01-09]. Dostupné na internete: https://masam.sk/produkty/upinanie-nastrojov-a-obrobkov/upinanie-nastrojov-a-obrobkov/

WEL HSK-A50 Ø12x80. 2024. [cit. 2024-05-26]. Dostupné na internete: https://schunk.com/sk/sk/nastroje/rychly-vyhladavac-upinacov-nastrojov/weldon/wel-hsk-a50-12x80/p/000000000000263513

Hydraulický expanzný upínač nástrojov TENDO. 2024. [cit. 2024-06-05]. Dostupné na internete: https://schunk.com/sk/sk/technika-upinania-nastrojov/upinace-nastrojov/hydraulicky-expanzny-upinac-nastrojov-tendo/c/PUB_8653

macmatic Tepelný upínač ISF 1000. 2024. [cit. 2024-05-14]. Dostupné na internete: https://www.macmatic.cz/prislusenstvi/tepelny-upinac-isf-1500-1-detail

CELSIO Upínač nástrojov s tepelným zmršťovaním. 2024. [cit. 2024-09-03]. Dostupné na internete: https://schunk.com/sk/sk/nastroje/rychly-vyhladavac-upinacov-nastrojov/celsio/c/PGR_4899

Bilz – Tepelné upínání. 2015. [cit. 2015-02-06]. Dostupné na internete: http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/bilz/tepelne-upinani/

ALBA Precision Bilz. 2024. [cit. 2024-11-08]. Dostupné na internete: https://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/bilz/tepelne-upinani/

ThermoGrip® Induction Technology – Advantages. 2024. [cit. 2024-01-28]. Dostupné na internete: https://www.bilz.com/products/shrink-units/induction-technology-advantages

Barum Vyvažovanie pneumatík. 2024. [cit. 2024-01-30]. Dostupné na internete: https://www.barum-tyres.com/sk/sk/car/experts-advice/tyre-balancing/

Haimer Balancing Machine TOOL DYNAMIC TD COMFORT PLUS i4.0. 2024 [cit. 2024-11-05]. Dostupné na internete: https://shop.haimer.com/en/Balancing-Machine-TOOL-DYNAMIC-TD-COMFORT-PLUS-i4.0/TD403-H03-EU

Power Mini Shrink Chuck extra slim, DIN 69893-1, HSK-A63. 2024. [cit. 2024-08-25]. Dostupné na internete: https://shop.haimer.com/en/Power-Mini-Shrink-Chuck-extra-slim-DIN-69893-1-HSK-A63/1-WA-2-054000-3-054030-4-051000-5-051040

Layne, M.H., 2007. Detecting and Correcting Unbalance in Toolholders for High-SpeedMachining, American Hofmann Corporation – Balancing News Letter. 2007 [cit. 2007-03-12]. Dostupné na internete: https://www.scribd.com/document/72774698/Tool-Holder-Balancing

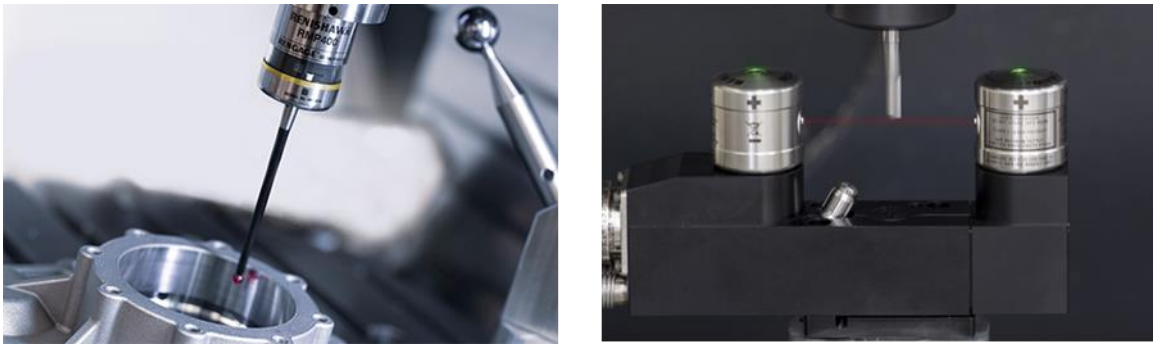
3.

Meranie na CNC strojoch

Meranie na CNC strojoch je realizované prostredníctvom meracích sond. Podľa viacerých dodávateľov sú meracie sondy uznávaným nástrojom k dosiahnutiu kvality a presnosti na obrábacích strojoch. Signály, ktoré meracie sondy vysielajú do riadiaceho systému sa spracujú prostredníctvom meracích cyklov. Využitím meracích sond v procese obrábania dosiahneme úspory nákladov a zlepšenie kvality obrábaných súčiastok. Z hľadiska použitia meracích sond v procese obrábania a technológie spracovania vysielaného signálu môžeme sondy rozdeliť na:

- dotykové sondy (pre nástroj, alebo pre obrobok),
- bezdotykové sondy (pre nástroj, alebo pre obrobok).

Na (obr. 3.1) sú zobrazené sondy používané pre meranie obrobkov (dotyková) a pre meranie a nastavovanie nástrojov (bezdotyková).



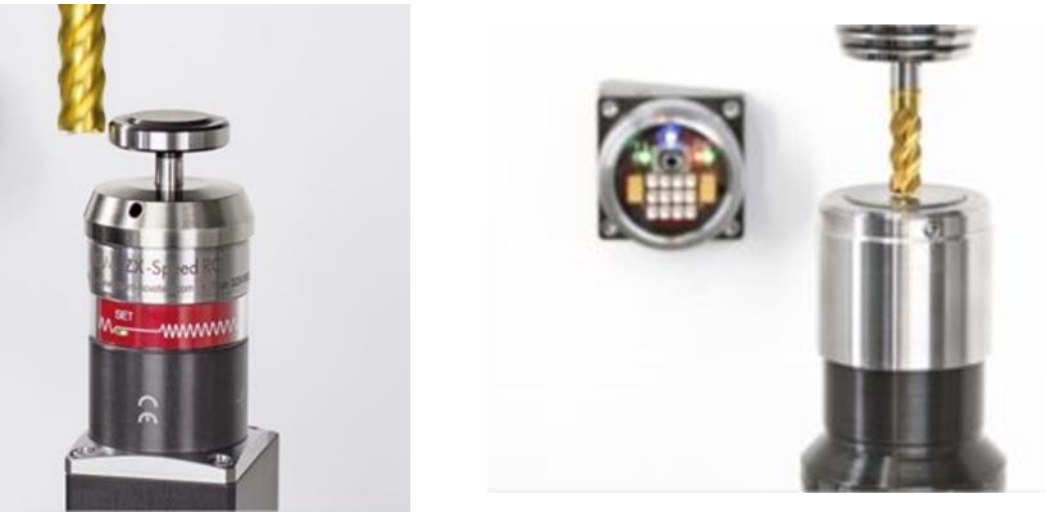
Obr. 3.1 Obrobková meracia (vpravo) a nástrojová meracia sonda (vľavo) (Renishaw 2024).

3.1 Nástrojové dotykové meracie sondy

Nástrojové dotykové sondy sa používajú pre rýchle a automatické nastavenie nástroja, pripadne pre detekciu zlomenia nástroja. Tieto sondy sú schopné efektívne riešiť presnosť obrobkov a tak zvýšiť produktivitu výroby. Výrobcovia sond deklarujú presnosť a spoľahlivosť. Výhodami nástrojových sond sú (obr. 3.2) (CNC 2024):

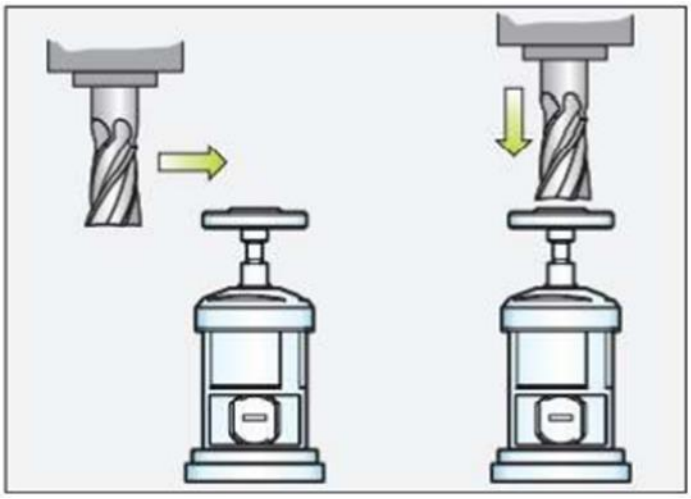
- mimoriadna časová úspora vďaka automatickému meraniu,
- minimalizácia chybovosti oproti ručnému nastaveniu nástroja,
- automatický výpočet a korekcia offsetu nástroja,

- automatická detekcia zlomenia nástroja medzi obrábacími cyklami,
- žiadne škody v dôsledku nepoznaného zlomenia nástroja,
- spoľahlivé, meranie i pod chladiacim médiom,
- možná výroba s minimálnou obsluhou.



Obr. 3.2 Nástrojové meracie sondy (vľavo) (Renishaw 2024).

Dotykové nástrojové sondy (obr. 3.3) merajú pri frézovacích nástrojoch dĺžku a priemer. Je možné aj meranie jednotlivých rezných hrán, ale na to musí byť prispôsobený aj systém. Pri dotyku nástroja o meraciu sondu systém automaticky zapíše hodnoty nástroja do tabuľky nástrojov pre výpočet ďalších dráh v NC programe.

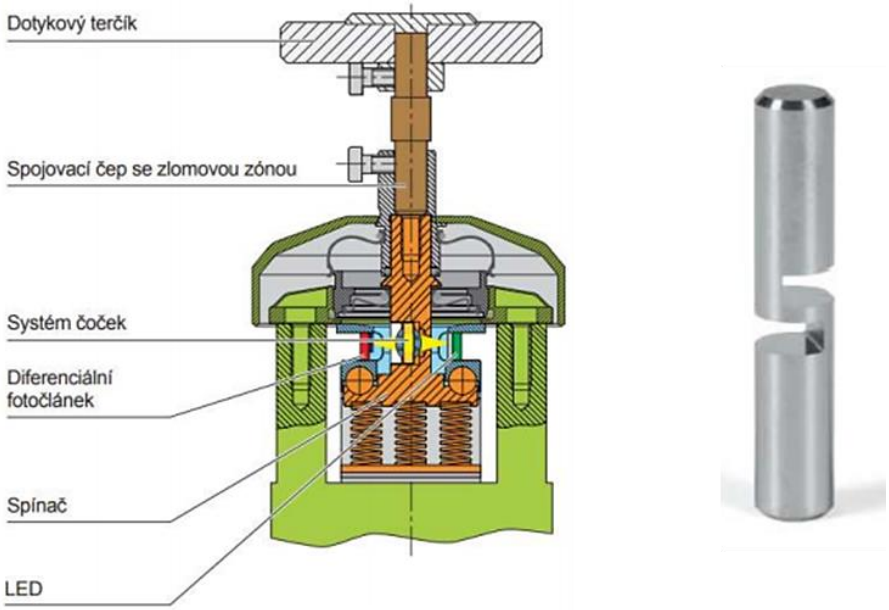


Obr. 3.3 Meranie nástrojov (Touch 2024).

Na (obr. 3.4) je princíp dotykovej sondy pre nástroj. Usmernené svetelné lúče vyžarujúce z LED diódy dopadajú na fotocitlivý senzor ako malý svetelný bod. Po

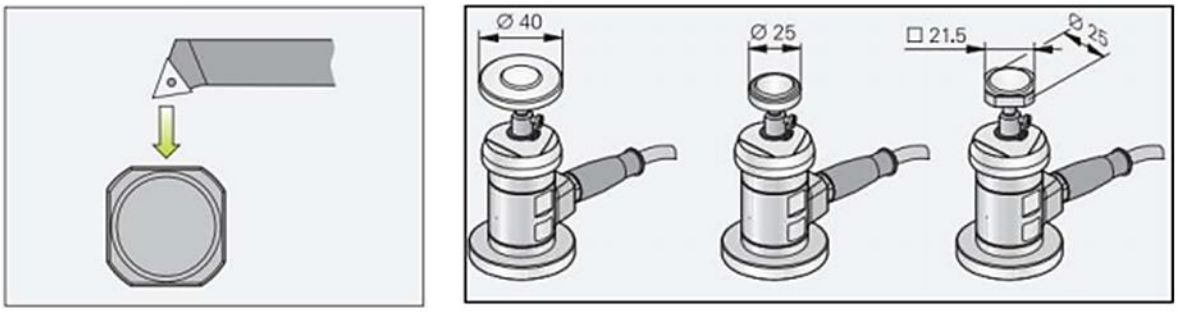
vychýlení dotykového terču sa svetelný tok taktiež vychýli a diferenciálny fotočlánok vygeneruje spínací signál.

Opakovateľnosť snímania je odchýlka zistená opakovaným meraním nástroja z rovnakého smeru pri priestorovej teplote približne 20°C. Je to hodnota 2 σ < 0,5 μm. Tvrdený dotykový terčík umožňuje snímanie aj rotujúceho nástroja. Podmienka je aby sa nástroj otáčal proti smeru rezných hrán. Maximálne dovolené vychýlenie dotykového terčíka je 5mm. Počas tejto dráhy sa musí stroj zastaviť. Ak by sa vyskytla nečakaná chyba, nástrojová sonda je opatrená zlomovou zónou. Po zlomení spojovacieho čapu nie je nutná výmena celého zariadenia. Stačí jednoducho vymeniť spojovací čap (Heidenhain 2018).



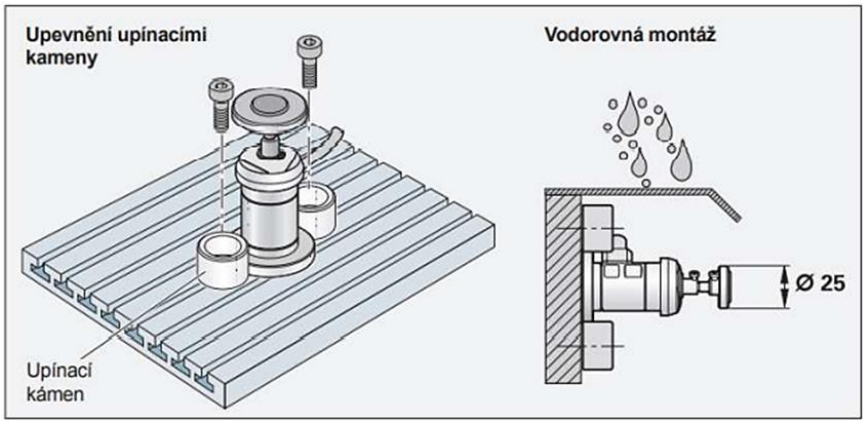
Obr. 3.4 Princíp nástrojovej meracej sondy (Heidenhain 2018).

Po výmene dotykových terčov je tiež možné merať aj sústružnícke nástroje. Vtedy musí byť sonda vybavená terčíkom priemeru Ø 25mm so zrezanými hranami na rozmer 21,5mm. K sondám sú dodávané rôzne tvary terčíkov (obr. 3.5)



Obr. 3.5 Rôzne tvary terčíkov pre nástrojové sondy (Heidenhain 2018).

Dotykové nástrojové sondy je možné upevňovať vertikálne aj horizontálne. Pri horizontálnom upevnení je odporúčané používať dotykových terčík menších rozmerov (Ø 25mm), kvôli jeho menšej váhe. Dotyková sonda musí byť počas obrábania deaktivovaná. Ak by nebola, je možné že vibráciami, či odletujúcimi trieskami by sa aktivovala a došlo by k prerušeniu obrábania (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Upevnenie a poloha nástrojovej sondy (Heidenhain 2018).

3.2 Obrobkové dotykové meracie sondy

Pomocou meracích obrobkových sond výrazne skracujeme prípravy a kontroly súčiastok, ktorými znížime prestoje, ktoré sú dosť nákladné. Ustavovanie pomocou 3D číselníkových odchýľkomerov mohlo spôsobovať chyby, ktorých sa dopúšťala obsluha stroja. Najväčšia časová strata vznikala práve pri tvarovo zložitých súčiastkach alebo upínacích prvkov pri sériovej alebo malosériovej zákazke. Automatické nastavovanie využitím obrobkových sond zvyšuje produktivitu až o 25%.

Snímacie systémy pre CNC obrábacie centrá a sústruhy sú určené k identifikácii a polohovaniu obrobku, aktívnej kontrole rozmerov obrobkov v priebehu obrábania, monitorovaniu stavu povrchu obrobku a overeniu konečných rozmerov hotového kusu pred vybraním zo stroja.

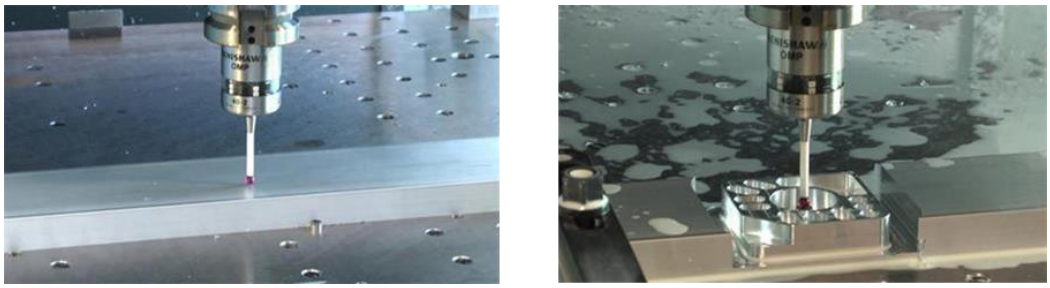
Výhody obrobkových sond – pred obrábaním

Použitie sond znižuje náklady na drahé upínače a na ručné polohovanie obrobku klasickými odchýlkomermi. Sondy upínané na obrábacích centrách do vretena a na sústruhoch do nástrojových hláv, prinášajú nasledovné výhody: zníženie doby nastavenia stroja, automatické polohovanie obrobku, natočenie súradného systému alebo polohovanie

rotačnej osy, vylúčenie chýb ručného nastavenia, zníženie počtu zmätkových kusov, zvýšenie produktivity a flexibility veľkosti dávok.

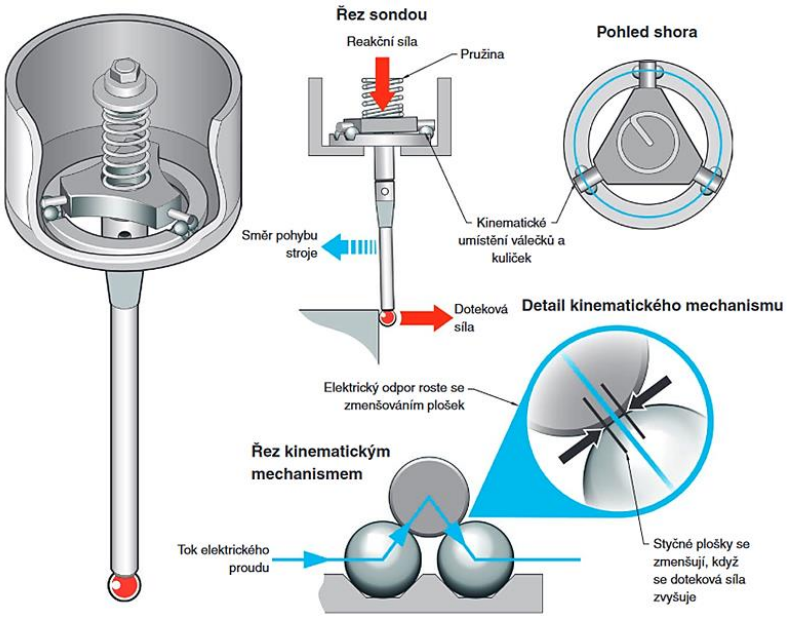
Výhody obrobkových sond – počas obrábania

Obrobkové sondy možno používať tiež na meranie počas obrábacieho cyklu a pre kontrolu prvého kusu. Ručné meranie príliš závisí od znalostí obsluhy a meranie mimo stroja je spojené s obtiažnou manipuláciou. Meranie na stroji prináša tieto výhody: automatická korekcia chýb počas obrábacieho cyklu, zvýšená istota v bezobslužných prevádzkach, adaptívne obrábanie zaisťujúce spätnú väzbu procesu a minimalizáciu odchýlok, automatická korekcia nastavenia pre premeranie prvého kusa, zníženie času nečinnosti stroja čakajúceho na výsledky kontroly prvého kusa (CNC 2024). Na (obr. 3.7) je ukážka obrobkových meracích sond.



Obr. 3.7 Obrobkové meracie sondy (CNC 2024).

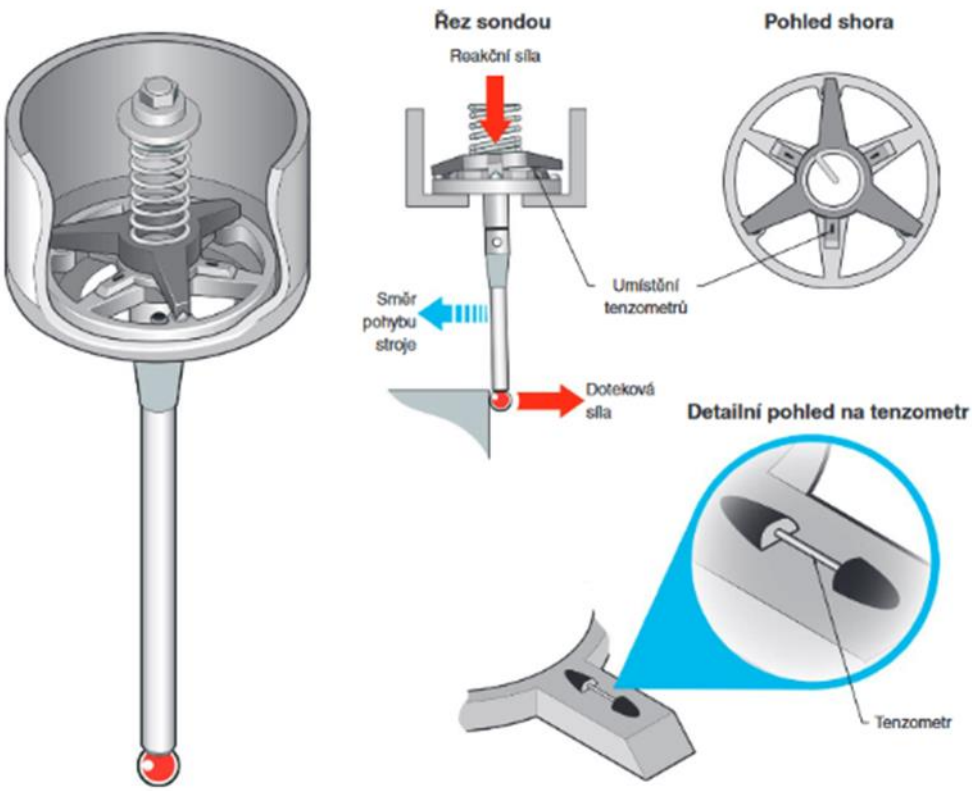
Používajú sa viaceré systémy snímania hodnôt. Jednou z nich je systém **kinematických sond** (obr. 3.8).



Obr. 3.8 Kinematická meracia sonda (Snímací 2024).

Tri rovnomerne rozmiestnené valčeky uložené na šiestich guličkách z karbidu uzatvárajú elektrický okruh. Mechanizmus je do kinematického uloženia pritláčaný pružinou. To dodáva mechanizmu možnosť vychýlenia po kolízií dotyku s meraným objektom. Po oddialení sondy od obrobku sa mechanizmus vráti späť do východzej polohy s toleranciou 1µm. Styčné plôšky na trojbodovom zavesení vytvárajú uzavretý obvod elektrického prúdu. Sily v mechanizme sondy spôsobia zmenšenie styčných plôch, čím sa zvýši elektrický odpor týchto elementov. Pri kontakte s obrobkom sa vzniknutá tlaková sila meria ako zmena elektrického odporu na styčnej plôške. (Snímací 2024).

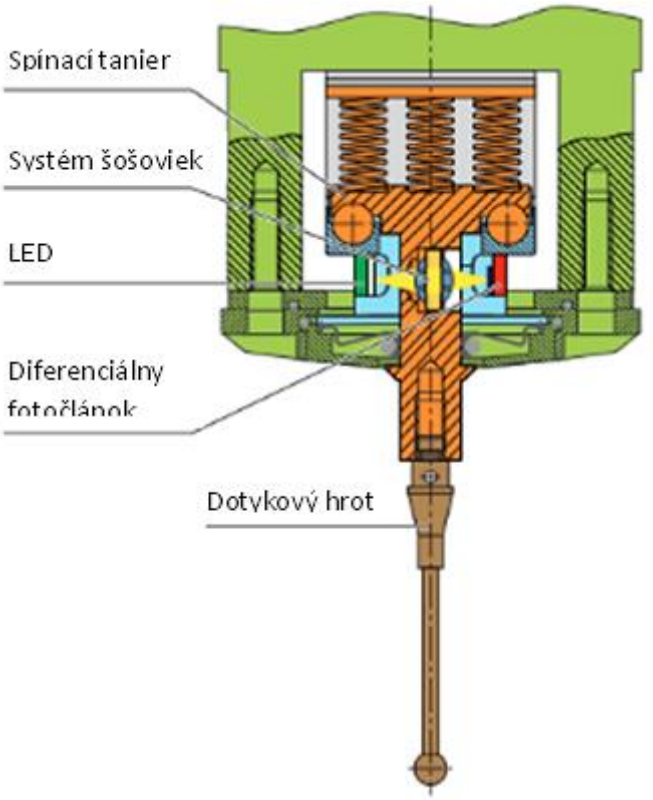
Tenzometrické sondy. Tenzometer je pasívna elektrotechnická súčiastka, používaná ako senzor nepriameho merania mechanického napätia na povrchu súčastí prostredníctvom merania jej deformácie (obr. 3.9).



Obr. 3.9 Tenzometrická meracia sonda (Snímací 2024).

Tenzometre sú upevnené na špeciálnych rebrách oddelených od kinematického mechanizmu. Pri dosiahnutí prahovej hodnoty v akomkoľvek smere je vytvorený spínací signál. Spínací signál je výrazne nižší ako u konvenčných sond. Návrat dotyku do nulovej polohy zabezpečuje kinematický mechanizmus.

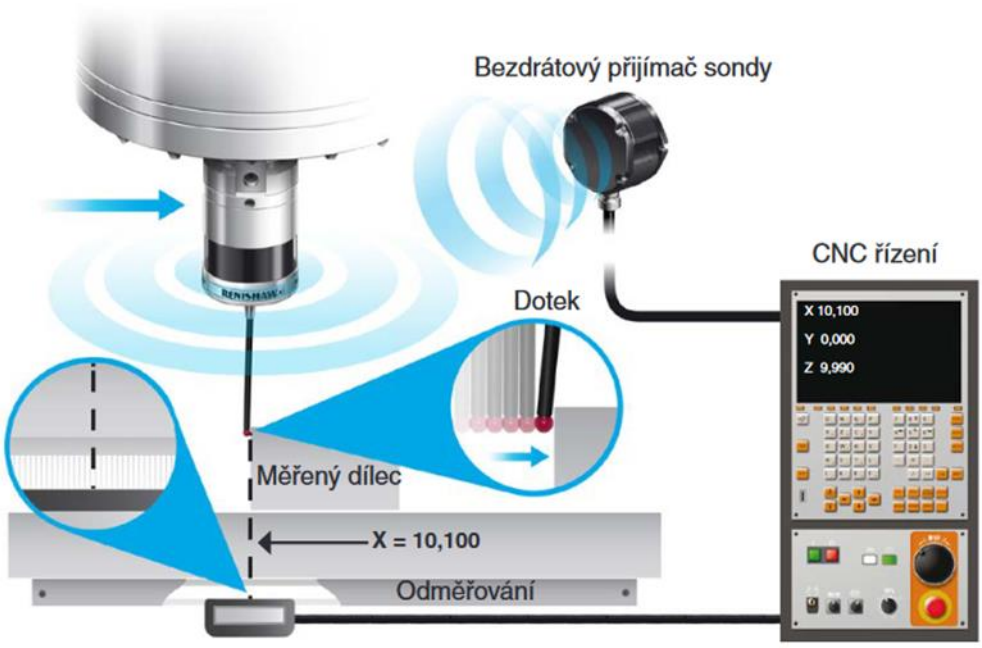
Optoelektronická sonda (obr. 3.10) funguje na vychýlení LED svetla mimo fotocitlivý prijímač. LED dióda vysiela svetelné lúče cez sústavu šošoviek upevnených na 3 bodovom kinematickom mechanizme. Tieto šošovky usmerňujú svetelné lúče na malý bod smerujúci priamo do diferenciálneho fotočlánku. Po vychýlení dotyku sa svetelné lúče vyhnú a diferenciálny fotočlánok vytvorí spínací signál.



Obr. 3.10 Tenzometrická meracia sonda (Touch 2024).

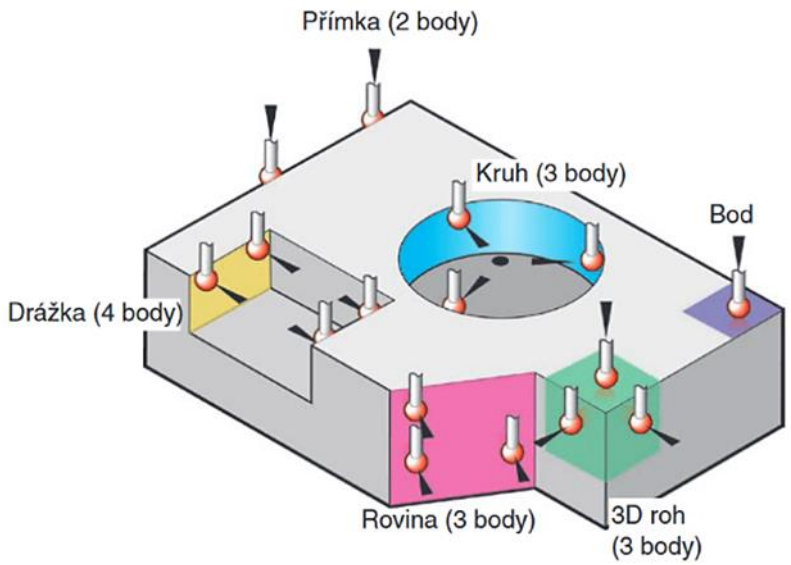
Mechanizmus sondy spína pri kontakte s meraným obrobkom. Sondy bývajú najčastejšie používané vo vretene stroja alebo revolvery sústruhu (obr. 3.11) Meranie prebieha v nasledujúcich krokoch:

- merací cyklus ovládaný riadiacim systémom napolohuje sondu na bezpečnú vzdialenosť od meraného bodu.
- dotyk sa začne približovať meranému obrobku.
- pri dotyku sonda zopne kontakt a vyšle signál (svetelný, rádiový, elektrický) do prijímača sondy.
- prijímač vyšle signál do riadiacemu systému, ktorý zaznamená polohu z priameho odmeriavania stroja



Obr. 3.11 Meranie sondou inštalovanou vo vretene stroja (Snímací 2024).

Po zosnímaní bodu z povrchu meraného obrobku sa sonda presunie na ďalší bod. Z viacerých snímaných bodov sa dá vyhodnotiť tvar a veľkosť meraného prvku. Minimálny počet bodov potrebných na meranie zvoleného prvku je určený počtom stupňov voľnosti daného prvku. Meranie sa realizuje porovnaním meraného prvku s jeho ideálnou hodnotou, napríklad kruhom, priamkou alebo rohom. Porovnanie skutočného a predpokladaného rozmeru sa zistí veľkosť odchýlky (obr. 3.12).



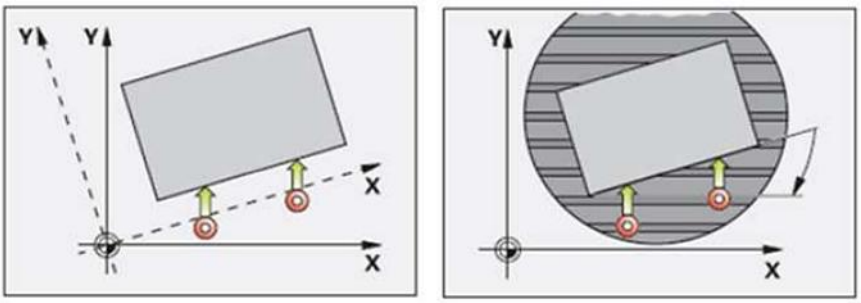
Obr. 3.12 Počet dotykov pre meranie rôznych tvarov (Snímací 2024).

3.3 Príklady aplikácie dotykových obrobkových sond

Dotykové obrobkové sondy sa v prvom rade používajú pre ustavenie obrobku v priestore obrábacieho stroja. Tu môžeme realizovať operácie, ktoré máme k dispozícii v riadiacom systéme CNC stroja. Tieto operácie sú naprogramovane pomocou cyklov. Môžeme ta realizovať tieto meracie cykly (Touch 2024):

- identifikácia obrobku a výber správneho NC programu,
- ustavenie polohy referenčného prvku na obrobku a natočenie súradného systému stroja,
- zistenie prídavku na obrábanie a určenie hĺbky triesky pre hrubovacie a dokončovacie operácie,
- správna orientácia obrobku na stole stroja tak, aby bolo možné pri obrábaní dosiahnuť na požadované plochy.

Sonda zosníma body na obvode ľubovoľne upnutého obrobku. Týmto zistí umiestnenie predmetu na pracovnej ploche. Riadenie prepočíta a uloží merané body aktuálneho obrobku do pamäte stroja (obr. 3.13).



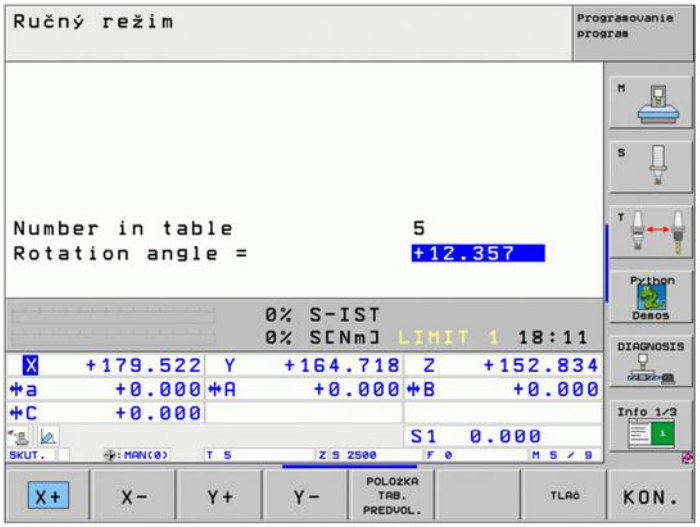
Kompenzácia šikmej plochy (odklonu) pomocou základného natočenia súradnicového systému

Kompenzácia šikmej plochy (odklonu) pomocou natočenia otočného stola

Obr. 3.13 Snímanie natočenia súčiastky (Touch 2024).

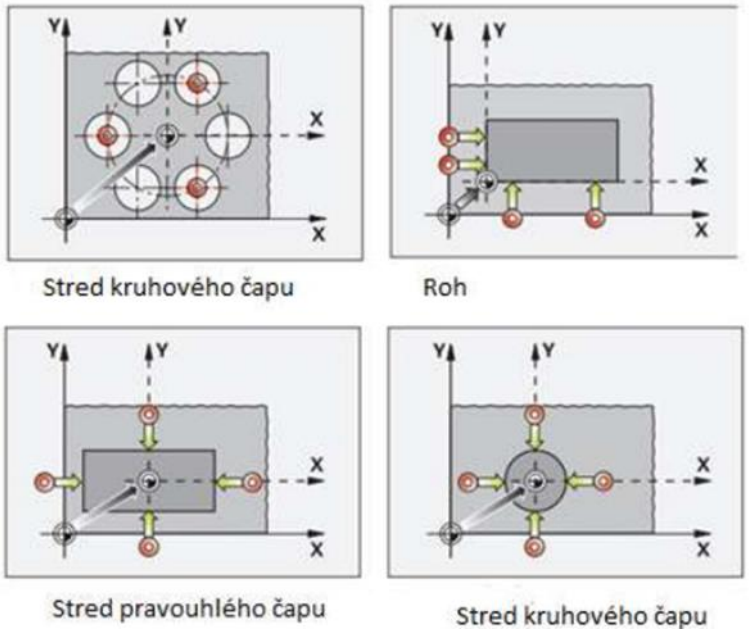
Smer snímania pre meranie šikmej polohy obrobku volíme vždy kolmo k vzťažnej osi uhla.

Po zosnímaní oboch súradníc systém vypočíta natočenie súčiastky (obr. 3.14)



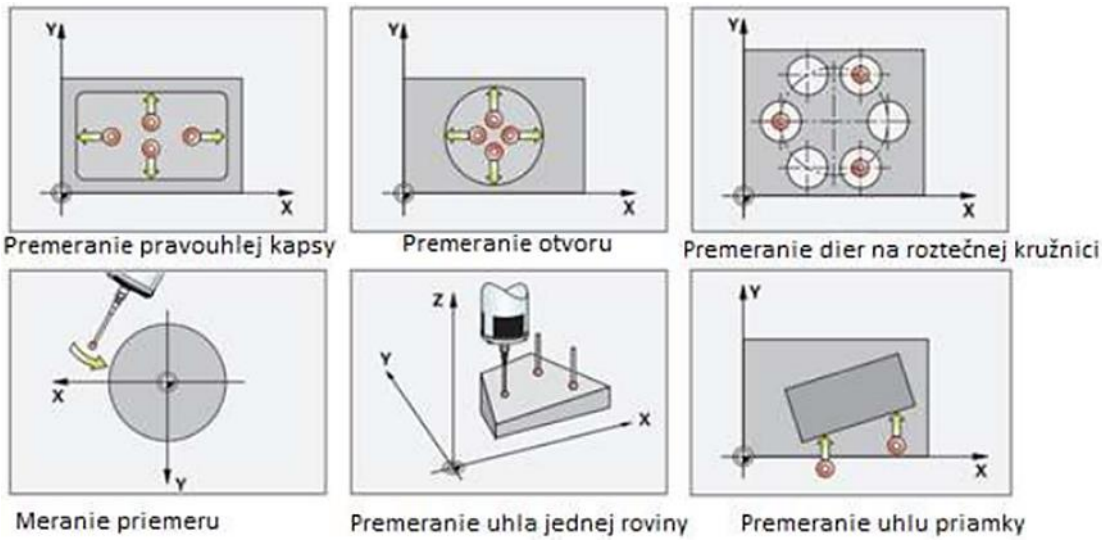
Obr. 3.14 Zobrazenie vypočítaného uhla natočenia súčiastky.

Nastavenie vzťažného (nulového bodu) je prvotným krokom po ustavení obrobku. Vzťažný bod je možné nastaviť na stred pravouhlého čapu, kruhového čapu, vonkajší roh obrobku a stredu rozstupovej kružnice (obr. 3.14).



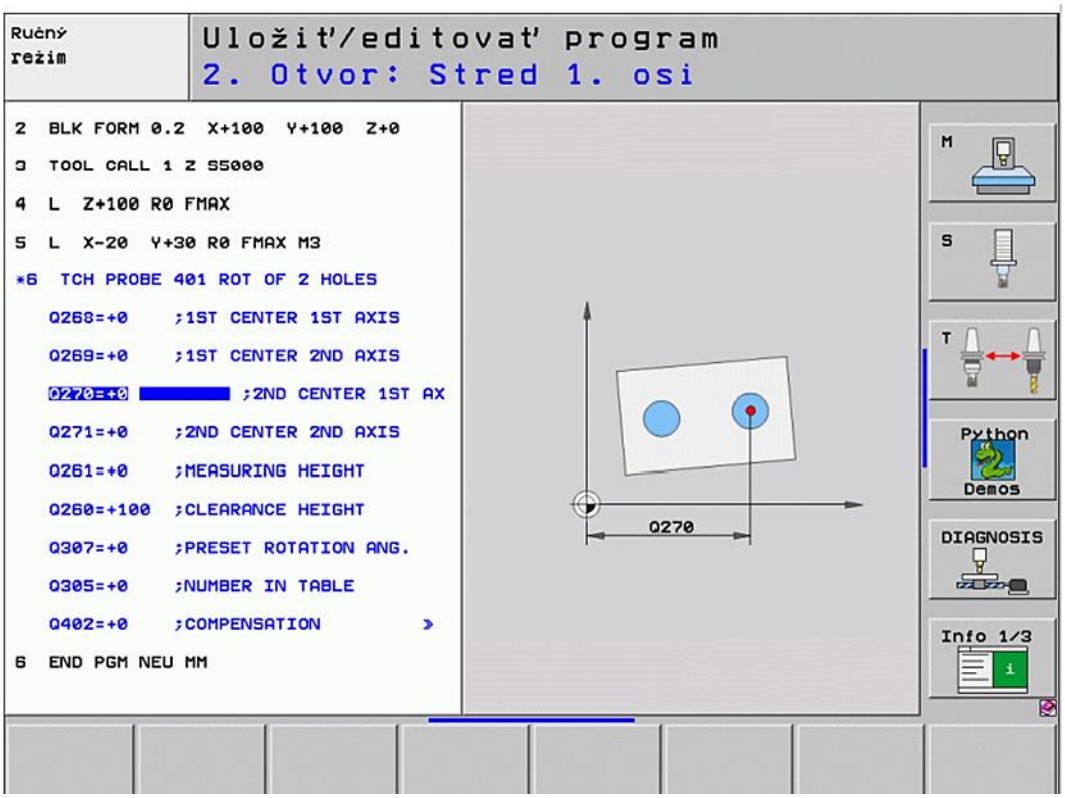
Obr. 3.14 Určenie vzťažného bodu súčiastky (Touch 2024).

Na základe zistených hodnôt merania obrobku sa dá reagovať na odchýlky spôsobené napríklad deformáciou obrobku, vychýlením nástroja alebo vplyvu tepelných deformácií. Podľa zistených hodnôt je možné automaticky upraviť aktuálne hodnoty natočenia súradného systému, aktualizovať parametre obrábania, zmeniť korekčné hodnoty v tabuľkách nástrojov (obr. 3.15).



Obr. 3.15 Príklady merania súčiastok (Touch 2024).

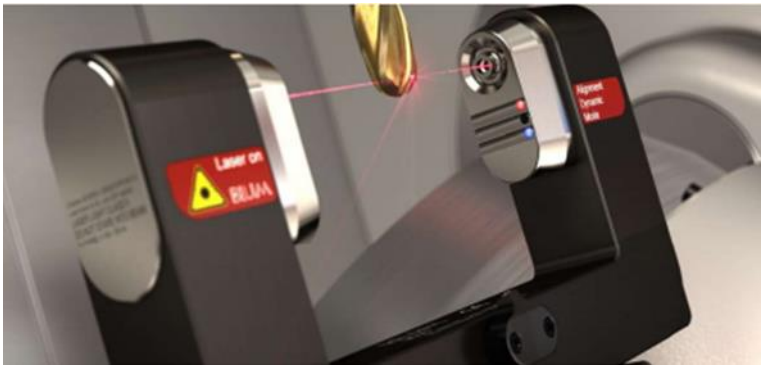
V riadiacom systéme máme možnosť vybrať si jednotlivé meracie cykly. Tieto potom aplikujeme pre meranie súčiastok. Príklady programovania meracieho cyklu je na (obr. 3.16).



Obr. 3.16 Príklad programovania meracieho cyklu.

3.4 Bezdotykové meracie sondy na nástroj

Najčastejšie využívané bezdotykové systémy sú laserové (optické), nakoľko dosahujú najlepší pomer ceny/spoľahlivosti/presnosti (obr. 3.17). V okamihu prerušenia laserového lúča meraným nástrojom je zaznamenaná poloha vzhľadom na súradnicový systém a vypočítaná veľkosť nástroja. Ďalšou výhodou laserových systémov je schopnosť merať nástroj počas pracovných otáčok. Týmto dokáže sonda zmerať aj prípadné výchylky spôsobené chybným upnutím do upínača, prípadne ak je upínací kužeľ opotrebovaný.



Obr. 3.17 Ukážka laserovej meracej sondy (Blum 2024)

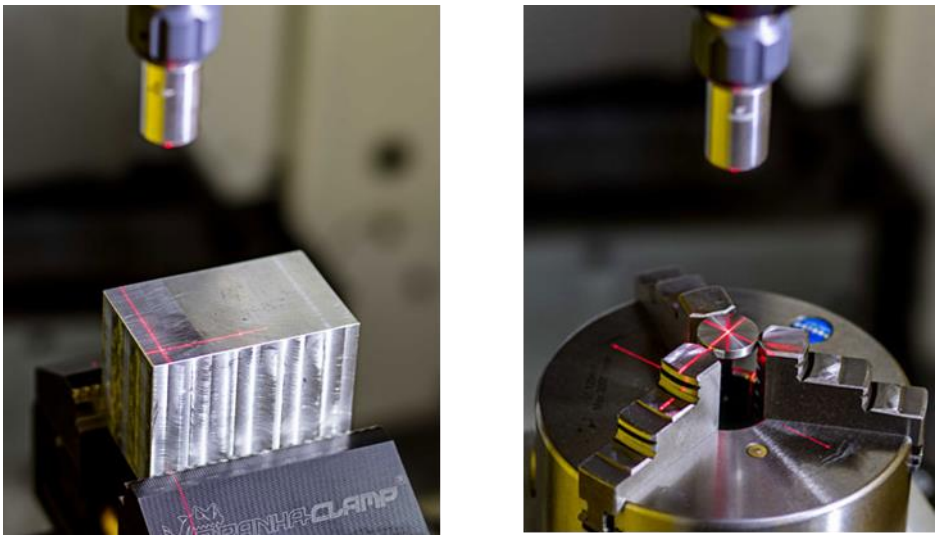
Pomocou laserových sond je možné merať a monitorovať väčšinu bežných rezných nástrojov. Meranie je realizované prostredníctvom meracích cyklov, ktoré majú riadiace systémy k dispozícii. Najčastejšie meracie cykly umožňujú monitorovať a merať (Blum 2024):

- monitorovanie lomu symetrických nástrojov (vrtáka, frézy závitníky a výstružníky),
- nastavenie dĺžky a polomeru nástroja pri menovitých otáčkach,
- monitorovanie nástroja na vyštiepené a chýbajúce ostrie,
- nastavenie s kruhovou geometriou reznej časti (napr. polguľové frézy),
- kontrola profilu nástroja,
- kompenzácia opotrebenia cez meranie medzi operáciami obrábania,
- kompenzácia tepelného vplyvu obrábacích centier závislého na zmene teplôt.

3.5 Bezdotykové meracie sondy na obrobok

Laserová sonda Tschorn s laserovým krížom umožňuje jednoduché, rýchle a bezkontaktné snímanie (obr. 3.18).

- pre hrubé umiestnenie obrobkov,
- vhodná aj pre stanovenie približného stredu okrúhleho obrobku,
- bez priameho kontaktu s obrobkom,
- laserový kríž 100 mm nad obrobkom,
- zapína sa a vypína ručne otočným spínačom.

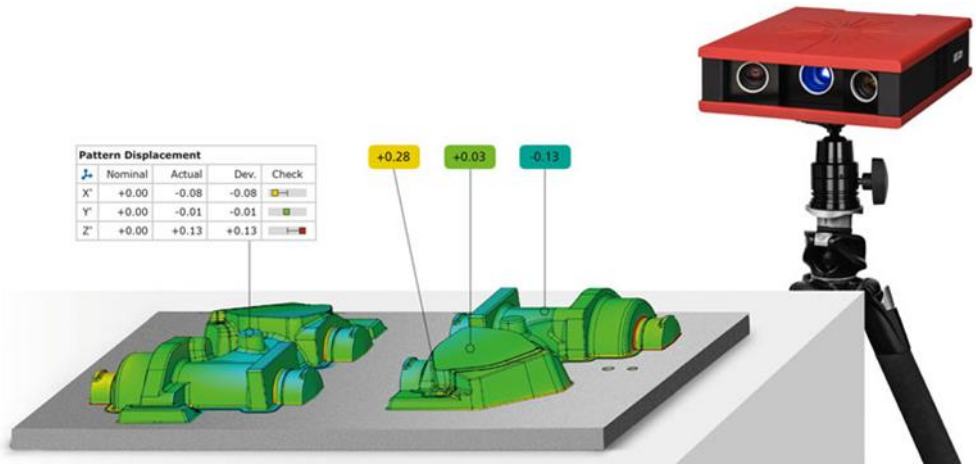


Obr. 3.18 Laserová sonda Tschorn (Laserová 2024)

Okrem vyššie uvedenej sondy je možné pre meranie obrobkov využiť aj externé meracie zariadenia, ktoré sú mobilné, takže je možné meranie aj v priestore obrábacieho stroja.

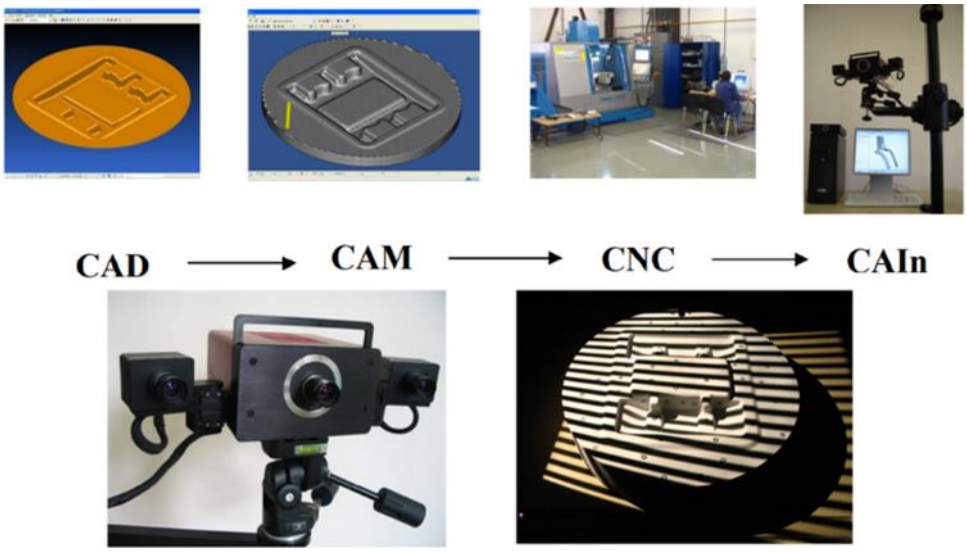
Tento spôsob merania zaručuje presnosť prípadného dodatočného obrábania, pretože obrobok zostáva stále ustavený a upnutý vo polohe ako bol obrábaný. Systémy, ktoré sú schopné takto merať sú zaradené ako systémy 3D skenovania (obr. 3.19). Meraná súčiastky je digitalizovaná a výstupom z digitalizácie sú (ATOS 2024):

- optimalizovaná polygonálna sieť (STL),
- mrak bodov rezy (body),
- obrysové a kontrastné krivky (body),
- farebná mapa odchýľok od CAD modelu (obrázky),
- protokol merania(HTML, Word, PDF).



Obr. 3.19 3D skenovací systém ATOS (APM 2024)

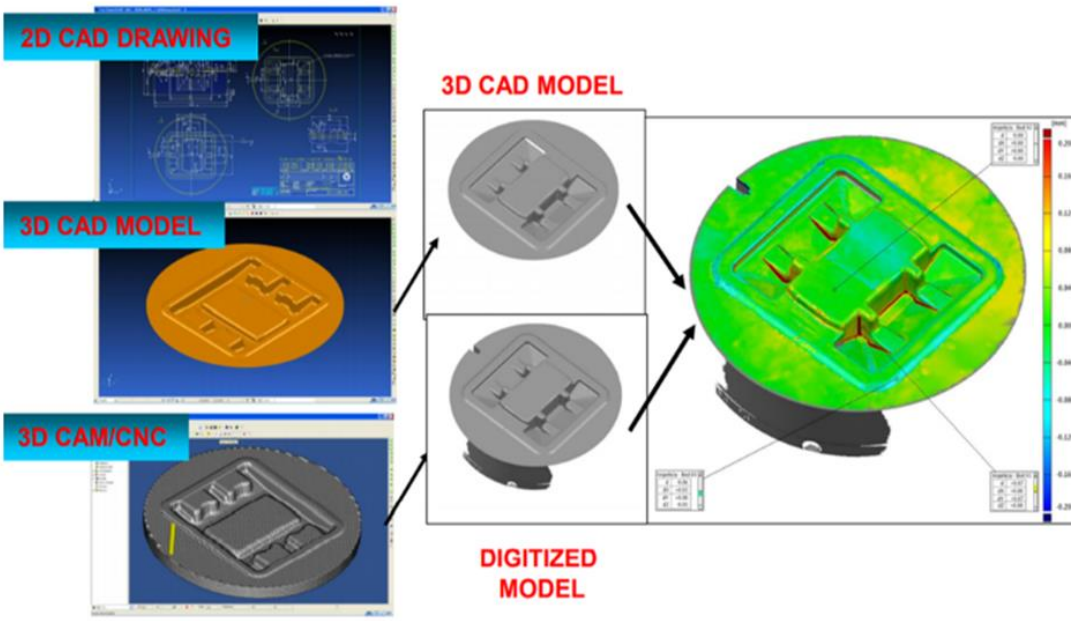
Využitím 3D skenovacieho systému a jeho zaradením do výrobného reťazca CAD-CAM-CNC uzavrieme tento reťazec. Zároveň dostávame spätnú väzbu z merania súčiastky, kde sme schopní v prípade chybovosti vo výrobe vzniknuté chyby napraviť (obr. 3.20).



Obr. 3.20 Výrobný reťazec

Skenovanie a digitalizácia súčiastky sú realizované 3D skenerom a súčiastky v digitálnej forme (mrak bodov) je spracovaná príslušným softvérom. Pri navrhovaní súčiastok sa najskôr vytvorí výrobná dokumentácia vo forme 2D výkresov. Následne sa spracuje do 3D modelu súčiastky, ktorý sa v systéme CAM použije pre prípravu dát pre riadiaci systém CNC stroja. Tieto dáta sa nahrajú do CNC stroja v príslušnom formáte a stroj vyrába podľa programu. Po digitalizácii vyrobenej súčiastky nám softvér umožňuje preložiť cez seba 3D

model súčiastky a digitalizovaný model. Potom môžeme vyhodnocovať odchýlky 3D modelu a digitalizovaného modelu vo forme farebnej mapy odchýlok (obr. 3.21).



Obr. 3.21 Vyhodnocovanie odchýlok merania

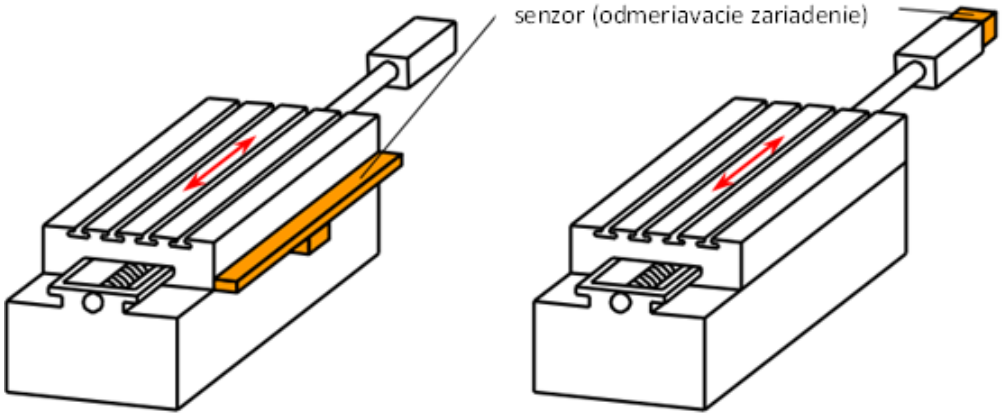
3.6 Odmeriavacie zariadenia CNC strojov

Každý moderný CNC stroj má v sebe odmeriavacie zariadenie pre získanie presného údaju o polohe daného kinematického prvku. Do profesionálnych strojov sa používajú rotačné servomotory a po novom lineárne servomotory ktoré nestrácajú presnosť vplyvom opotrebenia translačných členov.

Výrobcovia sond udávajú opakovateľnosť merania pomocou sondy do 1µm. K tejto odchýlke sa však ešte pridáva nepresnosť odmeriavania na stroji. Reálne namerané hodnoty sa do systému nezapisujú zo sondy ale práve z odmeriavania stroja. Sonda dáva riadiacemu systému spínací signál po dotyku a ten prepočíta údaje z odmeriavania a vyhodnotí nameranú hodnotu. Odmeriavanie sa preto stáva neodmysliteľnou súčasťou CNC strojov ktoré zabezpečuje nielen hodnoty pri meraní, ale aj reálne vykonanú vzdialenosť pri obrábaní. Pokiaľ ide o informácie o polohe je možné odmeriavacie zariadenie rozdeliť na absolútne odmeriavanie a inkrementálne odmeriavanie. Z hľadiska získavania informácií o polohe je odmeriavacie zariadenie rozdelené na priame a nepriame (Keller 2005).

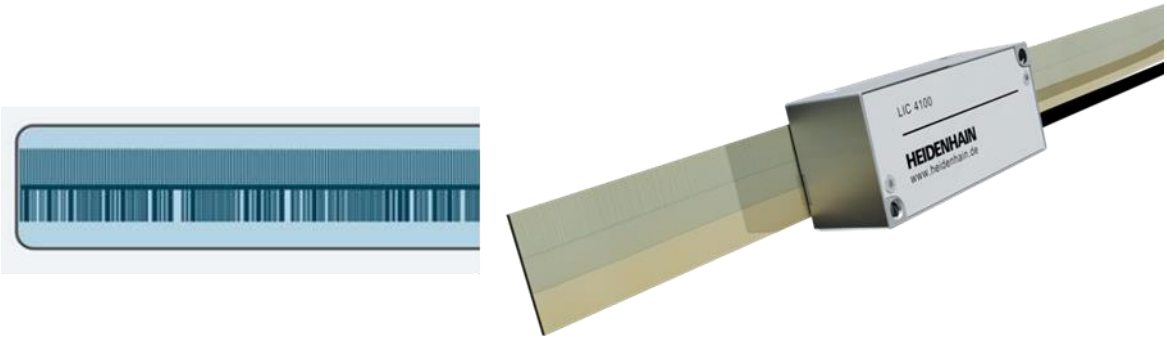
Pri priamom odmeriavaní senzor odmeriava polohu priamo (obr. 3.22 vľavo). Ak sa jedná o lineárne odmeriavanie cena senzora rastie s jeho dĺžkou. Tepelná dilatácia

ovplyvňuje presnosť merania, senzore misia byť krytované, ale majú vyššiu presnosť oproti nepriamym. U nepriameho odmeriavania sa prejdená dráha nemeria priamo, ale je počítaná zo zmeraného uhla natočenia napr. stúpania skrutky (obr. 3.22 vpravo). Toto meranie negatívne ovplyvňujú chyby stúpania skrutkovice, ale tieto senzore sú lacnejšie a jednoduchšie.



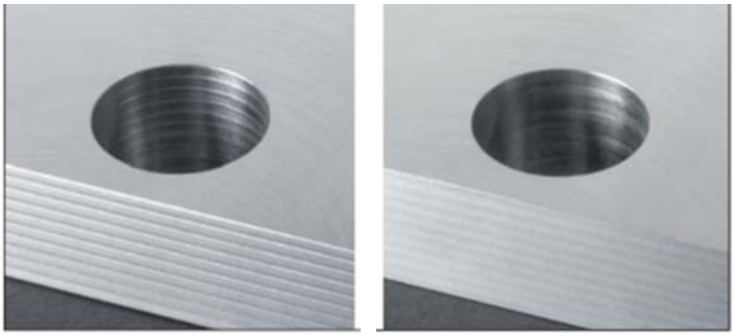
Obr. 3.22 Priame a nepriame odmeriavanie na CNC strojoch (Keller 2005)

Absolútne odmeriavanie poskytuje oveľa spoľahlivejšie výsledky ako inkrementálne. Absolútne snímanie je spôsob snímania kde sa načítava konkrétna kódovaná hodnota. Každá poloha je presne definovaná a tým pádom je poloha presne zapamätaná aj po odpojení napájania (obr. 3.23).



Obr. 3.23 Absolútne odmeriavanie na CNC strojoch (Exposed 2024)

Pri priamom odmeriavaní je lineárne pravítko (ak sa jedná o lineárnu os) priamo pripevnené o kinematický prvok stroja (stôl, suport, vreteno,...). Tým pádom stroj nemá žiadny vplyv na presnosť merania polohy. Meranie polohy závisí takmer vylúčene od presnosti a inštalácie lineárneho pravítka. Pri nepriamom odmeriavaní môžu nastať chyby, ktoré sú viditeľné na obrábaných plochách. Tieto chyba sú spôsobené hlavne tepelnou dilatáciou. Na (obr. 3.24) je ukážka takto vzniknutých chýb.



Obr. 3.24 Nepriame (vľavo) a priame (vpravo) odmeriavanie na CNC strojoch (Linear 2024)

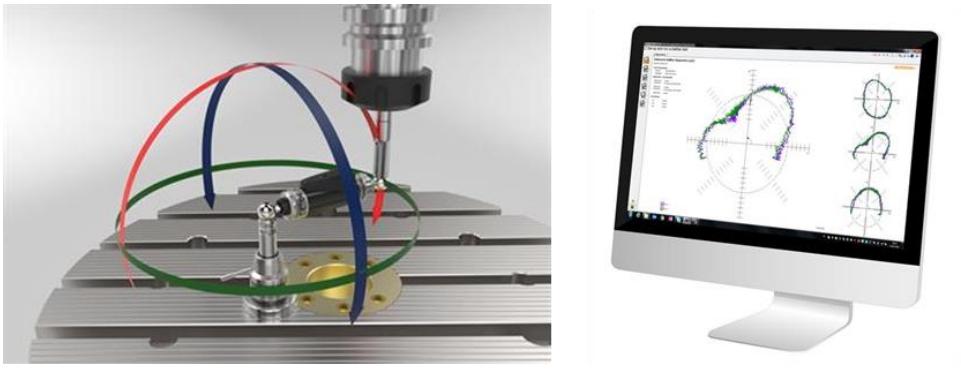
3.7 Presnosť CNC strojov

Sledovanie stavu stroja je hlavným predpokladom udržania kvality výroby, ako aj nutnou podmienkou v systémoch riadenia kvality podľa požiadaviek normy ISO 9001. Monitorovanie stavu strojov umožňuje znižovanie nákladov na servisné služby a zároveň udržuje vysokú kvalitu výroby pomocou NC a CNC strojovej diagnostiky. Pre diagnostiku NC a CNC strojov je dôležité najmä:

- kruhová interpolácia podľa ISO 230-4,
- meranie presnosti polohovania podľa ISO 230-1.

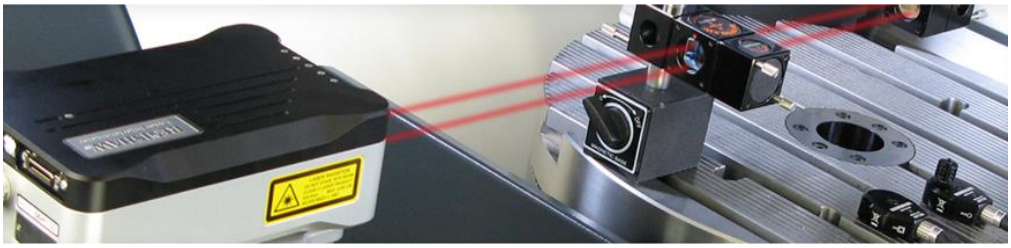
Renishaw BallBar QC20 vyhodnocuje presnosť stroja podľa dokonalosti kruhovej interpolácie. Určenie konkrétnych chýb stroja umožňuje efektívnu a cielenú údržbu, vďaka ktorej možno minimalizovať prestoje. Hlavnou časťou meracieho systému je dĺžkový senzor s presnosťou merania ±1µm umiestnený v teleskopickej tyči opatrenej na oboch koncoch guľovými plochami. Z nich jeden koniec je upnutý v magnetickom držiaku upnutom na stole stroja a druhý koniec je takým istým spôsobom upnutý do vretena stroja. Súčasťou systému je merací softvér. Pri meraní vykoná vreteno stroja kruhovú interpoláciu v smere aj v protismere chodu hodinových ručičiek. Namerané údaje sú následne odoslané bezdrôtovou technológiou bluetooth do počítača, kde ich merací softvér spracuje podľa viacerých noriem.

Softvérová analýza automaticky diagnostikuje konkrétne chyby stroja (oneskorenie pohonu, vratná vôľa, chyba kolmosti,...). Kalibračný systém je veľmi modulárny, ktorý možno použiť na meranie horizontálnych aj vertikálnych, dvoj aj troj osových strojov a s použitím príslušenstva je možné testovať aj sústruhy (obr. 3.25).



Obr. 3.25 Merací systém Renishaw BallBar QC20 (QC20 2024)

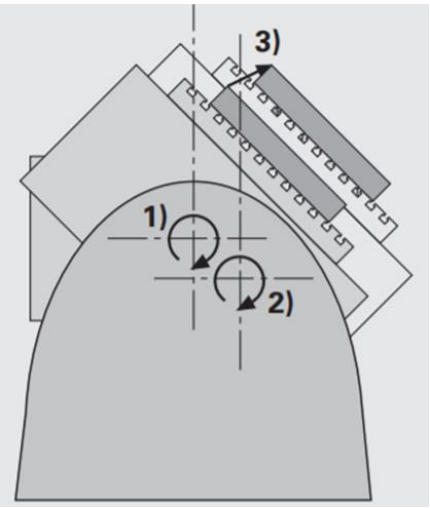
Modulárny systém Renishaw XL-80 umožňuje podľa vybavenia merať na pracovných osiach stroja lineárnu vzdialenosť, priamosť, rovinnosť, kolmosť, uhly, presnosť delenia rotačnej osi. Systém pracuje na základe svetelnej interferometrie. Základom je laserová hlava, ktorá vytvára stabilný laserový lúč. Okolité prostredie má vplyv na stabilitu vlnovej dĺžky laserového lúča, preto je súčasťou meracieho systému kompenzačná jednotka. Tá zabezpečuje meranie teploty, tlaku, vlhkosti okolitého prostredia aj teploty materiálu posúvacieho mechanizmu (obr. 3.26).



Obr. 3.26 Merací systém Renishaw XL-80 (XL-80 2024)

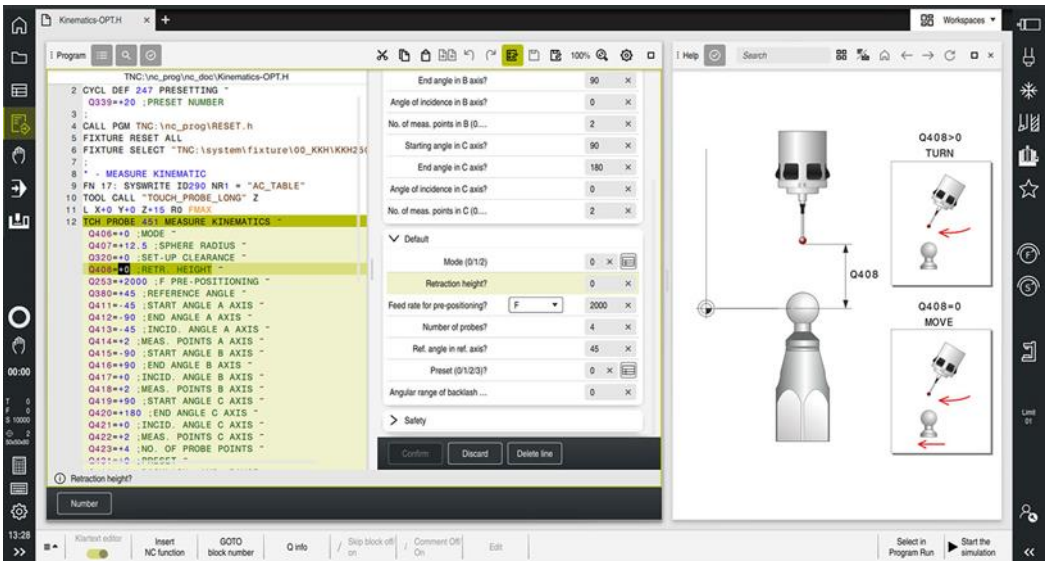
Systémy merania presnosti sa používajú aj pri viacosových CNC strojoch napríklad pri 5-osových frézovačkách. Tieto stroje môžu byť opčne vybavené systémom pre meranie kinematiky stroja.

Je to napríklad KinematicsOpt – Kalibrácia rotačných osí a kalibrácia vychýlenia osí. Požiadavky kladené na presnosť, predovšetkým v oblasti obrábania v 5 osiach, sú sústavne vyššie. Dôvodom nepresností pri obrábaní vo viacerých osiach sú – okrem iného – odchýlky medzi kinematickým modelom, ktorý je uložený v ovládaní (1) a skutočnými kinematickými pomermi na stroji (2). Tieto odchýlky vedú pri polohovaní osí otáčania k chybe na obrobku (3) (obr. 3.27). Musí sa preto zaistiť možnosť na čo najlepšiu harmonizáciu modelu a skutočnosti



Obr. 3.27 Vychýlenie kinematiky stroja (KinematicsOpt 2024)

3D cyklus dotykového systému premeria osi otáčania na stroji úplne automaticky bez ohľadu na to, či sú osi otáčania mechanicky koncipované ako stôl alebo hlava. Pritom sa kalibračná guľôčka upevní na ľubovoľnom mieste na stole stroja a vykoná premeranie s presnosťou, ktorú môžete definovať. Z nameraných hodnôt zistí systém statickú presnosť naklonenia. Softvér na konci meracej operácie uloží geometriu stroja automaticky do príslušných konštánt stroja v tabuľke kinematiky (obr. 3.28).



Obr. 3.28 Cyklus pre meranie kinematiky stroja (KinematicsOpt 2024)

Literatúra

Renishaw. Probing and tool measurement systems for machine tools. 2024. [cit. 2024-10-02]. Dostupné na internete: https://www.renishaw.com/en/probing-and-tool-measurement-systems-for-machine-tools--6073

CNC Expert. Nástrojové a obrobkové sondy. 2024. [cit. 2024-10-05]. Dostupné na internete: https://cncexpert.sk/nastrojove-a-obrobkove-sondy/

Touch Probes for machine tools. 2024. [cit. 2024-10-06]. Dostupné na internete: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdf/en/01_Products/Prospekte/PR_Touch_Probes_ID1113984_en.pdf

Heidenhain. Meranie nástroja. 2018. [cit. 2018-10-03]. Dostupné na internete: https://www.heidenhain.sk/sk_SK/produkty/dotykove-sondy/meranie-nastroja/

Snímací systémy pro CNC obráběcí stroje. 2024. [cit. 2024-10-09]. Dostupné na internete: https://www.renishaw.com/cs/nastrojove-sondy-pro-ustaveni-a-kontrolu-obrobku--6075

Blum. Měřící komponenty. 2024. [cit. 2024-10-12]. Dostupné na internete: https://www.blum-novotest.com/sk/vyrobky/merici-komponenty/

Laserová sonda Tschorn 00120X016. 2024. [cit. 2024-10-15]. Dostupné na internete: https://www.toolzone.sk/produkt/laserova-sonda-tschorn-60729.htm#popis

ATOS Compact Scan. 2024. [cit. 2024-10-15]. Dostupné na internete: https://www.zeiss.com/metrology/en/systems/optical-3d/3d-scanning/atos/atos-compact-scan.html#countrySwitch

APM Technologies 3D. Atos Core – Optical 3D Scaner. 2024. [cit. 2024-10-16]. Dostupné na internete: http://apmtech.in/atos_core.html

Keller, P. Programování a řízení CNC strojů. 2005. [cit. 2021-11-17]. Dostupné na internete: <http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf>.

Exposed linear encoders. 2024. [cit. 2024-10-16]. Dostupné na internete: https://www.heidenhain.com/products/linear-encoders/exposed

Linear Encoders Improve the Machining Accuracy. 2024. [cit. 2024-10-17]. Dostupné na internete: http://www.auto-met.com/Globalspec/Linear%20Encoders%20Improve%20the%20Accuracy%20of%20Machine%20Tools.pdf

QC20 ballbar for machine tool verification. 2024. [cit. 2024-10-17]. Dostupné na internete: https://www.renishaw.com/en/qc20-w-ballbar-system--11075

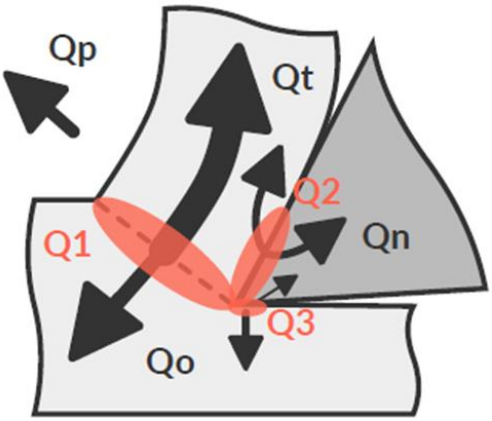
XL-80 laser system. 2024. [cit. 2024-10-18]. Dostupné na internete: https://www.renishaw.com/en/xl-80-laser-system--8268

KinematicsOpt: perfectly calibrated machine kinematics. 2024. [cit. 2024-10-18]. Dostupné na internete: https://www.klartext-portal.com/tips/programming/kinematicopt

4

Chladenie a mazanie pri CNC obrábaní

Pri obrábaní dochádza k oddeľovaniu triesky od materiálu. K tomu dochádza v medznej rovine deformácií. Zároveň je táto rovina primárnou oblasťou, kde vzniká teplo. Teplo ďalej vzniká aj na čele nástroja a na chrbte nástroja. Vzniknuté teplo je odvádzané trieskou, obrobkom, nástrojom a do prostredia (obr. 4.1).



Obr. 4.1 Teplo v procese obrábania (Janáč 2004, Grzesik 2010).

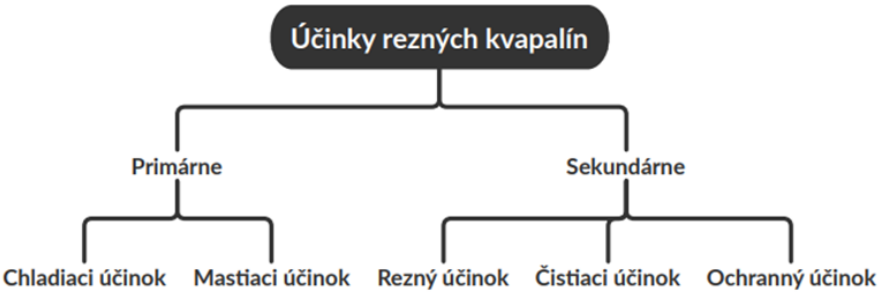
Teplo Q sa vyvíja najmä v nasledujúcich oblastiach (Janáč 2004):

- Q1 je teplo vznikajúce v oblasti primárnej plastickej deformácie (v rovine strižnej plochy),
- Q2 je teplo vznikajúce na čele nástroja v dôsledku sekundárnej plastickej deformácie a v dôsledku trenia medzi trieskou a čelnou plochou nástroja,
- Q3 je teplo vznikajúce v dôsledku trenia medzi chrbtovou plochou nástroja o obrobený povrch.

4.1 Účinky rezných kvapalín na obrábací proces

Účinným nástrojom pre odvádzanie tepla je použitie rezných médií. Teplotu rezného klina je možné znížiť efektívnym chladením. Chladenie rezného nástroja zabezpečuje vhodné rezné prostredie. Rezné prostredie obklopuje reznú oblasť a je tvorené okolitým vzduchom, kvapalinami, plynmi a parami. Fyzikálne a chemické vlastnosti rezného prostredia výrazným spôsobom ovplyvňujú deformáciu obrábaného materiálu, trenie, odvod tepla z miesta rezu a pod. (Lipták 1979, Janáč 2004, Buda 1977).

Všeobecne je možné účinky rezných kvapalín rozdeliť na primárne a sekundárne (obr. 4.2). Medzi primárne účinky patrí chladiaci a mastiaci účinok reznej kvapaliny. Medzi sekundárne účinky patria ochrana proti korózií, rezný a čistiaci účinok. Tieto účinky sú základnými vlastnosťami rezných kvapalín, pričom na niektoré z nich môže byť kladený väčší alebo menší dôraz, v závislosti od podmienok obrábania (Čilliková 2005, Beňo 2004).



Obr. 4.2 Účinky rezných kvapalín (Beňo 2004).

Chladiaci účinok reznej kvapaliny má širší význam a ovplyvňuje mechaniku tvorenia triesky, silové javy a trenie medzi obrobkom a nástrojom, deformačnú prácu pri deformácií obrábaného materiálu, tvorbu nárastku, spevnenie obrobeného povrchu, veľkosť minimálnej hrúbky odoberaného materiálu, zvyškové napätia obrobeného povrchu. Chladiaci účinok reznej kvapaliny je charakterizovaný ako schopnosť kvapaliny odvádzať teplo z miesta rezu. Chladiaca schopnosť ako aj intenzita ochladzovania závisí od tepelnej vodivosti, kinematickej viskozity, merného tepla, schopnosti zmáčať povrch, rýchlosti prietoku kvapaliny, penivosti a od priľnavosti kvapaliny. Odvod vzniknutého tepla pri rezaní sa dosahuje tým, že prúd kvapaliny obmýva nástroj, triesku a povrch obrobku v oblasti rezu, čím prijíma vyvinuté teplo. Časť kvapaliny sa pritom odparí vplyvom vysokého miestneho prehriatia a zvyšok kvapaliny prúdi naspäť do zásobníka.

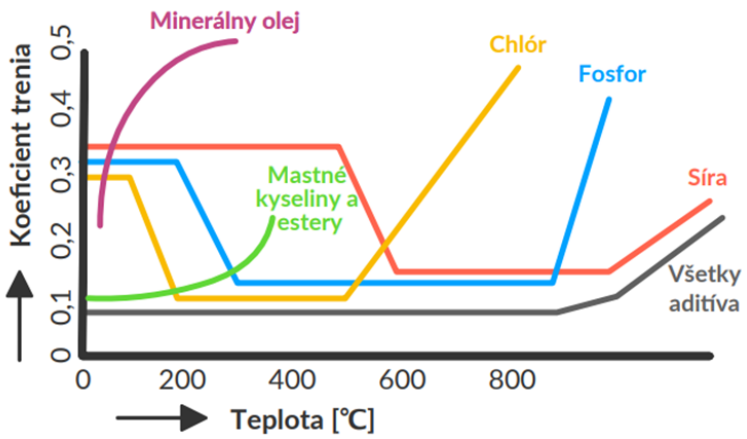
Čím je teplota generovaná v mieste rezu vyššia, tým väčšie sú požiadavky na odvod tepla (obr. 4.3). Neodvedené teplo hromadiace sa v obrobku môže spôsobovať nepresnosti pri obrábaní. Chladiaca schopnosť je výrazne závislá aj od zloženia vody. Najväčší chladiaci účinok majú rezné kvapaliny na báze vody. S rastom penivosti sa chladiaca schopnosť znižuje. Prídavky povrchovo aktívnych látok zvyšujú priľnavosť, a teda aj chladiacu schopnosť. So zvýšením rýchlosti prúdenia rastie súčiniteľ prestupu tepla, čo zlepšuje chladiacu schopnosť. Na teplo vznikajúce v mieste rezu vplýva aj mastiaca 19

schopnosť kvapaliny. Mastiaca schopnosť znižuje trenie a deformačnú prácu, a preto je generované menšie množstvo tepla (Kocman 2011, Čilliková 2008).

Obr. 4.4 Požiadavky na chladiaci účinok (Kocman 2004).

Mastiaci účinok predstavuje schopnosť reznej kvapaliny znižovať trenie, a tým aj rezné sily v procese rezania, čím sa zmenšuje celkový výkon potrebný na proces rezania. Z dôvodu schopnosti zvyšovať kvalitu obrobenej plochy je mastiaci účinok dôležitý pri dokončovacích operáciách. Pri ťažkých operáciách (pri vysokých teplotách a tlakoch) sú potrebné na zabezpečenie mastiaceho účinku špeciálne aktívne látky, ktoré sú absorbované do medzi vrstvy a zmenšujú kovový styk povrchov. Tieto vysokotlakové prísady sú známe ako EP prísady (EP = extreme pressure), ktoré vyvolávajú chemickú reakciu s povrchom kovu a vytvárajú reakčnú vrstvu. Ako EP prísady sa najčastejšie používa chlór, fosfát a síra (Čilliková 2008).

Generovaním tepla sú aktivované EP prísady, ktoré vytvárajú na povrchoch chemický film, ktorý zabraňuje tvorbe mikrozvarov a znižuje opotrebovanie nástroja. Vplyv základných zložiek reznej kvapaliny na výsledný koeficient trenia je uvedený na (obr. 4.5)



Obr. 4.5 Synergický efekt rôznych typov prísad na koeficient trenia (Fuchs 2016)

Mastiacu schopnosť kvapaliny (obr. 4.6) ovplyvňuje aj viskozita kvapaliny a pevnosť vrstvy. S rastúcou viskozitou kvapalina ťažšie preniká medzi trecie plochy, zhoršuje sa prúdenie, čo má za následok zníženie odvodu tepla. Viskóznejšia kvapalina sa vo väčšej miere zachytáva na trieskach, a tým sa zvyšuje jej spotreba (Čilliková 2008).

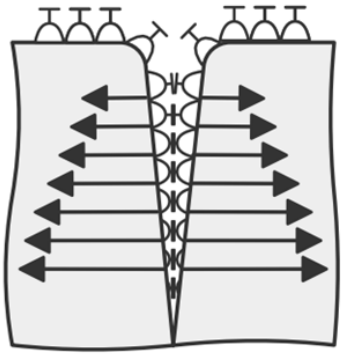
Obr. 4.6 Požiadavky na mazací účinok (Kocman 2004).

Pre **čistiaci účinok** je dôležitou úlohou reznej kvapaliny odstraňovanie triesky z miesta rezu, ktorá vzniká pri obrábaní. Kvapalina súčasne viaže rôzne prachové a iné čiastočky, ktoré sa v procese rezania vyskytujú a transportuje ich do filtračného zariadenia. Vďaka odvodu prachových častíc sa v ovzduší nachádza menšie množstvo prachových častíc, ktoré predstavujú nebezpečenstvo pre dýchacie cesty obsluhy stroja. Čistiaci účinok reznej kvapaliny je dôležitý pri operáciách superfinišovania, brúsenia, pri obrábaní liatiny a pri vŕtaní hlbokých dier. Čím je viskozita kvapaliny nižšia, tým je čistiaci účinok vyšší (Čilliková 2008).

Ochranný účinok reznej kvapaliny predstavuje schopnosť reznej kvapaliny chrániť obrobené plochy a častí strojov voči účinkom okolitého prostredia a korózie. Princíp ochranného účinku spočíva vo vytvorení povrchovej absorbčnej vrstvy alebo povlaku z oxidov, ktoré chránia pred pôsobením korozívnych činiteľov z prostredia. Rezná kvapalina by nemala narúšať gumové častí strojov (Dasch 2004).

Rezný účinok kvapaliny (Rebinderov efekt) (obr. 4.7) sa vysvetľuje vnikaním molekúl povrchovo aktívnych látok, ktoré sú obsiahnuté v reznej kvapaline do mikrotrhlín deformovaného materiálu. Tieto látky pôsobia vnútorným tlakom na steny mikrotrhlín, čím znižujú súdržnosť kovu a uľahčujú vznik plastickej deformácie, čo má za následok

zmenšenie rezných síl, výkonu potrebného k obrábaniu a predĺženie trvanlivosti nástrojov (Čilliková 2008).



Obr. 4.7 Pôsobenie povrchovo aktívnych molekúl v mikrotrhlinách materiálu (Čilliková 2008).

4.2 Požiadavky na rezné kvapaliny

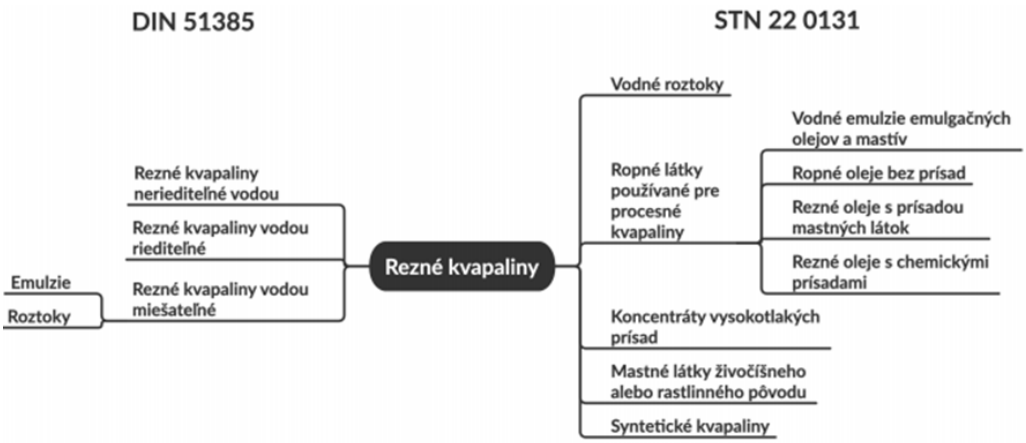
Okrem základných účinkov sa od reznej kvapaliny požadujú aj ďalšie vlastnosti z hľadiska hygieny, ekológie, nákladov a bezpečnosti. Ideálna kvapalina by mala spĺňať nasledovné vlastnosti (Vasilko 2006, Kenneth 1999):

- jednoduchá príprava,
- odolnosť proti tlakom,
- nízka viskozita,
- dobrá znášanlivosť s pokožkou,
- malá penivosť,
- dobrá filtračná a sedimentačná schopnosť,
- malé straty odparovaním a vynášaním na obrobkoch,
- ľahká likvidácia a odbúrateľnosť v životnom prostredí,
- nízka cena,
- vysoký bod vzplanutia,
- dlhá životnosť,
- bez toxických komponentov,
- príjemná a nemenná vôňa počas prevádzky,
- antikorózny účinok,
- pasivita voči konštrukčným materiálom, náterom a tesneniam.

Doposiaľ neexistuje kvapalina, v ktorej by boli zlúčené všetky spomenuté vlastnosti. Preto nie je k dispozícii univerzálna kvapalina, ktorá by sa používala pre všetky materiály, operácie a rezné podmienky. Z uvedeného vyplýva, že pre dané podmienky rezu je potrebné zvoliť vhodnú procesnú kvapalinu (Mečiarová 2007).

4.3 Rozdelenie rezných kvapalín

Nemecká norma DIN 51385 klasifikuje rezné kvapaliny na vodou nerieditelné, vodou riediteľné a na kvapaliny vodou miešateľné. Rozdelenie rezných kvapalín podľa normy STN 22 0131 a DIN 51385 je znázornené na (obr. 4.8).



Obr. 4.8 Rozdelenie rezných kvapalín podľa STN 22 0131 (Jurina 2020).

Z dôvodu existencie väčšieho množstva klasifikácií sa používa aj zjednodušené rozdelenie rezných kvapalín (obr. 4.9) na čisté oleje, minerálne kvapaliny, polosyntetické kvapaliny a syntetické kvapaliny. Tomuto rozdeleniu sa prispôsobujú aj producenti a dodávatelia rezných kvapalín (Byers 2006).

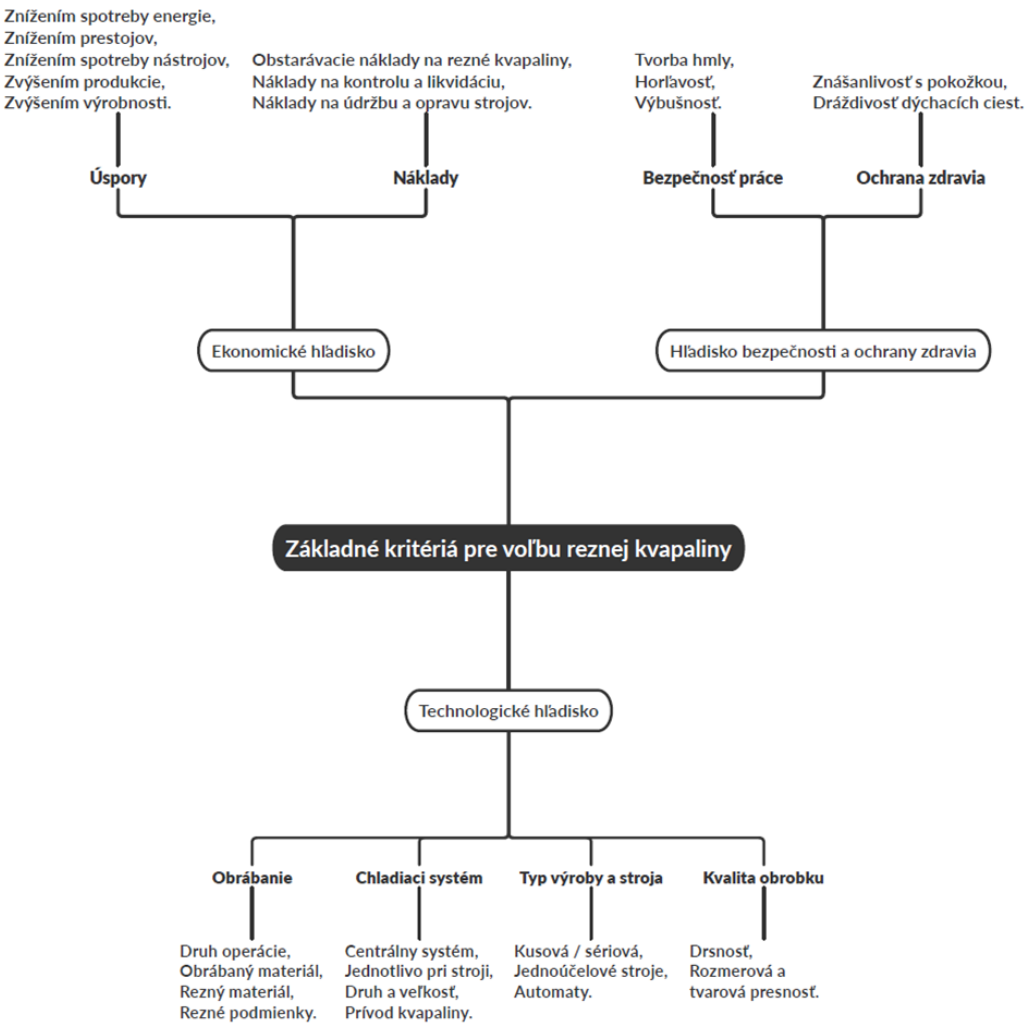
Obr. 4.9 Zjednodušené rozdelenie rezných kvapalín (Byers 2006)

4.4 Voľba reznej kvapaliny

Na základe predchádzajúcich poznatkov je zrejmé, že nie každá rezná kvapalina je vhodná pre všetky spôsoby obrábania. Problematika voľby reznej kvapaliny je rozsiahla a všeobecný postup pri výbere reznej kvapaliny neexistuje a závisí od potrieb konkrétnej aplikácie. Praktické zásady pre voľbu reznej kvapaliny musia vychádzať z nasledujúcich poznatkov (Kocman, 2004):

- mechanizmus tvorby triesky,
- vlastnosti obrábaného materiálu,
- vlastnosti nástrojového materiálu,
- požiadavky na akosť opracovania súčiastok.

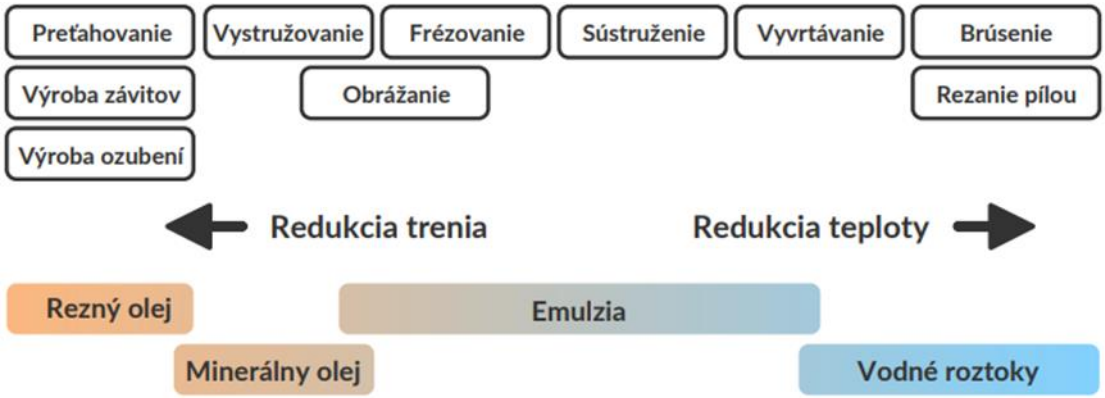
Okrem predchádzajúcich zásad existuje niekoľko ďalších charakteristík, ktoré by mali byť pri voľbe reznej kvapaliny posúdené (obr. 4.10).



Obr. 4.10 Základné kritériá voľby reznej kvapaliny (Čilliková 2008).

Pri hrubovacích operáciách je hlavnou požiadavkou zvýšenie trvanlivosti nástroja a zníženie výkonu potrebného na proces rezania. Z hľadiska zníženia výkonu je vhodné používať 15-20% emulzie, zatiaľ čo z hľadiska zvýšenia trvanlivosti nástroja je vhodné použiť iba 3-5% emulzie. Pri dokončovacích operáciách sú hlavnými požiadavkami zvýšenie trvanlivosti nástroja a zníženie drsnosti obrobeného povrchu. Voľba reznej kvapaliny z hľadiska drsnosti povrchu závisí od reznej rýchlosti. Pri malých rezných rýchlostiach (pod oblasťou tvorby nárastku), vykazujú najlepšie výsledky roztoky elektrolytov a 2 až 3% emulzie, z dôvodu veľkej prenikavosti. Pri rezných rýchlostiach zodpovedajúcich vzniku nárastku je vhodné použiť vysoko aktivované oleje, 15-20% emulzie alebo aktivované emulzie (Čilliková 2008).

Použitie jednotlivých druhov rezných kvapalín v značnej miere závisí na relatívnej obťažnosti určitej metódy obrábania (obr. 4.11). Relatívna obťažnosť charakterizuje jav, ktorý pri danej technológií prevláda, t.j. či má rezná kvapalina redukovať trenie medzi trieskou a nástrojom alebo odvádzať teplo vzniknuté v mieste rezu.



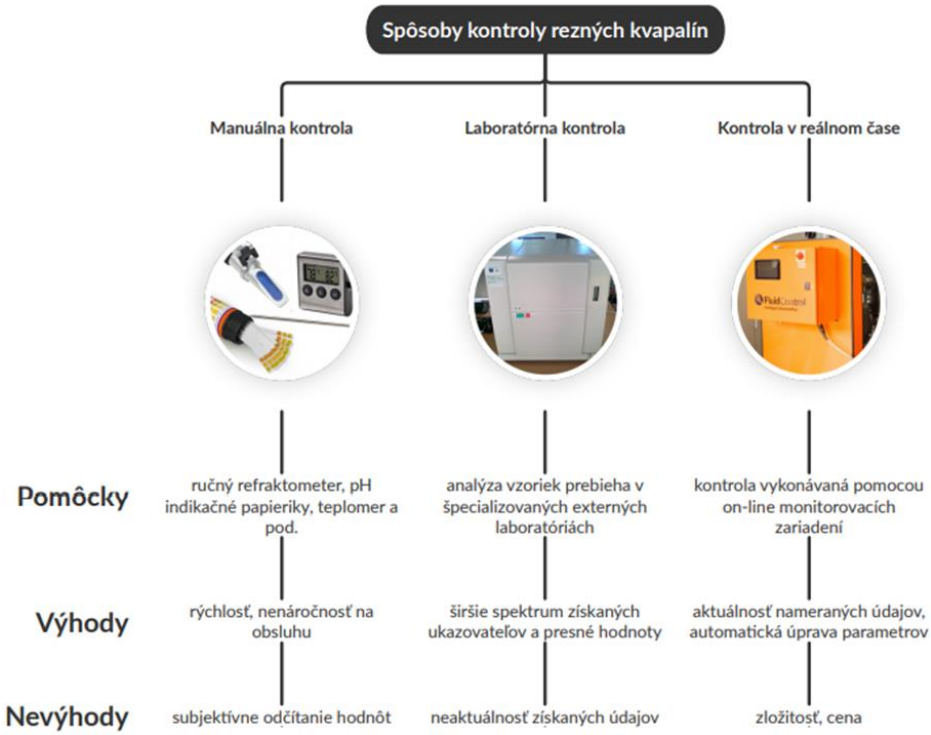
Obr. 4.11 Relatívna obťažnosť metód obrábania (Beňo 2004).

4.5 Monitorovanie rezných kvapalín

Všetky rezné kvapaliny sú formulované tak, aby boli účinné za presne stanovených podmienok. Počas prevádzky dochádza k starnutiu rezných kvapalín vplyvom katalytického účinku, znečisťovania, mechanického a tepelného namáhania a oxidácie. Jednotlivé fyzikálne a chemické ukazovatele reznej kvapaliny je potrebné pravidelne monitorovať, aby nedošlo k úplnému znehodnoteniu (Čilliková 2008). Na posúdenie stavu rezných médií sa sledujú nasledovné fyzikálne a chemické ukazovatele (obr. 4.12).

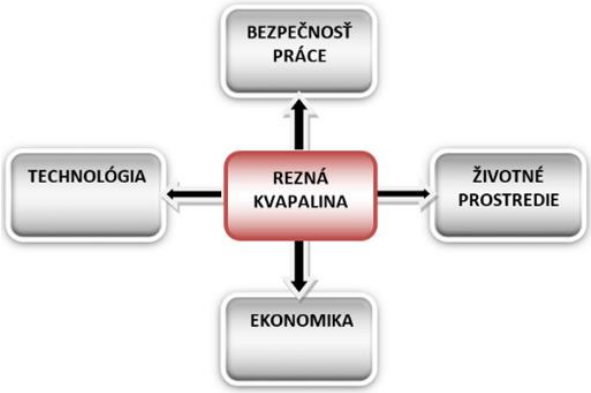
Obr. 4.12 Ukazovatele stavu rezných kvapalín (Leiseder 1988).

Existujú viaceré metódy a spôsoby kontroly rezných kvapalín. Na základe zberu, vyhodnotenia a vykonania nápravných opatrení je možné spôsoby kontroly rozdeliť na ručné a automatizované. Z pohľadu použitého vybavenia existuje kontrola manuálna, laboratórna a automatizovaná (obr. 4.13).



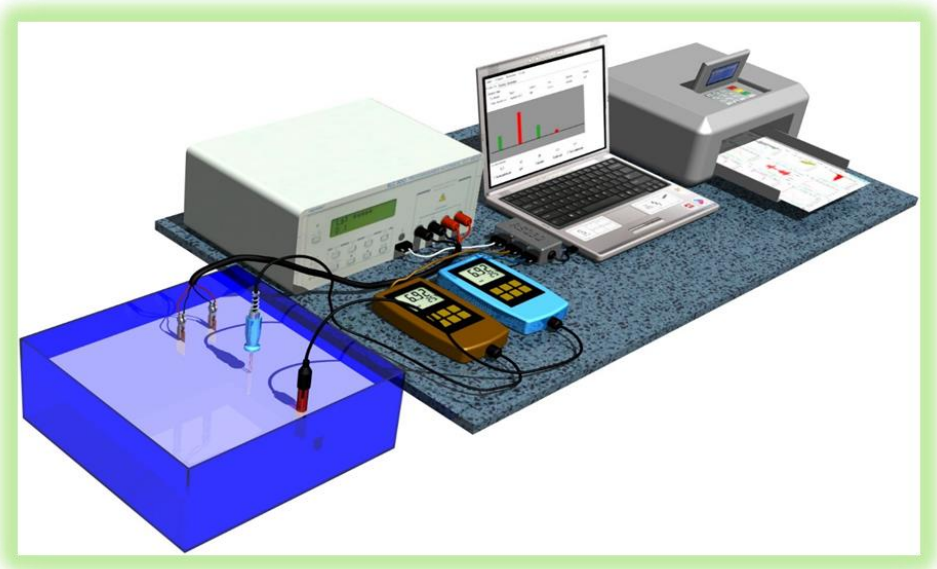
Obr. 4.13 Spôsoby kontroly rezných kvapalín (Jurina 2020).

Rezná kvapalina má vplyv na rôzne oblasti. Okrem iných sú to technológia výroby, životné prostredie, bezpečnosť práce a ekonomika (obr. 4.14)



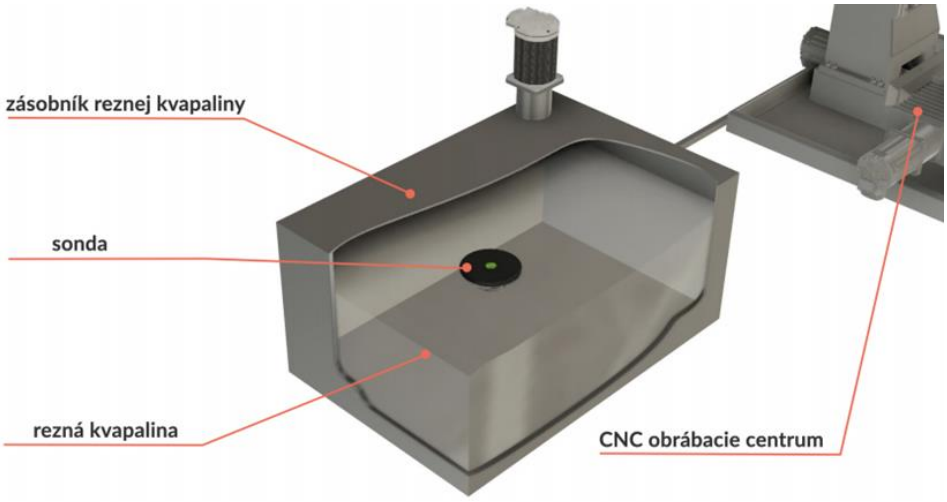
Obr. 4.14 Vybrané vplyvy reznej kvapaliny (Kucháriková 2010).

Existuje viacero výskumov a štúdií, ktoré sa zaoberajú problematikou monitorovania rezných kvapalín. Jednou z nich je On-Line monitorovanie, ktoré je rýchle, jednoduché a aktuálne. Sledované boli štyri druhy vodou miešateľných kvapalín a sledované parametre boli: pH, koncentrácia a teplota. Zobrazenie monitorovacieho systému je na (obr. 4.15).



Obr. 4.15 Monitorovací systém reznej kvapaliny (Kucháriková 2010).

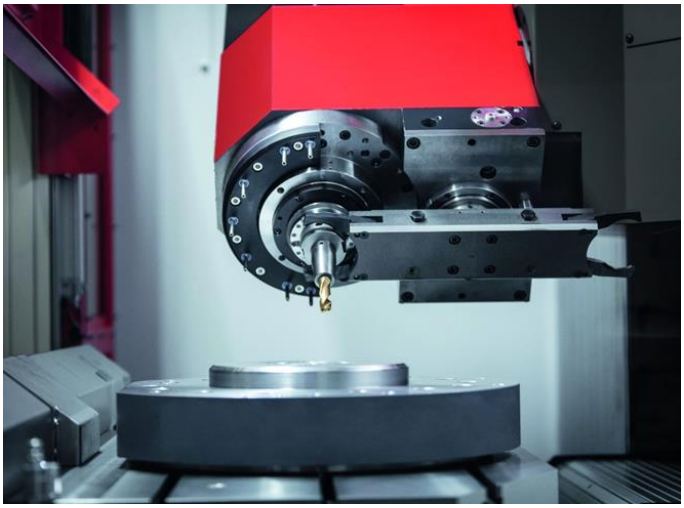
Ďalším monitorovacím systémom sa zaoberala práca (Jurina 2020), kde bol zostavený On-Line monitorovací systém, ktorý je umiestnený priamo v zbernej nádobe filtračného systému obrábacieho stroja (obr. 4.16).



Obr. 4.16 Monitorovací systém reznej kvapaliny vo filtračnej nádobe (Jurina 2020).

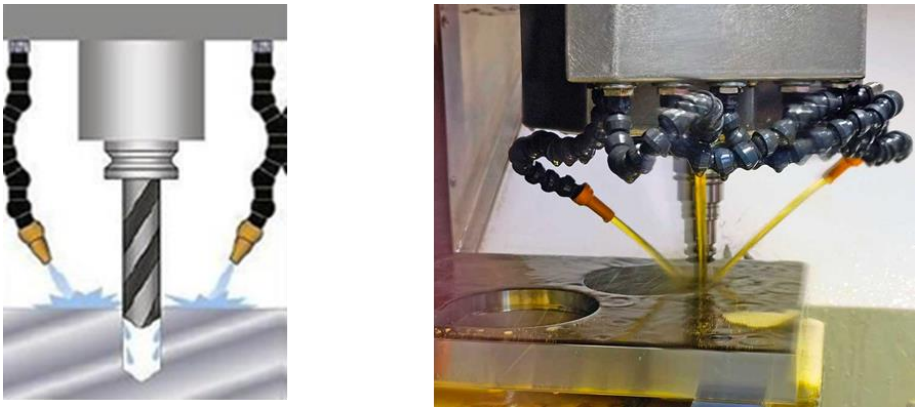
4.6 Možnosti chladenia a mazania

Rezné médiá používané pri obrábaní predovšetkým znižujú teplotu v procese rezania. Tým predchádzame prehrievaniu nástrojov, môžeme znížiť opotrebovanie nástrojov. V praxi sa stretneme s rôznymi systémami prívodu rezného média do zóny rezania. Jedným zo systémov je aplikácia rezného média okolo vretená (obr. 4.17). Tento systém má na vretene nainštalované nastaviteľné trysky, ktoré je možné nasmerovať priamo na rezný nástroj.



Obr. 4.17 Tryskový systém chladenia nástroja (SCHWERZERSPANUNG 2024).

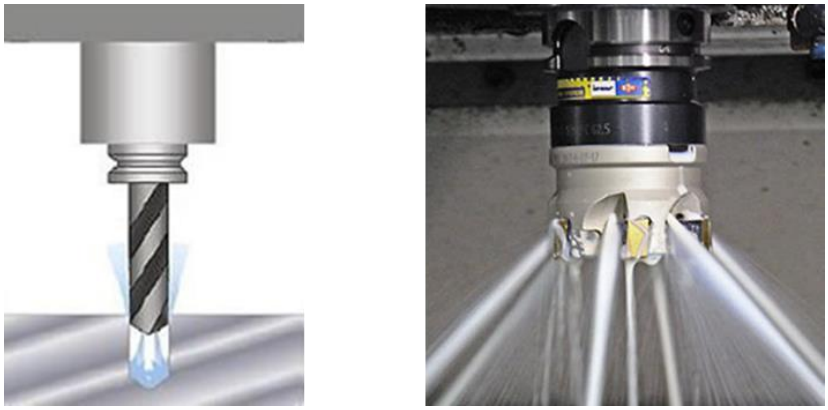
Ďalšou možnosťou prívodu rezného média do miesta rezu je použitie flexibilných trubíc. Tieto trubice je možné nastaviť v priestore tak aby privádzali rezné médium čo najbližšie k miestu rezania (obr. 4.18).



Obr. 4.18 Prívod rezného média do miesta rezu (Prívod 2024, Präzision 2024).

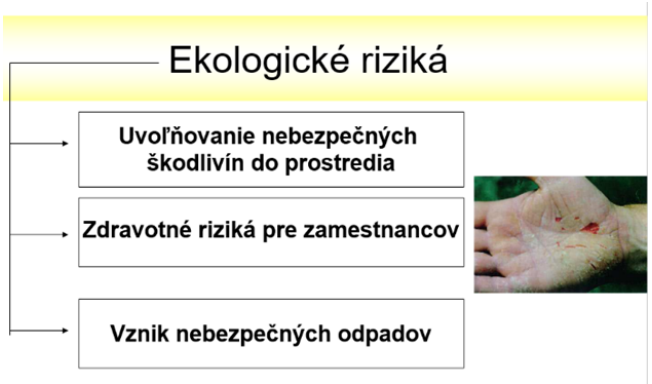
Pri výrobe tvarových plôch ako sú dutiny foriem je potrebné aby sa triesky dostali von z dutiny. Sú to niekedy hlboké tvary, kde je možné použiť systém chladenia cez stred vretena. Je to však opcia, ktorú je potrebné zakúpiť pri obstarávaní stroja. Ďalej je potrebné počítať s tým, že treba mať nástroje a držiaky, ktoré takýto spôsob prívodu rezného média umožňujú (obr. 4.19). Výhodou vnútorného chladenia cez vreteno a nástroj je (Prívod 2024):

- lepšie chladenie a mazanie nástroja aj obrobku,
- vyššia rýchlosť obrábania,
- efektívnejšie odstraňovanie triesok z miesta rezu,
- menšia spotreba reznej kvapaliny,
- predĺžená životnosť nástroja.



Obr. 4.19 Prívod rezného média cez vreteno a nástroj (Prívod 2024).

V súčasnosti je veľmi diskutovanou témou ekológia životného prostredia. To sa týka aj oblasti obrábania a využívania rezných médií. Preto súčasné trendy hovoria o ekologických smeroch obrábania. Chladenie a mazanie pri obrábaní prináša ekologické riziká (obr. 4.20).



Obr. 4.20 Ekologické riziká používania rezných médií (Buranská 2012).

Z tohto dôvodu sa v praxi aplikujú spôsoby ekologicky prijateľného obrábania. Medzi tieto spôsoby zaraďujeme (Peterka 2001):

- recyklácia a čistenie bežných rezných kvapalín (RK),
- obrábanie ekologickými RK,
- obrábanie s minimálnym množstvom rezného média,
- obrábanie s chladením prívodom studeného vzduchu,
- obrábanie bez použitia rezného média tzv. suché obrábanie.

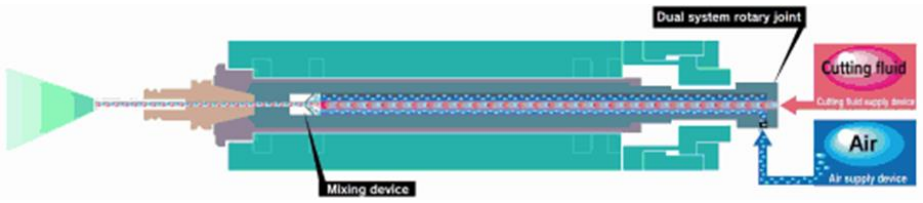
Cieľom recyklácie a čistenia bežných rezných kvapalín je dosiahnuť optimálny účinok reznej kvapaliny a jej ekologickú nezávadnosť. Rezné kvapaliny podliehajú starnutiu, teda dochádza k zmene vlastností kvapaliny, ktorá je spôsobená okysľovaním, účinkom tepla, tlakovým zaťažením v čerpadle, nečistotami, vniknutím iných kvapalín,.... Pravidelnou kontrolou fyzikálnych a chemických parametrov reznej kvapaliny predĺžime jej životnosť. Je potrebná regenerácia reznej kvapaliny, resp. obnova prevádzkových vlastností kvapaliny, čím predĺžime prevádzkyschopnosť. To je možné dosiahnuť napríklad usadzovaním, filtráciou, prevzdušňovaním emulzie, ...

Pri aplikácii obrábania ekologickými reznými kvapalinami využívame predovšetkým neropné rezné kvapaliny, resp. kvapaliny bez škodlivých látok ako sú Cl, S, P. Ďalšou možnosťou je použitie multifunkčných olejov ekologického typu. Sú to ekologické, rýchlo biologicky odbúrateľné kvapaliny, vyvinuté s ohľadom na vysokú úroveň

environmentálnej kompatibility. Obsahujú aditíva a aditívne systémy neobsahujúce ťažké kovy, ktoré sú neškodné. Sú to napríklad kvapaliny PLANTO od spoločnosti FUCHS (Biologicky 2024). Výhodami ekologických rezných kvapalín sú (Buranská 2012):

- nižšie náklady na údržbu,
- nižšie náklady na likvidáciu,
- dobré hygienické vlastnosti (zdravotná nezávadnosť),
- ekologická nezávadnosť.

Ďalej sa presadzuje tzv. pseudo- alebo kvazi-suché obrábanie s minimálnym mastením, ktoré celkom neeliminuje, avšak výrazne znižuje množstvo reznej kvapaliny. V zahraničnej literatúre sa stretneme so skratkami MMS (Minimalmengenschmierung), alebo MQL (Minimal Quantity Liquid). Jedná sa o cielené nasadenie redukovaného množstva RK, v malých objemových množstvách formou miniatúrnych kvapôčiek napríklad rozprašovaním oleja do vzduchu (tzv. olejová hmla). Schéma systému MQL je na (obr. 4.21).



Obr. 4.21 Zariadenie pre aplikáciu MQL (Buranská 2012).

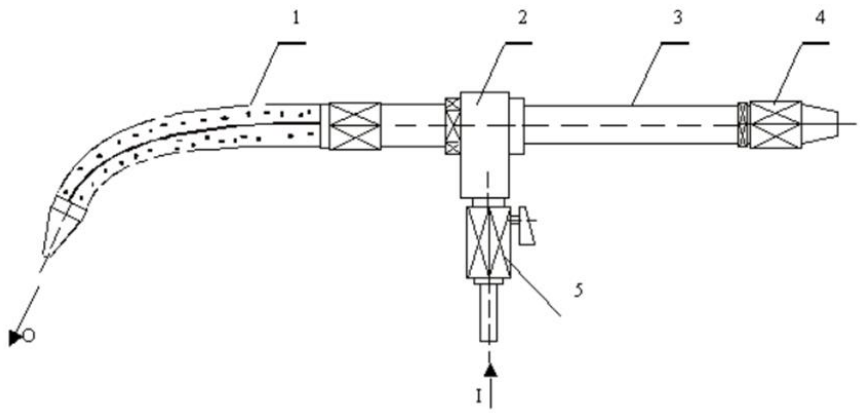
Systém MQL ochladzuje a maže frézovacie nástroje počas obrábania vzduchom, ktorý je v zariadení miešaný s rezným médiom. Takýmto spôsobom predĺžime životnosť nástrojov a dosiahneme vyššiu kvalitu povrchu (obr. 4.22).

Obr. 4.22 Aplikáciu MQL v praxi (Minimum 2024).

Medzi výhody systému MQL patria:

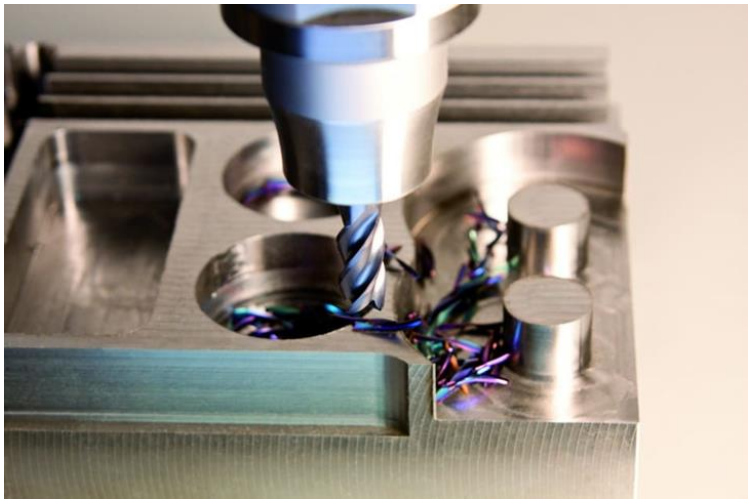
- odpadajú technické zariadenia pre dodávky, skladovanie, filtráciu a dopravu veľkého objemu klasických rezných kvapalín,
- zníženie nákladov na likvidáciu či recykláciu,
- znížené náklady na likvidáciu v trieskovom hospodárstve.

Obrábanie studeným vzduchom v porovnaní s MQL obrábaním je zamerané na znižovanie tepla chladením. Použitie je v takých prípadoch kde metódy MQL sú nepostačujúce najmä pre obrábanie materiálov s vysokým vývinom tepla. Preto sa objavila metóda obrábania s chladením studeným vzduchom. Teploty vznikajúce v procese rezania sú pri chladení vzduchom znížené prostredníctvom prúdu studeného vzduchu s teplotou pod bod mrazu v extrémnych prípadoch až na teplotu – 30°C resp. - 45°C. Studený prúd vzduchu pomáha zlepšiť rezný proces (Peterka 2001). Pre chladenie studeným vzduchom sa používa napríklad vírivá trubica (obr. 4.23).



Obr. 4.23 Schéma vírivej chladiacej trubice (Peterka 2001).
I – input – vstup stlačeného vzduchu z rozvodu, O – output – výstup chladného vzduchu,
1 – hadica s tryskou, 2 – nepohyblivý generátor, 3 – vírivá trubica,
4 – regulačný ventil podielu chladenia, 5 – vstupný ventil

Jednou z možností obrábania je obrábanie bez použitia reznej kvapaliny tzv. suché obrábanie. V zahraničnej literatúre sa stretneme s pojmom Dry Machining (obr. 4.24). Týmto spôsobom môžeme eliminovať vplyv rezných kvapalín na životné prostredie, vyhneme sa problémom s reznými kvapalinami ako sú nákup, skladovanie, filtrovanie, recyklácia a likvidácia rezných kvapalín.



Obr. 4.24 Obrábanie bez reznej kvapaliny – suché obrábanie (The 2024).

Okrem uvedených benefitov má suché obrábanie tieto výhody (Buranská 2012):

- veľké úspory nákladov (10-15%),
- veľké výhody z hľadiska životného prostredia,
- obmedzí sa čistenie obrobkov a nástrojov,
- zdravšie a čistejšie dielne, zmenší sa riziko alergií.

Náklady na likvidáciu odpadu rezných kvapalín, môžu predstavovať podľa finančných analýz nemeckého priemyslu asi 17% z celkových nákladov na obrábanie. V súčasnosti sa likvidácia emulzií ponúka užívateľovi ako súčasť balíka tzv. Fluid manažmentu alebo chemického manažmentu, ktorý zahŕňa (Buranská 2017):

- vyčistenie systému,
- naplnenie systému novou emulziou (roztokom),
- sledovanie a dokumentácia jej stavu,
- mechanické a chemické zásahy na predĺženie životnosti emulzie (roztoku),
- dopĺňanie strát,
- odborná likvidácia v zmysle platných predpisov.

Literatúra

Janáč, A., Bátora, B., baránek, I., Lipa, Z., 2004. *Technológia obrábania.* Bratislava: STU, ISBN 80-227-2347-9.

Grzesik, W., 2010. *Fundamentals of Machining of Metallic Materials.* WNT, Warsaw, 2010.

Buda, J., Békeš, J., 1977. *Teoretické základy obrábania kovov*. Alfa Bratislava.

Lipták, O., a kol., 1979. *Technológia výroby – obrábanie*. Alfa BraGslava.

Beňo, J., Maňková, I., 2004. Technologické a materiálové činitele obrábania. Košice: Vienala, 2004. s. 418. Strojnícka fakulta TU Košice. ISBN 80-7099-701-X.

Čiliková, M., Pilc, J., Stančeková, D., 2005. *Rezné kvapaliny a ich aplikácie.* 1 vyd. Žilina: Žilinská univerzita. 150 s. ISBN 80-8070-428-7.

Čilliková, M., Pilc, J., Mádl, J., 2008. *Top trendy v obrábaní*. Žilina : MEDIA / ST, 2008. s. 144. Zv. IV. Procesné médiá. ISBN 978-80-969789-3-9.

Kocman, K., 2011. Technologické procesy obrábení. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-722-2

Kocman, K., 2004. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. Vysoké učení technické v Brně. ISBN 80-214-2562-8

FUCHS., 2016 Cusng Fluids Manual Collected Knowledge on Cusng Fluids for Metalworking [cit. 2019-10-23]. Dostupné na internete: https://pdfslide.net/ documents/cusng-fluids-manual-fuchs-fluids-manual-collected-knowledge-on-cusngfluids.html

Dasch, J. M., D'Arcy, J. B., Kinare, S. S., Yin, Y., Kopple, R. G., Salmon, S. C., 2004. Mist generation from high-speed grinding with straight oils, presented at International Manufacturing Technology Show, Chicago, IL, September 10, 2004.

Vasilko, K., Havrila, M., Novák - Marcinčin, J. et al., 2006. *Top trendy v obrábaní*. Žilina : MEDIA / ST, 2006. s. 214. Zv. III. Technológia obrábania. ISBN 80-968954-2-7.

Kenneth, L., Sutherland, J., 1999. An experimental investigation into the effect of process conditions on the mass concentration of cusng fluid mist in turning. In Journal of cleaner production.

Mečiarová, J., 2007. *Humánne kritéria optimalizácie výberu procesných kvapalín v technológii obrábania*. Dizertačná práca. TU Zvolen, 2007.

Jurina, F., 2020. *Rezné kvapaliny*. 134 s. Dizertačná práca STU MTF Trnava.

Byers, J., 2006. Metalworking Fluids. [cit. 2019-11-23]. Dostupné na internete: https://www.worldcat.org/ti tle/metalworking-fluids/oclc/300430400

Leiseder, M. L., 1988. *Metalworking fluids*. R. E. Williams. Landsberg/Lech: MediaPRINT, 1988.

Kucháriková, E., 2010 *Monitorovanie rezných kvapalín = Monitoring of cutting fluids: Dizertačná práca*. Trnava: STU v Bratislave MTF. 120 s.

SCHWERZERSPANUNG IN DER SERIENFERTIGUNG. 2024. [cit. 2024-09-23]. Dostupné na internete: https://www.matec.de/de/Maschinenprogramm/Schwenktisch--und-Langbett-Fahrstaenderzentren

Prívod reznej kvapaliny cez vreteno obrábacích strojov. 2024. [cit. 2024-10-25]. Dostupné na internete: https://www.hennlich.sk/aktuality/privod-reznej-kvapaliny-cez-vreteno-obrabacich-strojov.html

Präzision in einer Aufspannung. 2021. [cit. 2024-10-14]. Dostupné na internete: https://www.zerspanungstechnik.de/blog/2021/04/27/praezision-in-einer-aufspannung/

Buranská, E., 2012. Ekologické smery obrábania. Prednáška z predmetu Teória obrábania

Peterka, J., 2001. Aplikácia chladenia studeným vzduchom pri výrobe Cu elektród pre elektroerozívne hĺbenie kováčskej formy. [cit. 2024-10-10]. Dostupné na internete:

https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2001/peterka.pdf

Biologicky rýchlo odbúrateľné mazivá. 2024. [cit. 2024-06-23]. Dostupné na internete: https://www.fuchs.com/sk/sk/produkty/produktovy-program/automobilove-maziva/rapidly-biodegradable-lubricants/

Minimum quantity lubrication for cooling and lubrication of the tools. 2024. [cit. 2024-10-21]. Dostupné na internete: https://schleicher-technic.com/en/pages/veromill-cnc-mill

The benefits of dry machining. 2024. [cit. 2024-11-253]. Dostupné na internete: https://www.theengineer.co.uk/content/advanced-manufacturing/the-benefits-of-dry-machining/

Buranská, E., 2017. Manažment rezných kvapalín. In *Integrovaná bezpečnosť prostredia 2017 : Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie, 10.11.2017, Rajecká kotlina – Lietavská Svinná*. 1. vyd. Žilina: Strix, 2017, s. 124-130. ISBN 978-80-89753-17-8.

5.

Automatizácia pre CNC obrábacie stroje

S pojmom automatizácia sa v technickej praxi stretávame na každodennej báze. Tak isto sa s automatizáciou procesov stretávame každý deň bez toho aby sme si to uvedomovali. Sú to také jednoduché a obyčajné veci ako automatické otváranie dverí do budov, automatické podávače tovaru pri pokladniciach, závory pri železničných prejazdoch, kúrenie plynovým kotlom atď. V tejto kapitole si predstavíme ktoré automatizačné prostriedky sa nachádzajú v obrábacích strojoch, alebo, ktoré automatizačné prostriedky sa k obrábacím strojom dajú pripojiť.

5.1 Automatizácia a jej vývoj

V súčasnosti sa v praxi neustále zvyšujú požiadavky na kvalitu a spoľahlivosť výrobkov. Využitie ručnej práce už nie je možné na to, aby sme udržali vysokú kvalitu vo výrobe. Okrem toho musí výroba pružne reagovať na zmeny výroby. Skôr než prejdeme k pojmu automatizácia povedzme si niekoľko potrebných pojmov.

Manuálna práca – človek ťažko pracuje, riadi činnosť a kontroluje činnosť.

Mechanizácia – mechanizmy vykonávajú za človeka obťažnú prácu, človek riadi a kontroluje prácu. Mechanizácia činností výrobného procesu je predstupňom automatizácie.

Automatizácia – predstavuje najvyšší vývojový stupeň techniky. Cieľom je vyčleniť človeka z výrobného procesu prenesením riadiacich a regulačných funkcií na samotné výrobné zariadenia.

Pri automatizácii – *„múdre“* stroje pracujú, riadia a kontrolujú činnosť podľa pokynov človeka. Neustále zlepšenie mechanizácie viedlo k položeniu základov tvrdej automatizácie automatizovali len jednotlivé časti výroby bez ich komplexného riešenia a integrácie), používali mechanické – vačkové, náražkové riadenie. Na začiatku boli mechanické automaty ako napr. revolverový sústruh.

Nasledovala pružná automatizácia (1957), kde boli zavedené číslicovo riadených obrábacích strojov (**NC** – Numerical Control) pri ktorých sa všetky údaje pre obrábanie kódovali na diernu pásku, neskôr na magnetickú pásku. Rozvojom výpočtovej techniky (1970) vzniklo počítačové číslicové riadenie – **CNC** systémy (Computer Numerical Control), kde signály sú spracované číslicovými počítačmi, majú širší rozsah v programovaní, rýchlejšia príprava stroja na výrobu iného výrobku.

Vyšší stupeň automatizácie predstavujú pružné výrobné systémy – pružné výrobné bunky s prepojením zásobníkov z transportných systémov, pružné výrobné linky. Najvyšší stupeň automatizácie výrobného procesu predstavuje počítačom integrovaná výroba (CIM) s prepojením toku dát a s digitalizovanou dokumentáciou (Papp 2022).

Vplyvy a efekty automatizácie:

- zvýšenie produktivity práce (nepretržitá práca, väčšia produkcia),
- zvýšenie akosti výroby (neúnavne pracujú, rovnakou presnosťou),
- úspora pracovníkov (vo výrobe je potrebné menej pracovníkov),
- flexibilita (pružné reagovanie na zmeny),
- humanizácia práce (človek nemusí robiť monotónne činnosti, pracovať v nebezpečnom prostredí).

5.2 Automatizácia výrobných etáp

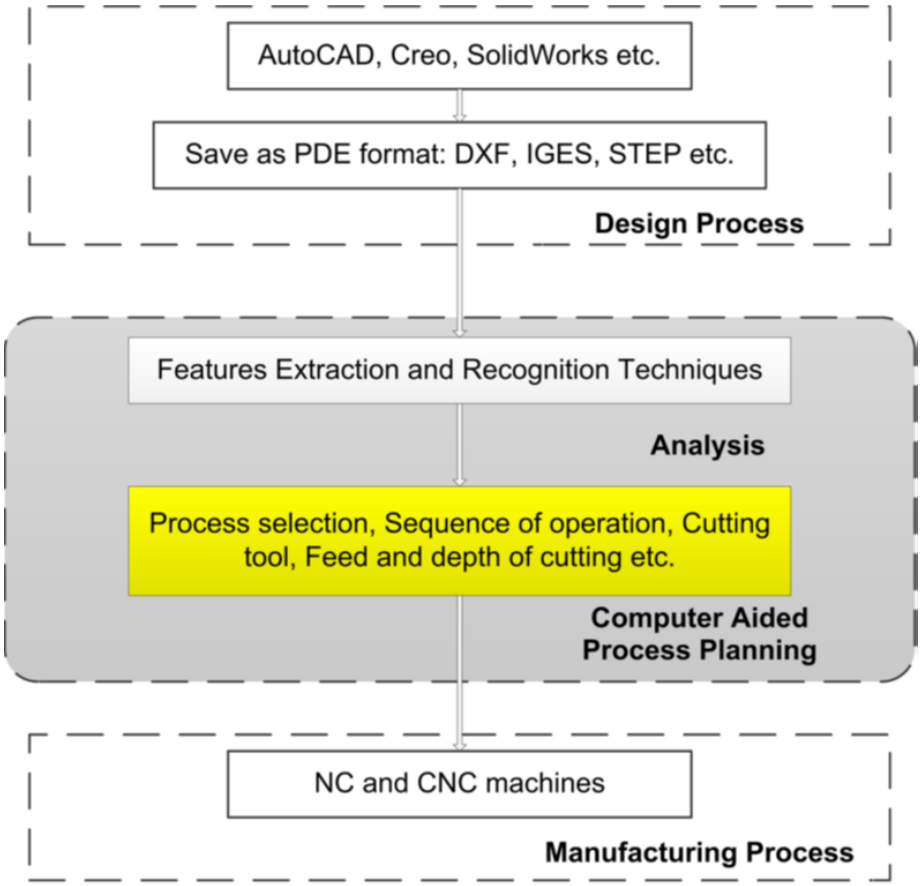
V strojárskej výrobe môžeme automatizovať:

- predvýrobné etapy,
- výrobné etapy,
- povýrobné etapy.

Predvýrobné etapy – návrh konštrukčnej dokumentácie (CAD systémy) – návrh technologickej dokumentácie, technická príprava výroby (CAPP systémy). Pri plánovaní procesov sa používali počítače. To znamená veľa systémov a technológií CAPP bolo vyvinutých s cieľom, že môžu významne prispieť k zníženiu času a nákladov. Avšak použitie počítačov pri plánovaní procesov nemusí znamená, že tieto činnosti sa plánujú automaticky. Preto je potrebné automatizovať aj systém plánovania výrobného procesu. Vzniká tak nový koncept ACAPP za účelom získania rýchleho, presného a spoľahlivého systému s minimálnym zásahom človeka. V systémoch CAPP je rozpoznávanie prvkov súčiastok prvým a najdôležitejším vstupom do ľubovoľného systému CAPP. Systém by mal byť tiež schopný vyriešiť inteligentne problémy s rozpoznávaním prvkov, napríklad v prípade zmontovaného výrobku rozmery a tolerancie každej časti súvisia s ostatnými časťami v určitom poradí pre dosiahnutie funkčných parametrov výrobku. Automatický výpočet rozmerového reťazca.

Nahradenie databáz inteligentnou vedomostnou základňou je ďalším krokom pre vytvorenie efektívneho a inteligentného systému ACAPP. Takýto systém je schopný rozpoznať a konštruovať nové prvky pomocou mechanizmov samoučenia (Mazin 2018).

Na (obr. 5.1) je zobrazený inteligentný výrobný systém, ktorý je podporovaný počítačmi v troch hlavných fázach (proces návrhu/CAPP založený na automatickom rozpoznávaní funkcií (AFR)/výrobný proces.



Obr. 5.1 Architektúra inteligentného výrobného systému (Mazin 2018)

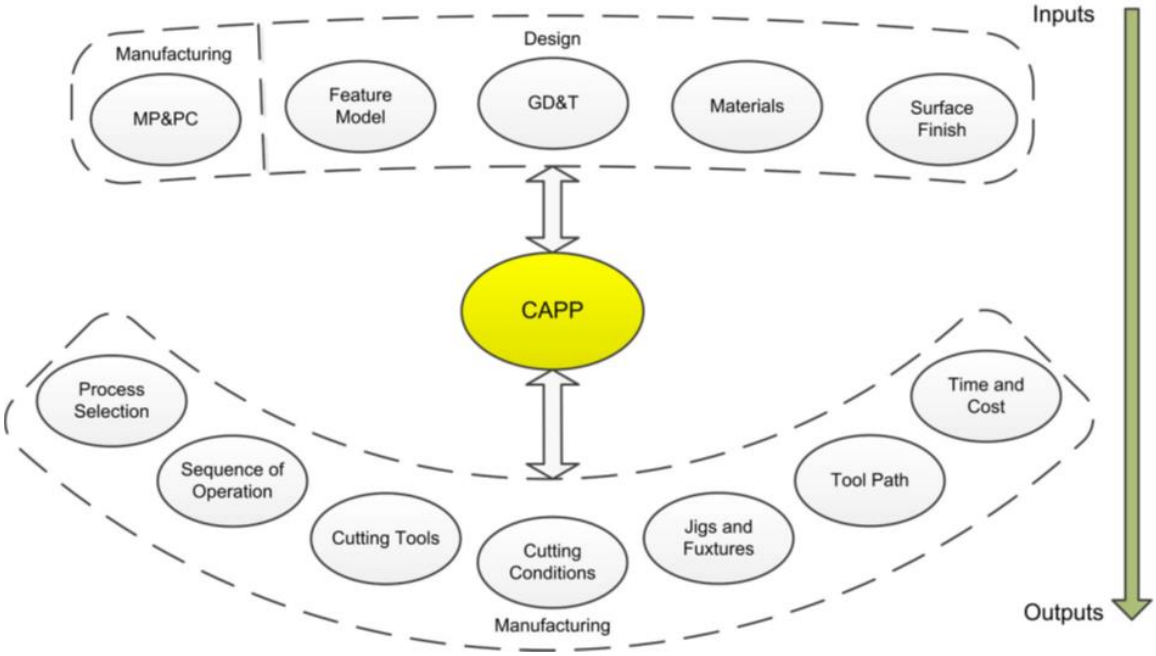
Rôzne aspekty plánovania procesov sú klasifikované podľa požadovaných vstupov a prevádzkových detailov (výstupov). Požadované vstupy CAPP zahŕňajú:

1. Technológia prvkov;
2. Rozmery a tolerancie;
3. Materiály;
4. Povrchové úpravy;
5. Proces obrábania a procesné parametre.

Tieto vstupy musia byť presne analyzované a vyhodnotené, aby sa vytvorilo procesné plánovanie na základe dostupných strojov a procesov. Konečný výstup činností plánovania procesov zahŕňa:

1. Výber procesov;
2. Postupnosť operácií;
3. Rezné nástroje;
4. Podmienky rezania;
5. Výber prípravkov;
6. Identifikácia dráhy nástroja pre cykly hrubovania a dokončovania;
7. Odhad času a nákladov na výrobu obrobku.

Na (obr. 5.2) je ukázaná všeobecná štruktúra CAPP systémov s ich vstupmi a výstupmi (Mazin 2018).



Obr. 5.2 CAPP systém s jeho vstupmi a výstupmi (Mazin 2018)

Výrobné etapy – tieto etapy zahŕňajú (Čuboňová 2021):

- začatie výroby až po odovzdanie výrobku do skladu,
- činnosti súvisiace s výrobou (zhotovením výrobku),
- vykonanie technologických zmien na vstupnom materiáli(tvar a vlastnosti podľa predpísanej konštrukčnej dokumentácie).

Jedná sa o automatizáciu technologických procesov (obrábanie, zváranie, tvárnenie, zlievanie, aditívne procesy, ...). Technologický proces sa uskutočňuje pomocou sústavy SNOP (Papp 2022):

- na výrobných zariadeniach (*obrábacie stroje, tvárniace stroje a pod.),*
- pomocou nástrojov (*rezné nástroje, tvárniace nástroje a pod.*),
- meníme polotovar na výrobok (obrobok výtvarok, odliatok a pod.),
- využitím pomocných zariadení (*prípravky*),
- s vhodne volenými technologickými podmienkami (*posuv, frekvencia otáčania vretena, hĺbka rezu, geometria rezného nástroja, použitie reznej kvapaliny a pod.*),

Je nutná medzioperačná doprava, manipulácia a skladovanie (prísun a odsun polotovarov, súčiastok a nástrojov). Ukážka manipulácie s kolesami železničných náprav je na (obr. 5.3).

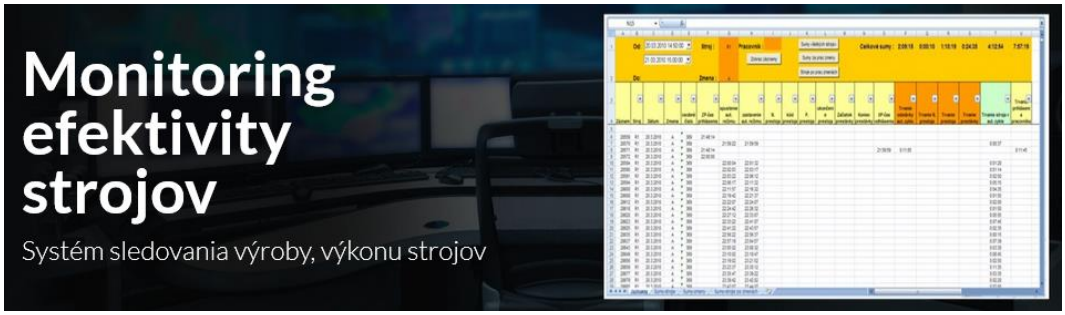
Obr. 5.3 Manipulácia s kolesami náprav (PROCONT 2024)

Potrebujeme monitorovať a diagnostikovať zariadenia a výrobný proces (senzory, blokovacie prvky). V súčasnosti existuje na trhu množstvo diagnostických systémov, ktoré sú schopné sledovať a vyhodnocovať proces výroby. Monitoring efektivity strojov slúži k operatívnemu sledovaniu a vyhodnocovaniu (MRK 2024):

- produkcie a produktivity na strojoch, prevádzkach,
- hľadanie rezerv a možností úspor,
- práce jednotlivých profesií,

- práce jednotlivých zamestnancov s možnosťou vytvorenia mzdových podkladov,
- pohybu produktov na výrobnej linke,
- rôznych fáz výroby,
- poruchovosti strojov, vyhodnocovania servisných opráv.

Ukážka takého systému monitorovania efektivity strojov je na (obr. 5.4).



Obr. 5.4 Monitoring efektivity strojov (MRK 2024)

Povýrobné etapy – uzatvárajú výrobný proces, rieši balenie, nakladanie, expedícia, prevzatie výrobku zákazníkom a príp. garančné skúšky. Povýrobné etapy zahŕňajú nasledujúce subsystémy (Čuboňová 2021):

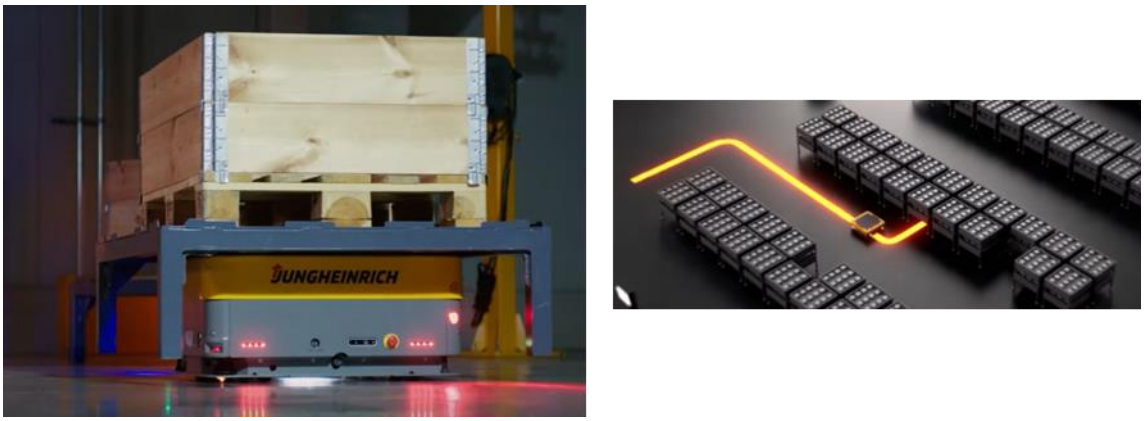
- kontrolný subsystém (napr. bezdotykové meranie),
- dopravné subsystémy (tok materiálu, napr. indukčným vozíkom),
- skladový subsystém (výstupné sklady).

Pre kontrolné subsystémy sú hlavne v automatizovaných procesoch využívané 3D skenery. Tieto môžeme považovať za základ výroby nástroja, výrobku či obrobku, kedy je potrebné kontrolovať kvalitu výrobkov, aby sa mohlo čo najskôr zasiahnuť do výrobného procesu a zamedzilo sa tak nežiaducej zmätkovitosti. 3D optické meranie je technológia na optimalizáciu kvality produktu a zefektívnenie výroby (MCAE 2024). Pre automatizovaný proces merania a kontroly výrobkov sa využíva napríklad systém ATOS ScanBox (obr. 5.5).

Obr. 5.5 ATOS ScanBox séria 8 (MCAE 2024)

Konkrétne model ATOS ScanBox séria 8 sa používa na 3D skenovanie veľkých prípravkov, na inšpekciu skompletizovaných vozidiel a na kontrolu kvality v karosárňach. 3D meranie niekoľkých častí môže byť virtuálne zlúčené na zistenie informácie o škáre a presahu jednotlivých obrobkov. ATOS ScanBox séria 8 môže byť rozšírený o jeden alebo dva rotačné stoly (MCAE 2024).

V dopravných subsystémoch sa v praxi využívajú napríklad autonómne mobilné roboty (obr. 5.6).



Obr. 5.6 Autonómny mobilný robot (JUNGHENRICH 2024)

Autonómne mobilné roboty sa samostatne pohybujú vo vymedzenom priestore a pri transporte nákladu sa orientujú presne podľa jeho polohy a nastavenia. Preprava paliet je

rýchla a flexibilná, tovar a materiál je prepravovaný z bodu A do bodu B. Systém má automatické odoberanie alebo ukladanie nákladu a je schopný prepravovať rozličné druhy nosičov nákladu (JUNGHENRICH 2024).

Pre skladové subsystémy môžeme pre automatizovanú prevádzku použiť automatické paletové sklady a sklady drobných súčiastok. Tieto sklady spájajú regálový systém, softvér a obsluhovacie zariadenie do kompaktného skladového systému (obr. 5.7).

Obr. 5.7 Automatický sklad (JUNGHENRICH 2024)

5.3 Automatizácia strojárskej výroby

Automatizácia strojárskej výroby obsahuje komplex otázok, ktorému musí predchádzať zvládnutie poznatkov zo strojárskych technológií, výrobných prostriedkov, organizácie a riadenia výroby ako i automatizačnej, regulačnej a počítačovej techniky. Pri zavádzaní automatizácie do výrobného procesu je nutné splniť nasledujúce predpoklady (Čuboňová 2021):

- vysoká úroveň mechanizácie,
- poznanie výrobného procesu,
- meracia technika vhodná pre automatizovanú prevádzku,
- dostupnosť automatizačných prostriedkov s vyhovujúcou presnosťou a spoľahlivosťou.

Je nutné vyriešiť nasledujúce úlohy:

- voľba technológie výroby,
- voľba výrobného postupu,
- výber výrobných a pomocných zariadení,
- automatizácia materiálového toku,

- automatizácia nástrojového toku,
- riadenie výrobného procesu.

Na základe vyrábaného sortimentu, počtu vyrábaných súčiastok, hmotnosti a rozmerov je možné výrobu rozdeliť na kusovú, malosériovú, veľkosériovú a hromadnú. Presné hranice medzi jednotlivými typmi výroby nie sú jednoznačne stanovené. Koncepcia automatizácie výroby je rozdielna podľa charakteru výroby.

V kusovej a malosériovej výrobe bude prevládať nasadenie pružných (ľahko prestaviteľných) automatizačných prvkov. Malo a stredne sériová výroba je zastúpená 75% objemom strojárskej výroby. Často mení výrobný sortiment (využíva prostriedky automatizácie, ktoré pružne reagujú na zmeny výroby). Základnými prostriedkami sú stroje s programovým riadením a obrábacie centrá. V malosériovej a kusovej výrobe sa používajú nasledovné prostriedky pre automatizovanú výrobu (Čuboňová 2021):

- stroje s narážkovým riadením,
- prestaviteľné viacúčelové výrobné stroje,
- číslicovo riadené stroje – NC stroje,
- obrábacie centrá,
- CAD/CAM systémy spojene s NC strojmi.

Pri veľkosériovej a hromadnej výrobe bude ťažisko použitých automatizačných prvkov naopak práve v oblasti nepružnej automatizácie. Hromadná výroba sa vyznačuje ustáleným výrobným programom a jednoúčelovými strojmi (výroba sa nemusí často prestavovať na iný sortiment) Automatické linky sa dimenzujú na výrobu stabilného sortimentu, (niekoľko rokov). Majú vysokú stabilitu výroby a technologického procesu ako aj vysoké tempo výroby. Prechod na výrobu iného sortimentu prebieha s veľkými nákladmi. Hromadná výroba nie je adaptabilná na zmeny vo výrobnom programe podniku. Jedná sa o najlacnejšiu metódu presnej výroby súčiastok. V hromadnej a veľkosériovej výrobe sa používajú automatizované pro-striedky ako (Čuboňová 2021):

- automaty riadené vačkami,
- stroje s narážkovým systémom riadenia,
- špeciálne jednoúčelové stroje,
- automatické výrobné linky,
- automatické rotorové stroje a pod.

Prvým krokom ku automatizácii obrábacieho stroja je jeho ***modernizácia.*** Modernizácia výrobných strojov umožňuje zlepšovať ich technické a technologické možnosti. Výmena zastaraných, poruchových resp. opotrebovaných prvkov, uzlov a jednotiek, za nové.

Cieľom modernizácie je (Kováč 2013):

- modernejšie výrobné prostriedky,
- zabezpečenie jednoduchej obsluhy,
- vyššia produktivita,
- nižšia spotreba energií,
- jednoduchšia údržba.

Modernizáciou sa zvyšuje:

- presnosť výroby,
- rýchlosť realizácie jednotlivých operácií,
- spôsob programovania.

Modernizáciu výrobných strojov podľa rozsahu uskutočnených výkonov možno rozdeliť:

- modernizáciu strojov doplnením o modernizačné prvky, stroje sa vybavujú sa vhodným modernizačným zariadením podľa druhu a typu,
- modernizácia strojov na základe opravy niektorých prvkov, modulov alebo uzlov,
- generálne opravy spojené s modernizáciou strojov.

Modernizácia existujúcich výrobných strojov je investične menej náročná ako kúpa nových strojov. V praxi sa výrobný stroj analyzuje spravidla na základe parametrov, ktoré vplývajú na jeho funkčnú činnosť. Výhodné je ak nepresiahnu náklady na jeho modernizáciu 40% nákladov, spojených s investíciou do nového stroja s porovnateľnými parametrami (Kováč 2013).

Pri modernizácii obrábacích strojov sa jedná prevažne o doplnenie nasledujúcich prvkov:

- doplnenie digitálneho odmeriavania,
- doplnenie samostatných pohonov jednotlivých osí alebo výmena zastaraných pohonov za moderné výkonnejšie a spoľahlivejšie,
- výmena trapézových skrutiek za guličkové skrutky,
- doplnenie centrálneho mazania,

- doplnenie riadiaceho systému alebo výmena za modernejšie a užívateľsky komfortnejšie systémy,
- doplnenie krytov a bezpečnostných systémov,
- doplnenie automatického upínania nástrojov alebo aj zásobníka nástrojov s automatickou výmenou,
- doplnenie automatickej výmeny obrobkov,
- doplnenie ďalšej riadenej osi,
- doplnenie obrobkových alebo nástrojových sond,
- doplnenie diagnostiky a monitorovanie technického stavu stroja.

5.4 Automatizácia obrábacích strojov

Medzi prvky automatizácie obrábacieho stroja môžeme zaradiť:

- Riadiaci systém.
- Adaptívne riadenie.
- Výmena nástrojov.
- Zásobník nástrojov.
- Upínacie zariadenia obrobkov.
- Zariadenia pre filtráciu rezných kvapalín.
- Monitorovanie obrábacích strojov.
- Automatické podávače materiálu.
- Robotizácia obrábacích strojov.
- Zaradenie obrábacích strojov do výrobných liniek.

Medzi najpoužívanejšie riadiace systémy pre CNC obrábacie stroje patria systémy Heidenhain a Siemens. Systém Heidenhain patrí medzi riadiace systémy, pomocou ktorých je možno programovať vŕtacie a súvislé frézovacie operácie. Tieto systémy sú navrhnuté k použitiu na frézovačkách, vŕtačkách a obrábacích centrách. Programovanie je možné realizovať priamo v dielni na stroji alebo pomocou programovacej stanice pripojenej k počítači. Všetko uľahčuje zadávanie pomocou popisného dialógu. Tento spôsob zadávania sa uplatňuje predovšetkým pri dielenskom programovaní, kde na programátora pôsobí veľké množstvo rušivých elementov. Riadiaci systém iTNC 530 (obr. 5.8) umožňuje riadiť až 12 osí (Strojár 2022).

Obr. 5.8 Riadiaci systém Haidenhain (HIEDENHAIN 2015)

Či sa jedná o kusovú alebo hromadnú výrobu, jednoduché alebo zložité produkty, CNC riadiaci systém SINUMERIK (obr. 5.9) od firmy Siemens je produktívne riešenie automatického riadenia pre výrobné procesy s CNC riadením.

Obr. 5.9 Riadiaci systém Sinumeric (Siemens 2022)

Pomocou riadiaceho systému CNC je možné realizovať nasledujúce základné funkcie:

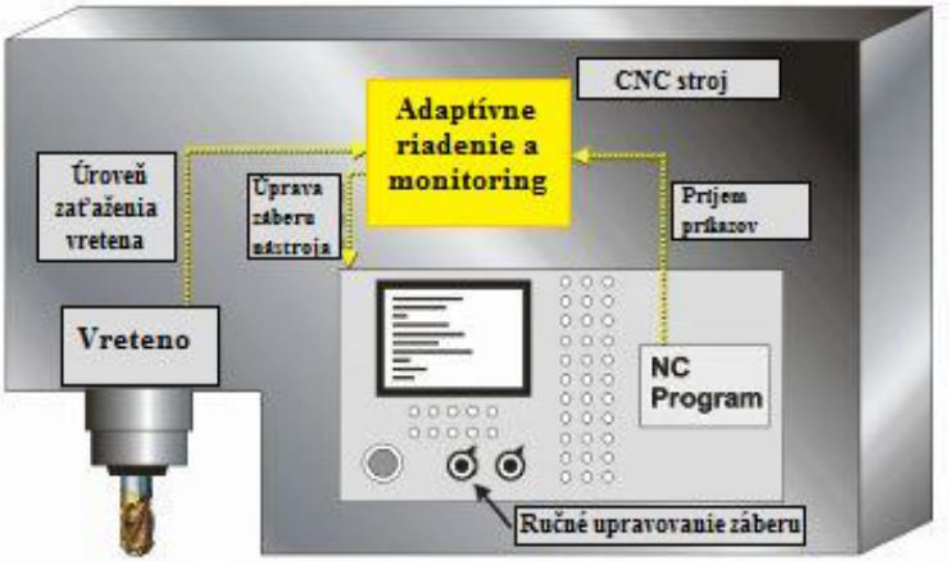
- vytváranie a prispôsobovanie technologických programov,
- spracovanie technologických programov,
- ručné ovládanie,
- prístup k interným a externým dátovým nosičom,
- editovanie dát pre programy,
- spravovanie nástrojov, nulových bodov a ďalších užívateľských dát potrebných v programoch,
- vykonávanie diagnostiky riadenia a stroja.

Adaptívne riadenie predstavuje riadenie obrábacieho stroja, ktoré prispôsobuje činnosť obrábacieho stroja na zmenené podmienky napr. obrobitelnosť materiálu, alebo veľkosti prídavku v rámci obrábania jedného obrobku tak, aby prebiehala v optimálnom režime. V praxi sa ale rezné podmienky zvyknú neustále meniť vzhľadom na nasledovné dôvody (Reynolds 2010):

- ✓ nerovnomerný povrch materiálu obrobku,
- ✓ postupné opotrebovanie nástroja,
- ✓ tvrdosť materiálu sa môže kusovo líšiť,
- ✓ rozmery základného materiálu sa môžu kusovo líšiť,
- ✓ zmeny teploty nástroja počas rezania,
- ✓ stabilita upnutia sa môže počas obrábania meniť,
- ✓ NC kód môže obsahovať chybu.

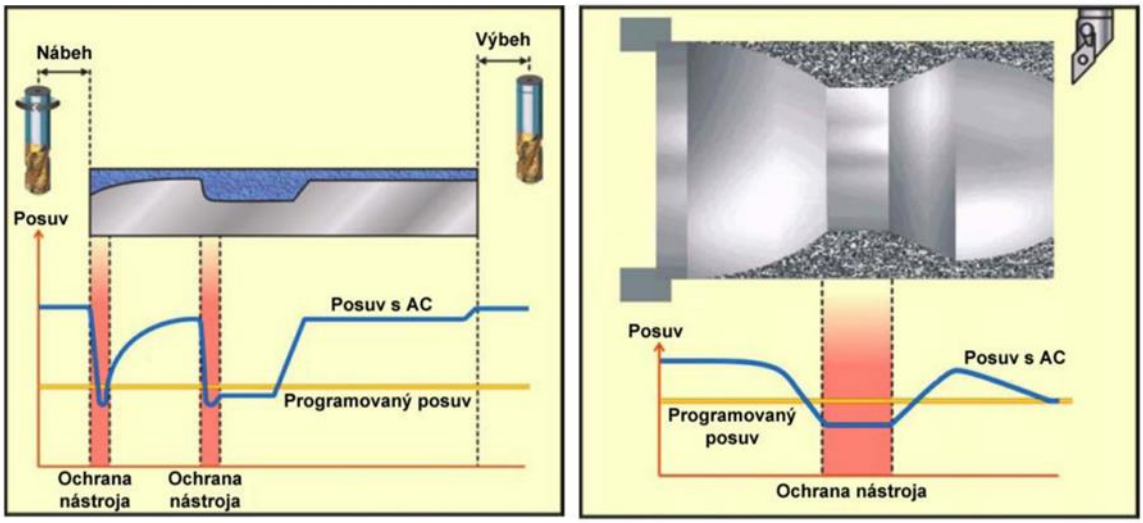
CNC obrábanie môže byť plne optimalizované implementáciou prídavných adaptívnych kontrolných systémov, ktoré nepretržite monitorujú rezné podmienky v reálnom čase. Obsluha stroja už viac nemusí zasahovať do obrábacieho procesu, pozorovať ho a dolaďovať parametre. Adaptívne riadenie sa dá pripojiť priamo na riadenie CNC stroja, čo umožní snímať a monitorovať súčasne podmienky zaťaženia rezného nástroja a v reálnom čase upravovať hodnotu záberu rezného nástroja na optimálnu hodnotu. To zaručí konštantné zaťaženie rezného nástroja počas obrábacieho procesu. Záleží na každom špecifickom CNC stroji, každá súčasť systému adaptívneho riadenia môže pozostávať zo softwarového prvku, plne integrovaného do CNC stroja, alebo mikroprogramové vybavenie zabudované v prídavnom hardwarovom balíku. Softwarové riešenie zabudované do CNC je preferované preto, že nevyžaduje žiadne prídavné hardwarove zariadenie alebo kabeláž. Avšak všetky softwarove riešenia sú obvykle dostupné iba pre najnovšie verzie

CNC strojov. Pre staršie verzie CNC strojov, je nutné nainštalovať i hardwarové súčasti. Na (obr. 5.10) je schéma zapojenia adaptívneho riadenia v rámci riadiaceho systému CNC stroja.



Obr. 5.10 Schéma zapojenia adaptívneho riadenia do systému CNC stroja (Omative 2010).

Na (obr. 5.11) je možné vidieť porovnanie rýchlosti posuvu pri frézovaní a sústružení za použitia systému adaptívneho riadenia a bez použitia systému adaptívneho riadenia.



Obr. 5.11 Adaptívne riadenie pri frézovaní a sústružení (Adaptive 2024).

V grafe je zreteľne znázornená konštantná rýchlosť posuvu rezného nástroja bez použitia systému adaptívneho riadenia. Pri použití systému adaptívneho riadenia je vidieť,

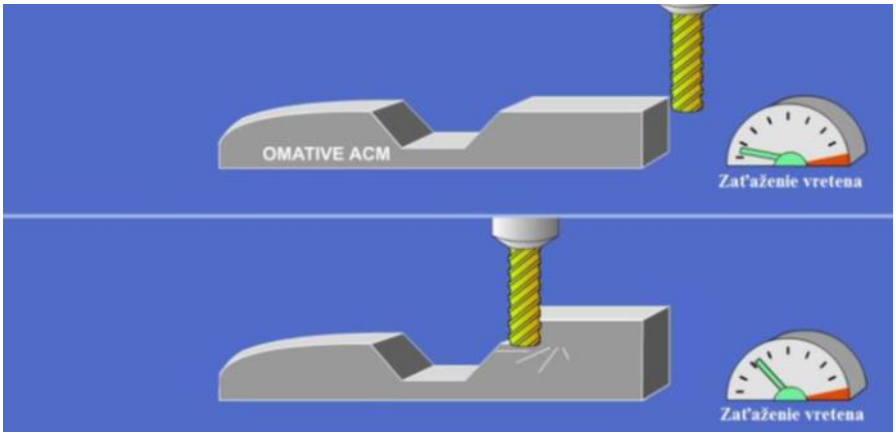
že rýchlosť posuvu rezného nástroja je vyššia oproti naprogramovanej rýchlosti posuvu. Táto rýchlosť sa znižuje pri prvom kontakte rezného nástroja s obrobkom, čo chráni rezný nástroj pred zlomením. Po prvom kontakte rezného nástroja s obrobkom, stúpa rýchlosť posuvu opäť nad úroveň naprogramovanej rýchlosti posuvu a neskôr opäť klesá pri odoberaní hrubšej vrstvy materiálu. Nakoniec sa rýchlosť posuvu dostáva nad úroveň naprogramovaného posuvu a na tejto rýchlosti zostáva až do konca obrábacieho procesu.

Jeden zo systémov adaptívneho riadenia je napríklad systém Omative je skratka, ktorá vyjadruje Omative Adaptive Control and Monitoring, teda adaptívne riadenie a monitorovanie. Systém umožňuje (Adaptive 2024):

- ✓ optimalizácia záberu rezného nástroja v reálnom,
- ✓ ochrana proti poškodeniu rezného nástroja,
- ✓ ochrana mechaniky vretena,
- ✓ detekcia preťaženia rezného nástroja,
- ✓ automatická úprava záberu rezného nástroja vzhľadom na jeho opotrebenie,
- ✓ monitoring opotrebenia rezného nástroja,
- ✓ detekcia poškodenia nástroja,
- ✓ monitorovanie obrábacieho procesu a štatistika výkonu rezného nástroja.

Omative neustále prepočítava optimálny záber rezného nástroja pre každý jeden rezný nástroj a polotovar a upravuje rýchlosť posuvu rezného nástroja v reálnom čase. Výsledkom je znateľné zníženie času obrábacieho cyklu a zároveň ochrana pred poškodením vretena, nástroja a súčiastky, hlavne pri hrubovaní a dokončovaní, kedy sú rozdiely v zaťažení značné.

Zo schématického zobrazenia (obr. 5.12) na prvý pohľad vidieť, že dĺžka trvania obrábacieho cyklu za použitia adaptívneho riadenia je značne menšia ako dĺžka obrábacieho cyklu za použitia klasického riadiaceho systému CNC stroja. Systém adaptívneho riadenia práve ukončil obrábací proces. Obrábací proces, kde nebol použitý systém adaptívneho riadenia, sa práve nachádza ešte len v 70% procesu. Zaťaženie vretena je nízke a rýchlosť posuvu rezného nástroja ostáva konštantná. Jedná sa o skrátenie obrábacieho cyklu v procese frézovania až o 27%.



Obr. 5.12 Využitie systému Omative (Adaptive 2024).

Výmena nástrojov je významným prvkom automatizácie obrábacieho stroja. Realizuje sa automaticky na základe programu v riadiacom systéme CNC stroja. Hlavným prínosom systémov automatickej výmeny nástrojov (AVN) u číslicovo riadených strojov je možnosť automaticky riadiť komplexné obrábanie celého obrobku na danom stroji. Systémy AVN teda vylučujú z relatívne dlhého pracovného cyklu zásahy ľudskej obsluhy, čo umožňuje podstatne skrátiť vedľajšie časy potrebné na výmenu nástrojov a tým dosiahnuť vyššiu výrobnosť stroja. Aby systém pre výmenu nástrojov kvalitne plnil svoju funkciu, musí spĺňať minimálne tieto požiadavky (Demeč 2010):

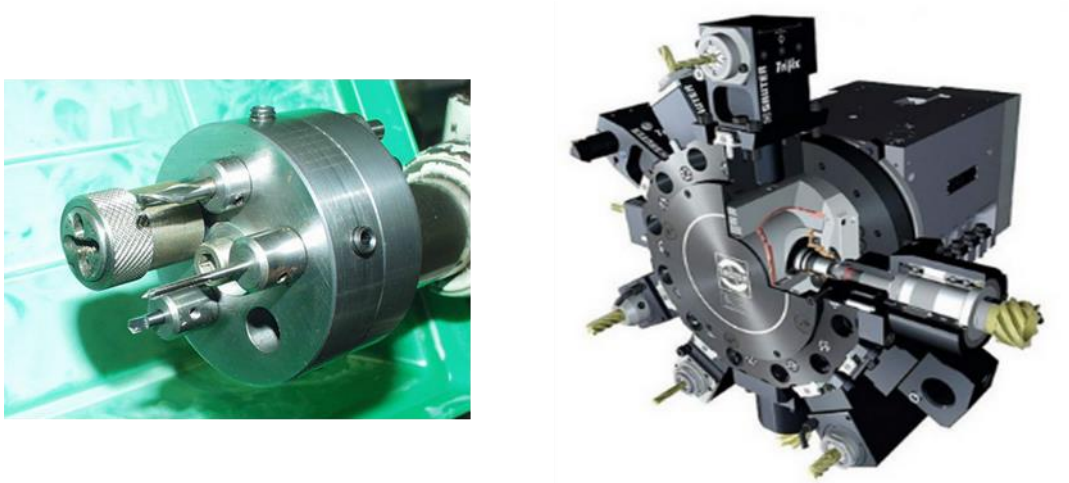
- čas na výmenu nástroja musí byť čo najkratší,
- uzol stroja, ktorý nesie nástroj počas odoberania triesky, musí byť dostatočne tuhý,
- zásobník nástrojov musí mať dostatočnú kapacitu a nemá byť náročný na priestor, resp. pôdorysnú plochu,
- celý systém AVN má byť navrhnutý tak, aby nepracujúce nástroje alebo mechanizmy systému neobmedzovali pracovný priestor stroja,
- mechanizmy systému a nepracujúce nástroje musia byť zakryté alebo usporiadané tak, aby neohrozovali operátora (obsluhu stroja),
- celý systém AVN má byť čo možno najjednoduchší a spoľahlivý.

Systémy AVN rozdeľujeme podľa použitého zásobníka nástrojov na tri základné skupiny:

1. systémy AVN s nosným zásobníkom (zásobník nástrojov pri práci stroja prenáša rezné odpory),
2. systémy AVN so skladovacím zásobníkom (zásobník nástrojov neprichádza pri práci stroja do kontaktu s obrobkom a neprenáša rezné odpory),

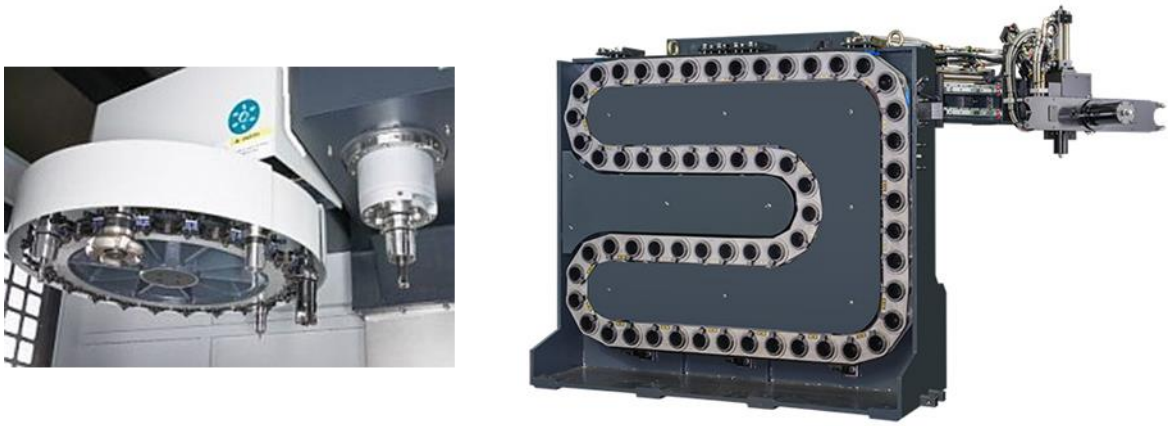
3. systémy AVN kombinované, ktoré majú sekciu prenášajúcu pri práci stroja rezné odpory a sekciu skladovaciu.

Typickými predstaviteľmi systémov AVN s výmenou jednotlivých nástrojov upnutých v zásobníku sú revolverové a nožové hlavy číslicovo riadených sústruhov a sústružníckych centier (obr. 5.13).



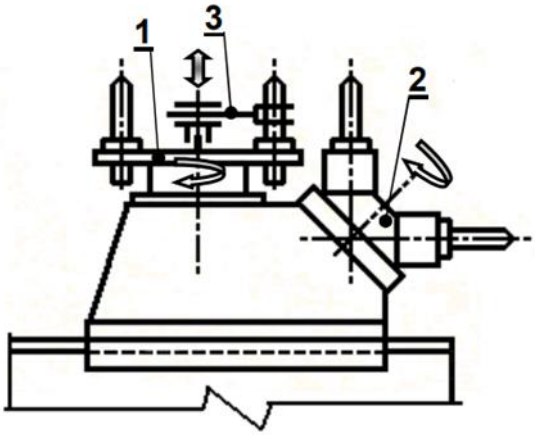
Obr. 5.13 Systémy AVN s nosným zásobníkom (Revolverová 2024, Poháněné 2024).

Systémy AVN s výmenou jednotlivých nástrojov zo zásobníka rozdeľujeme na príslušné podskupiny buď podľa ich kapacity, alebo podľa spôsobu realizácie manipulačného cyklu s nástrojmi medzi ich pozíciou v zásobníku a pracovnou pozíciou na stroji. Podľa kapacity zásobníka rozlišujeme systémy s maloobjemovými a systémy s veľkoobjemovými zásobníkmi (obr. 5.14).



Obr. 5.14 Systémy AVN s nosným zásobníkom (Karuselový 2024, Tool 2024).

Kombinované systémy AVN sú vytvorené integráciou systému AVN so skladovacím zásobníkom a systému s nosným zásobníkom. Systém s bubnovým skladovacím zásobníkom 1 a revolverovou hlavou 2 s dvojpolohovou revolverovou hlavou. V priebehu práce jedného nástroja je z druhého nástrojového miesta v hlave použitý nástroj uložený naspäť do skladovacieho zásobníka a na jeho miesto manipulátor 3 vsadí do hlavy nástroj pre nasledujúcu operáciu (obr. 5. 15).



Obr. 5.15 Systémy AVN s nosným zásobníkom (Demeč 2010).

Upínacie zariadenia obrobkov sú ďalším prvkom automatizácie obrábacieho stroja. Sú to v podstate upínacie prípravky. Upínací prípravok plní nasledujúce základné funkcie (Košťál 2005):

- zabezpečuje polohu obrobku v súradnicovom systéme stroja,
- zabraňuje posunutiu a nadmernej deformácii obrobku pôsobením rezných, upínacích a odstredivých síl vznikajúcich v procese rezania alebo síl zemskej tiaže,
- v niektorých prípadoch vedie nástroj.

Tieto funkcie prípravok zabezpečuje svojimi ustavovacími, upínacími a opornými elementami. Jednotlivé elementy môžu byť umiestnené v jednom celku alebo môžu tvoriť viac samostatných celkov pripevnených k častiam stroja.

Pri upínaní obrobkov do CNC stroja sa okrem iných štandardných upínačov využívajú modulárne upínacie systémy, alebo viacnásobné upínacie systémy (obr. 5.16). Dodávatelia týchto systémov ponúkajú širokú škálu úpiniek, podložiek, základových dosiek či hranolov. Tieto výrobky sú ponúkané aj v databázach CAD modelov vo formátoch 2D a 3D, ktoré je možné využiť pri simuláciách výrobného procesu. Viacnásobné upínacie veže

sú vhodné pre horizontálne obrábacie centrá a poskytujú možnosť prístupu nástroja z viacerých strán. Všetky povrchy na upínacej veži sú jemne frézované a majú stabilnú konštrukciu, ktorá je schopná tlmiť vibrácie. K dispozícii sú viaceré tvary upínacích veží: osemuholníkové, štvorcové, trojuholníkové a dvojkonzolové (Upínacie 2024).

Obr. 5.16 Modulárne upínacie systémy (Haberkorn 2024, Upínacie 2024).

Pri obrábaní vznikajú triesky ako vedľajší produkt výrobného procesu. Ďalším elementom procesu obrábania je rezná kvapalina. Táto je v procese rezania znečistená. Z tohto dôvodu je potrebné jej filtrovanie. Obeh reznej kvapaliny je zabezpečovaný filtračnými zariadeniami, ktoré sú napojené na obehový systém reznej kvapaliny v obrábacom stroji. Pre vysoký stupeň jemnosti filtrácie sú používané aplikácie s papierovou filtráciou (obr. 5.17). Chladiaca kvapalina s obsahom nečistôt je filtrovaná cez filtračný papier, na ktorom sa nečistoty usádzajú. Tým rastie odpor k filtrácií, v dôsledku ktorého stúpa hladina neprefiltrovanej kvapaliny. Pokiaľ hladina prerastie cez kritickú hranicu, aktivuje sa hladinový spínač a ten automaticky posunie čistý filtračný papier.

Obr. 5.17 Filtračné zariadenie so stupňom filtrácie 12 µm až 60 µm (HENNLICH 2024).

Spôsob ako zautomatizovať výrobu je automatický zakladač obrobkov (obr. 5.18). Takýmto spôsobom je možné zvýšiť produktivitu na obrábacích centrách. Zapájajú sa priamo do riadiaceho systému stroja, pretože musia spolupracovať so strojom. Tieto zakladače dokážu vkladať a vykladať obrobky a to nielen z hlavného vretena, ale aj z protivretena, ak je ním stroj vybavený.

Obr. 5.18 Automatický nakladač obrobkov (Haas 2024).

Automatické podávače tyčí (obr. 5.19) je možné nainštalovať pre široké spektrum obrábacích strojov. Umožňujú podávať tyče cez hlavné vreteno v ktorom sa tyč napolohuje

a upne. Následne je spustený obrábací cyklus. Po skončení cyklu hotová súčiastka vypadne cez kanál do odkladacieho priestoru. Takýmto spôsobom môžeme realizovať výrobu v automatickom cykle, kde sa vyrábajú veľkosériové, prípadne hromadné výrobné dávky.

Obr. 5.19 Automatický podávač tyčí (Automatické 2024).

Robot a robotizácia procesov v praxi je v súčasnosti vysokým štandardom. Robotika nájde svoje uplatnenie snáď vo všetkých odvetviach strojárstva. Je to v súlade s politikou priemyselnej revolúcie Industry 4.0. Robot možno v súčasnosti nasadiť aj pre obrábacie operácie. Otázkou zostáva či dosiahneme rovnakú kvalitu výrobku ako pri výrobe na CNC stroji. Okrem odlišnosti v zadaných úlohách existujú aj rozdiely medzi výkonom a kvalitou. Povedzme si preto 5 rozdielov medzi robotmi a CNC strojmi, CNC vs. Robot (Daily 2024).

1. Pracovná oblasť

Pracovný priestor CNC stroje možno zvyčajne definovať ako malú kocku. Naproti tomu roboty majú zvyčajne veľký sférický pracovný priestor.

2. Programovanie

CNC stroje sú naprogramované pomocou G-kódu. V dnešnej dobe ide najčastejšie o SW generovaný softvérom CAM. Roboty sú naprogramované pomocou programovacieho jazyka výrobcu. Avšak programy tiež možno generovať mnohými ďalšími metódami programovania.

3. Presnosť

CNC stroje sú obvykle presnejšie ako roboty s presnosťou klesajúcou na zlomky mikrónu. Presnosť robotov je možné vylepšiť kalibráciou, ale pravdepodobne sa bude jednať o stovky mikrometrov.

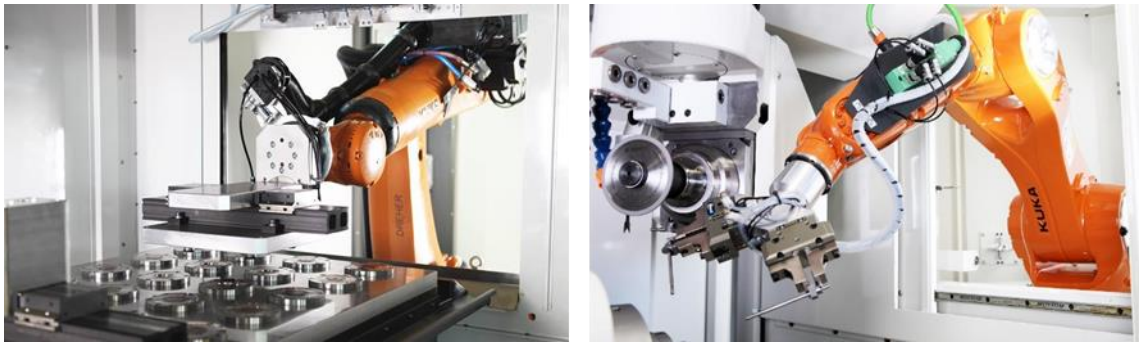
4. Tuhosť

CNC stroje majú zvyčajne vysokú tuhosť na všetkých osiach. Tuhosť robotov je všeobecne nižšia, avšak líši sa v závislosti od typu robota.

5. Singularita

Pozícia nástroja robota sa obvykle počíta pomocou inverzného kinematického algoritmu. Môžu vytvárať singularity – oblasti pracovného priestoru, ktoré sú v zásade mŕtvymi zónami spôsobenými matematikou v rámci algoritmu.

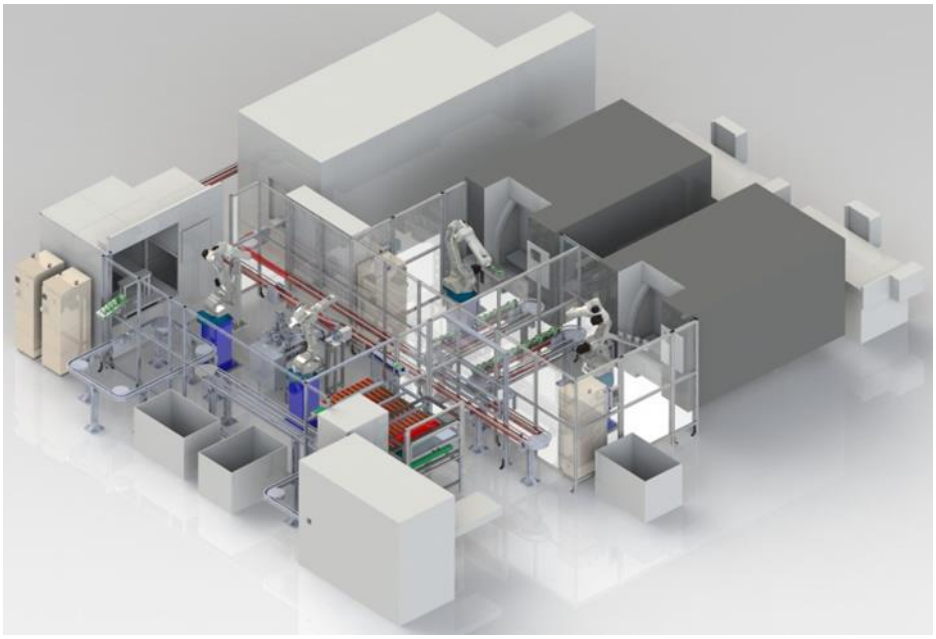
Z vyššie uvedených rozdielov pri nasadení robotov, či CNC strojov do výroby súčiastok vyplýva, že kvalita výrobku ak by bol vyrábaný robotom bude nižšia ako pri výrobe na CNC stroji. A preto sú robotické systémy v praxi využívané ako prídavné zariadenia k obrábacím CNC strojom. Robot je využívaný pre manipuláciu s obrobkami, paletami, alebo nástrojmi. Tam, kde nie je potrebná presnosť obrábacieho stroja, robot prevezme úlohy ako vŕtanie, kefovanie a odihlovanie (obr. 5.20). To znižuje čas chodu vretena. Tým skracuje čas obrábania jedného komponentu. Na súčiastkach vyžadujúcich presné obrábanie môže robot vykonávať aj hrubovanie, pričom o dokončenie sa postará samotný CNC (KUAK 2024).



Obr. 5.20 Nasadenie robotov pre manipuláciu a obrábanie súčiastok (KUKA 2024).

Na konci reťazca nasadzovanie automatizačných prvkov do obrábacích strojov je zaradenie CNC strojov do výrobných liniek, ktoré pracujú v automatickom režime teda v bezobslužnej prevádzke. Vo výrobných linkách sa integrujú kompletné automatizačné

technológie. Prepojenie CNC strojov, čistiacich staníc, kamerových a inšpekčných systémov s dopravníkovými systémami a obsluhujúcimi manipulačnými robotmi (obr. 5.21).



Obr. 5.21 Zaradenie CNC strojov do výrobnej linky (robotec 2024).

Literatúra

Papp, B.: Automatizácia strojárskej výroby. 2022. [cit. 2022-10-02]. Dostupné na internete: https://encyklopediapoznania.sk/data/eknihy/automatizacia_mechanizacia_a_robotizacia/automatizacia_strojarskej_vyroby.pdf

Mazin, Al. Atanas, I. Harris, M., 2018. A survey on smart automated computer-aided process planning (ACAPP) techniques. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2018) 97:809-832. https://doi.org/10.1007/s00170-018-1966-1

Čuboňová, N., Bulej, V., Náprstková, N., Dodok, T., Tlach, V., 2021. Automatizácia strojárskej výroby. Žilinská univerzita v Žiline. ISBN 978-80-554-1836-0

PROCONT. Manipulácia s kolesami a hriadeľmi železničných náprav. 2024. [cit. 2024-11-02]. Dostupné na internete: https://www.procont.sk/referencia/manipulacia-s-kolesami-a-hriadelmi-zeleznicnych-naprav

MRK. Sledovanie výkonu strojov, osádky, výrobkov. 2024. [cit. 2024-11-02]. Dostupné na internete: http://mrk.eu/monitoring-efektivity-strojov/

MCAE. 3D meracie systémy. 2024. [cit. 2024-10-05]. Dostupné na internete: https://www.mcae.sk/3d-meracie-systemy/

JUNGHENRICH. Autonómne mobilné roboty. 2024. [cit. 2024-10-03]. Dostupné na internete: https://www.jungheinrich.sk/logisticke-systemy/bezobsluzne-voziky/autonomous-mobile-robots-1324184

Kováč, J., Šidlovská, Ľ., 2013. Modernizácia výrobného stroja. The16th International Scientific Conference Trends and Innovative Approaches in Business Processes “2013” https://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2013/journal/51_Kovac_Sindlovska_MODERNIZACIA.pdf

Strojár Inovátor. 22 - CNC programovanie tvarovo zložitých súčiastok v riadiacom systéme Heidenhain iTNC530. 2022. [cit. 2024-11-05]. Dostupné na internete: http://www.strojar-inovator.sk/projekty-2017/84-22-cnc-programovanie-tvarovo-zlozitych-suciastok-v-riadiacom-systeme-heidenhain-itnc530

HEIDENHAIN. CNC controls for Heidenhain. 2015. [cit. 2015-10-02]. Dostupné na internete: https://www.heidenhain.com

SIEMENS. 2024. [cit. 2024-10-10]. Dostupné na internete: https://www.siemens.com/sk/sk/produkty/priemyselna-automatizacia/systems/cnc-sinumerik.html

REYNOLDS R., 2010. *Optimize CNC Machining With Add-On Adaptive Controls.* 2010. [cit. 2010-10-12]. Dostupné na internete: http://www.moldmakingtechnology.com/articles/030205.html

OMATIVE ACM SYSTEMS. 2010. [cit. 2010-05-03]. Dostupné na internete: http://www.omative.com/?transfered=omative.com

Adaptive Control Monitor. 2024. [cit. 2024-09-12]. Dostupné na internete: https://en.industryarena.com/omative-systems/products

Demeč, P., 2010. SYSTÉMY AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV NA ČÍSLICOVO. RIADENÝCH STROJOCH. Košice. 34 s. Štúdijný materiál. Technická univerzita.

Revolverová hlava pro stolní soustruhy. 2024. [cit. 2024-10-02]. Dostupné na internete: https://forum.strojirenstvi.cz/viewtopic.php?t=15615

Poháněné nástroje a revolverové hlavy. 2024. [cit. 2024-05-04]. Dostupné na internete: https://www.fism.cz/produkty/pohanene-nastroje-a-revolverove-hlavy

Karuselový zásobník nástrojov. 2024. [cit. 2024-05-04]. Dostupné na internete: https://www.stranskyapetrzik.cz/stroje-sk/feeler/vmc/nb/nb-1300/nb-1300-konstrukce/

Tool Magazine. 2024. [cit. 2024-05-08]. Dostupné na internete: http://www.hydex.com.tw/e_html/p_01_09.html

Košťál, P. AUTOMATICKY OVLÁDANÉ UPÍNACIE PRVKY. 2005. [cit. 2024-02-02]. Dostupné na internete: https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2005/1/kostal.pdf

Haberkorn. Upínacie systémy. 2024. [cit. 2024-09-04]. Dostupné na internete: https://www.haberkorn.cz/sk/upinacie-systemy/?gclid=EAIaIQobChMI7ciet4qs7QIVS_7VCh0IcQvsEAMYAiAAEgLhUfD_BwE

Upínacie veže SCHUNK. 2024. [cit. 2024-10-19]. Dostupné na internete: https://schunk.com/sk/sk/technika-upinania-obrobkov/upinacie-veze/c/PUB_8332

HENNLICH. Papierová filtrácia. 2024. [cit. 2024-10-19]. Dostupné na internete: https://www.hennlich.sk/produkty/krytovanie-filtracne-systemy-pre-obrabacie-stroje-2477/papierova-filtracia.html

Haas. Automatický nakladač obrobkov pre sústruhy. 2024. [cit. 2024-10-20]. Dostupné na internete: https://www.haascnc.com/sk/machines/lathes/auto-parts-loader.html

Automatické podávače tyčí a portálové zakladače IEMCA. 2024. [cit. 2024-10-20]. Dostupné na internete: https://albaprecision.sk/?p=356

Daily Automation. CNC vs. Robot. 2024. [cit. 2024-10-20]. Dostupné na internete: https://www.dailyautomation.sk/cnc-vs-robot

KUKA. Optimizing machine tools through automation. 2024. [cit. 2024-10-20]. Dostupné na internete:https://www.kuka.com/en-hu/industries/metal-industry/machine-tooling

robotec. Priemyselná automatizácia. 2024. [cit. 2024-10-21]. Dostupné na internete: https://robotec.sk/priemyselna-automatizacia/

OBRÁBANIE NA CNC STROJOCH

Vysokoškolská učebnica

https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2024.6

Autori:
Peter Pokorný, doc. Ing. PhD.
Witold Bialy, dr hab. inż. prof. ITG KOMAG

Recenzenti:
Elena Pivarčiová, prof. Mgr. PhD.
Ivan Zajačko, doc. Ing. PhD.

Vydanie: 1.
Rok vydania: 2024
Počet strán: 137
Náklad: 100 ks.
Vydal: ITG KOMAG, Gliwice, Polsko
Vyrobil: SWEL, s.r.o. Tuchyňa, Slovensko
Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

© Peter Pokorný – Witold Biały 2024

ISBN: 978-83-65593-43-6