TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE

Obrábění a montáže

Prof. Ing. Jan Mádl, CSc.
Prof. Ing. Antonín Zelenka, CSc.
Doc. Ing. Martin Vrabec, CSc.

2005
Vydavatelství ČVUT

Technologičnost konstrukce je základní charakteristikou výrobku. Tato charakteristika vychází z funkčních parametrů (například hmotnost, spolehlivost, životnost výrobku, jeho nároky na opravy a údržbu i ekologická hlediska včetně recyklovatelnosti atd.). Současně se však musí zabývat problémy efektivnosti výroby (náklady, pracnost, ...), ale také otázkami uplatnění výrobku v konkurenčním prostředí trhu (design, cena, ..).

Předkládané skriptum je určeno pro studium předmětu „Technologičnost konstrukce" na Strojní fakultě ČVUT v Praze. Skriptum je rozděleno do tří relativně samostatných částí, které obsahují:

1. obecné zásady technologičnosti konstrukce pro obrábění na konvenčních strojích (kap. 1. až 4.),
2. základní požadavky technologičnosti konstrukce součástek obráběných na CNC strojích (kap. 5.),
3. zásady technologičnosti konstrukce uplatňované v oblasti montážních procesů (kap. 6.).

Problematika technologičnosti konstrukce je velmi dynamicky se rozvíjející obor a předkládané skriptum nemůže plně vyčerpat všechna možná řešení.

Autoři uvítají případné poznámky a doplňky k uvedené tématice.

Autoři

Jednotlivé kapitoly zpracovali:

Prof. Ing. Jan Mádl, CSc. kapitolu 1, 2, 3, 4,
Prof. Ing. Antonín Zelenka, CSc. kapitolu 6,
Doc. Ing. Martin Vrabec, CSc. kapitolu 5.

Lektor: doc. Dr. Ing. František Holešovský

Vydavatelství ČVUT upozorňuje autory na dodržování autorských práv.
Za jazykovou a věcnou správnost obsahu díla odpovídá autor. Text neprošel jazykovou ani redakční úpravou.

© Jan Mádl, Antonín Zelenka, Martin Vrabec, 2005
ISBN 80-01-03288-4

1 Úvod

Základem úspěchu strojírenského podniku je zisk. Management, konstruktéři, technologové a další pracovníci jej společně vytvářejí. Je proto velmi důležitá spolupráce všech, kteří se na návrhu a realizaci strojírenského výrobku podílejí. Výrobní náklady tvoří v průměru asi 40% ceny strojírenských výrobků. Technologie obrábění přitom představuje asi 30 - 40% pracnosti všech technologií vstupujících do výrobku a její podíl je velmi významný. Respektování zásad technologičnosti konstrukce, resp. spolupráce konstrukčního oddělení a dalších podnikových složek (technologických, organizačních a podobně) je dnes nejen žádoucí, ale v podmínkách celosvětové konkurence je pro existenci strojírenských podniků nezbytná.

Za technologicky vhodnou konstrukci lze považovat takovou konstrukci, která kromě základních požadavků na funkci stroje, splňuje požadavky z hlediska jeho výroby (nízké výrobní náklady, nízká pracnost, malá hmotnost, výběr optimálních materiálů, sériovost výroby, metrologie, montáž apod.), ale i demontáže, údržby, recyklovatelnosti a ekologie. Technologičnost konstrukce lze tedy chápat jako vhodnost konstrukce z hlediska výroby, ale i dalších aspektů.

Technologičnost konstrukce je komplexní pojem s řadou technických, ekonomických a ekologických aspektů, které působí někdy protichůdně. Je tedy nutné najít kompromis ke shora uvedeným požadavkům. V této souvislosti je nutné zdůraznit, že při splnění všech požadavků na funkční vlastnosti výrobku jsou rozhodující obvykle požadavky efektivnosti výroby.

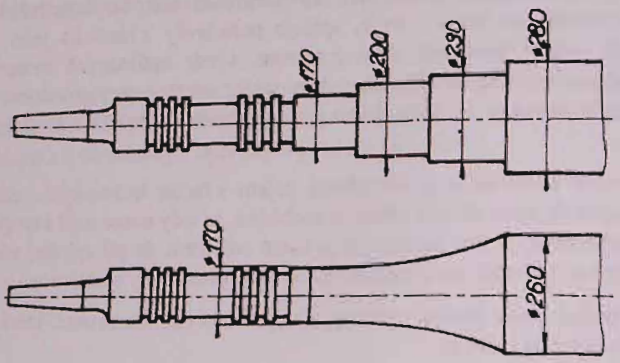
Obecně lze požadovat z hlediska technologičnosti takovou konstrukci, která bude splňovat především následující požadavky:

- Konstrukce má být co nejjednodušší při splnění požadovaných funkčních parametrů.
- Konstrukční prvky mají být pokud možno tvarově jednoduché s ohledem na technologii výroby (Obráběcí nástroje mají snadný přístup k obráběným plochám. Speciální nářadí je omezeno na nezbytné případy. V malosériové a kusové výrobě by se nemělo používat.).
- Při konstrukci jsou používány v maximálně možné míře normalizované, unifikované a typizované součástky a tvary nebo konstrukční celky.
- Opodstatněný podíl dříve vyráběných součástí (dědičnost konstrukce).
- Počet a velikost povrchů dokončovaných obráběním by měly být minimalizován.
- Součástky jsou vyráběny z polotovarů, které jsou pro daný případ optimální.
- Materiál je volen optimálně z hlediska ceny, druhu, materiálových charakteristik (pevnost, tvrdost, korozivzdornost....), technologických charakteristik (obrobitelnosti, tvařitelnosti apod.), předpokládaného způsobu výroby, využití materiálu polotovaru, odpadu apod.
- Použití drahých materiálů je omezeno na nezbytné případy.
- Minimální výrobní náklady.
- Minimální pracnost výroby a montáže (druhotné kritérium po výrobních nákladech).
- Minimální délka výrobního cyklu.
- Požadované kvalitativní parametry by měly být nezbytně nutné.
- Tvary ploch by měly odpovídat, pokud možno, možnostem stávajícího výrobního zařízení, konstruktér musí znát výrobní možnosti, resp. výrobní zařízení vlastního podniku), v odůvodněných případech i možnostem světové technologie (aby bylo možné nárokovat nákup nového výrobního zařízení, event. realizovat výrobu v rámci kooperace).
- Další požadavky např. z hlediska ekologie, údržby a recyklovatelnosti.

Základním kritériem pro posuzování technologičnosti konstrukce při splnění všech funkčních požadavků jsou *výrobní náklady*. Toto hledisko může být doplněno dalšími hledisky.

Toto kritérium často je v souladu s požadavkem na *minimální pracnost*. Ale nemusí tomu tak vždy být.

Vývoj *programově řízených výrobních zařízení především CNC obráběcích strojů* je dnes velmi prudký. Neustále se rozšiřují výrobní možnosti z hlediska tvarů vyráběných ploch, dosahované přesnosti, resp. kvality povrchů. Proto tato výrobní zařízení velmi silně ovlivňují technologičnost konstrukce. Výroba tvarových ploch je dnes na CNC obráběcích strojích jednodušší záležitostí než na konvenčních obráběcích strojích. Na CNC strojích lze programem NC např. obrábět tvarově složité rotační plochy – viz obr. 1.1. Bez NC řízení je nutné toto řešit postupně a většinou osazováním.



Obr. 1.1 Technologičnost konstrukce bez a s použitím NC techniky [1]

Technologičnost konstrukce v technologii třískového obrábění je dnes nutné, se zřetelem na vývoj obráběcí výrobní techniky, rozlišovat na

- technologičnost konstrukce z hlediska obecně platných zásad,
- technologičnost konstrukce z hlediska obrábění na konvenčních obráběcích strojích,
- technologičnost konstrukce z hlediska obrábění na numericky řízených obráběcích strojích.

Na rozdíl od obrábění na konvenčních obráběcích strojích, kdy zásady technologičnosti konstrukce se v zásadě s vývojem obráběcích strojů prakticky nemění, vývoj NC a zejména CNC obráběcí techniky reprezentuje stále nové a nové možnosti výroby tvarových ploch a tudíž i zásady technologičnosti konstrukce se mění s rozvojem této výrobní techniky. Zásady technologičnosti konstrukce je tedy nutné neustále přehodnocovat a sledovat vývoj numericky řízených obráběcích strojů.

Tato publikace si klade za cíl, v rámci omezeného rozsahu, vytipování hlavních zásad technologičnosti konstrukce z hlediska technologie obrábění a montáží strojírenských výrobků.

Literatura

[1] Přikryl, Zdeněk. *Technologičnost konstrukce*, ČVUT, Praha, 1971

[2] Mádl, Jan. Concurrent Engineering and Quality Control. In Proceedings of VIth Meždunarodnaja naučno-techničeskaja konferencija. Penza Rosija: Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 2000, p. 70 – 73. ISBN 5-8356-0044-5.

2 Integrovaný přístup k návrhu a realizaci výrobku

V současných podmínkách světové výroby je nutné respektovat *integrovaný přístup k návrhu a realizaci strojírenského výrobku*, jehož významnou součástí je též respektování zásad technologičnosti konstrukce.

Při návrhu a realizaci určitého strojírenského výrobku je nutné respektovat především dva následující požadavky:

1. Integraci marketingového výzkumu, konstrukčního návrhu výrobku, technologie výroby, ekonomiky, řízení jakosti, ekologie, event. dalších složek podílejících se na realizaci a využití výrobku.
2. Paralelní alternativy v konstrukci, technologii, materiálu atd.

Integrace všech aktivit při návrhu a realizaci strojírenských výrobků je dnes v našich podnicích výjimečná, resp. značně omezená. Toto je také jeden z rozhodujících faktorů pro existenci našich podniků.

Bohužel i dnes v podmínkách celosvětové konkurence někteří konstruktéři přistupují ke konstrukci bez respektování výrobních a dalších nákladů, bez respektování zásad technologičnosti konstrukce, ekologie i recyklovatelnosti. Většinou je to dáno základními technologickými neznalostmi a nerespektováním cen na světových trzích.

Při koncepčním návrhu výrobku je potřebné vycházet z marketingového průzkumu trhu - viz obr. 2.1. Ten určí bližší charakteristiku výrobku z hlediska technických parametrů, vyráběného množství, variant výrobku, teritorií prodeje a dnes většinou i limitních cen výrobku, a dalších okolností. Zejména stanovení limitních cen, které je zákazník ochoten ještě akceptovat, je dnes novým pohledem na návrh a realizaci výrobku. Tradiční přístup, kdy na základě nákladů plynoucích na návrh a realizaci výrobku je stanovena cena, bez ohledu na trh, lze dnes akceptovat jen výjimečně.

S tím souvisí i požadavky na ekologii výroby, způsob likvidace výrobku, resp. recyklaci surovin.

Po určení těchto výchozích skutečností je nutné sledovat:

- Alternativní konstrukční návrhy výrobku z hlediska nakupovaných nebo vyráběných konstrukčních jednotek, materiálů, licencí, vyráběného množství, řízení jakosti apod. Všechny alternativy je nutné expertně posoudit a provést hrubou kalkulaci nákladů na uvažované alternativy. Na základě této kalkulace je možné vyřadit evidentně nevhodné alternativy.
- Alternativní návrh vyráběných dílů z hlediska tvaru, rozměrů, kvalitativních požadavků, použitého materiálu, počtu vyráběných kusů, řízení jakosti apod. Současně s tím je nutné realizovat alternativní hrubou kalkulaci nákladů. Opět je na základě nákladové kalkulace možné opět vyřadit nevhodné alternativy.

Na základě toho je pak možné přistoupit k alternativnímu návrhu sledu technologických operací, se zřetelem na výrobní prostředí, sériovost, kvalitativní požadavky, alternativní materiály, řízení jakosti a další okolnosti. Vše opět s hrubší kalkulací nákladů.

Následuje alternativní volba výrobního zařízení, nástrojů, přípravků a optimalizace pracovních parametrů, vše již s podrobnou kalkulací nákladů .

Dále je možné navrhnout alternativní plány výroby s respektováním požadavků na sériovost výroby, řízení kvality, likvidaci odpadů, s předpokladem oprav, a také způsobu likvidace výrobku, resp. recyklace surovin. Vše opět s kalkulací nákladů.

Na základě předchozích ekonomických kalkulací je možné určit celkové náklady na realizaci všech uvažovaných alternativ. Optimální varianta je dána minimálními náklady na výrobek.

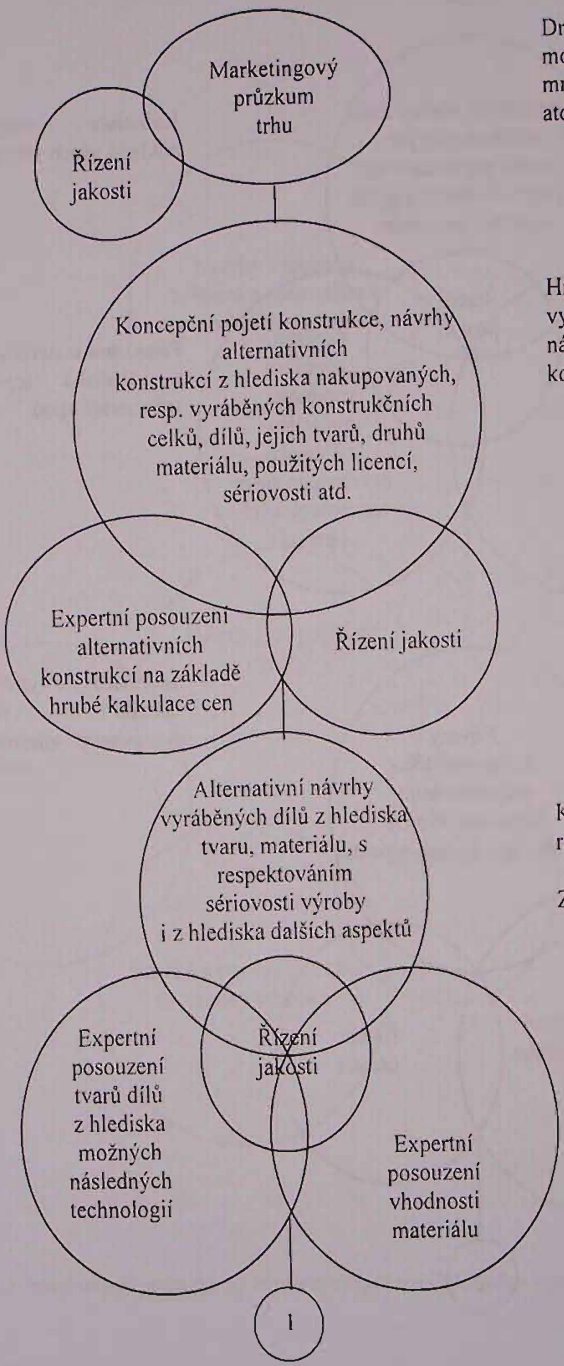
Potřeba koordinace činností při realizaci strojírenských výrobků se ukazuje v podmínkách světové konkurence jako nezbytná. Tradiční oddělená činnost jednotlivých útvarů v rámci podniku vede k nevhodným alternativám především při konstrukčním návrhu výrobku, včetně navrhovaných materiálů. Technologičnost konstrukce, propojení technologie s konstrukcí, řízení jakosti, ekologické problémy plynoucí z výroby apod. jsou podceňovány. Toto vše vede k vyšším nákladům. Podceňují se též přesnější kalkulace nákladů, způsob likvidace výrobků, resp. recyklace materiálů.

Literatura

[1] Přikryl, Zdeněk. *Technologičnost konstrukce*, ČVUT, Praha, 1971

[2] Mádl, Jan. Concurrent Engineering and Quality Control. In Proceedings of VIth Meždunarodnaja naučno-techničeskaja konferencija. Penza Rosija: Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 2000, p. 70 – 73. ISBN 5-8356-0044-5.

[3] Skarbinski, Michal, Skarbinski, Jerzy. *Technologičnost konstrukcie strojov*. ALFA Bratislava, 1982.

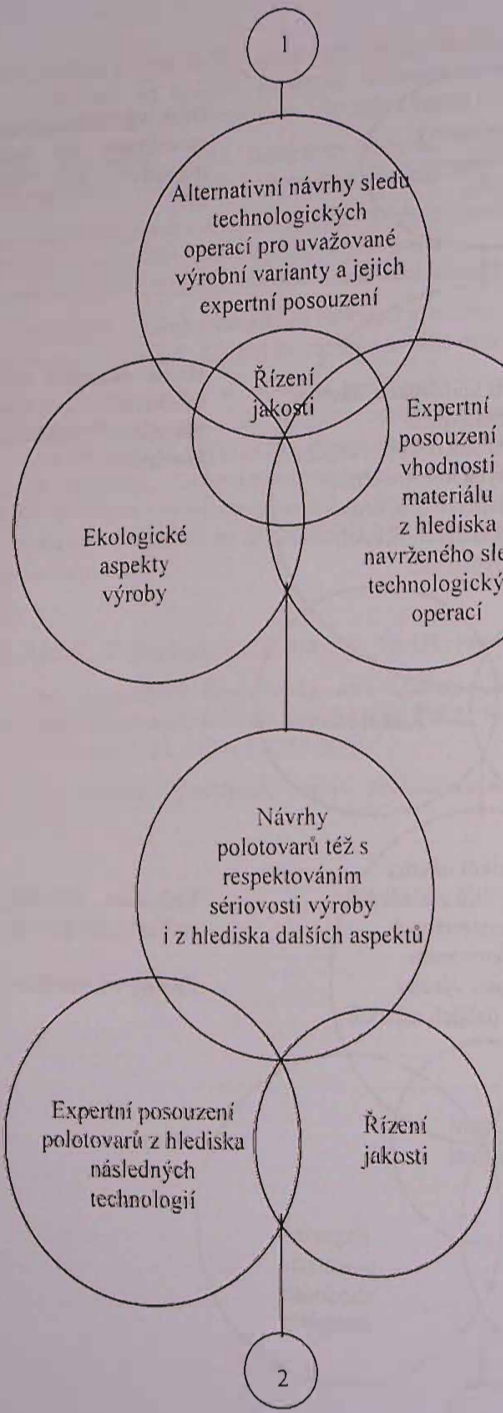


Druh výrobku, parametry, modifikace dle teritorií, množství, ceny, teritoria atd.

Hrubá kalkulace ceny a vyloučení evidentně nákladově nevhodných konstrukcí.

Kalkulace nákladů na realizaci polotovarů.

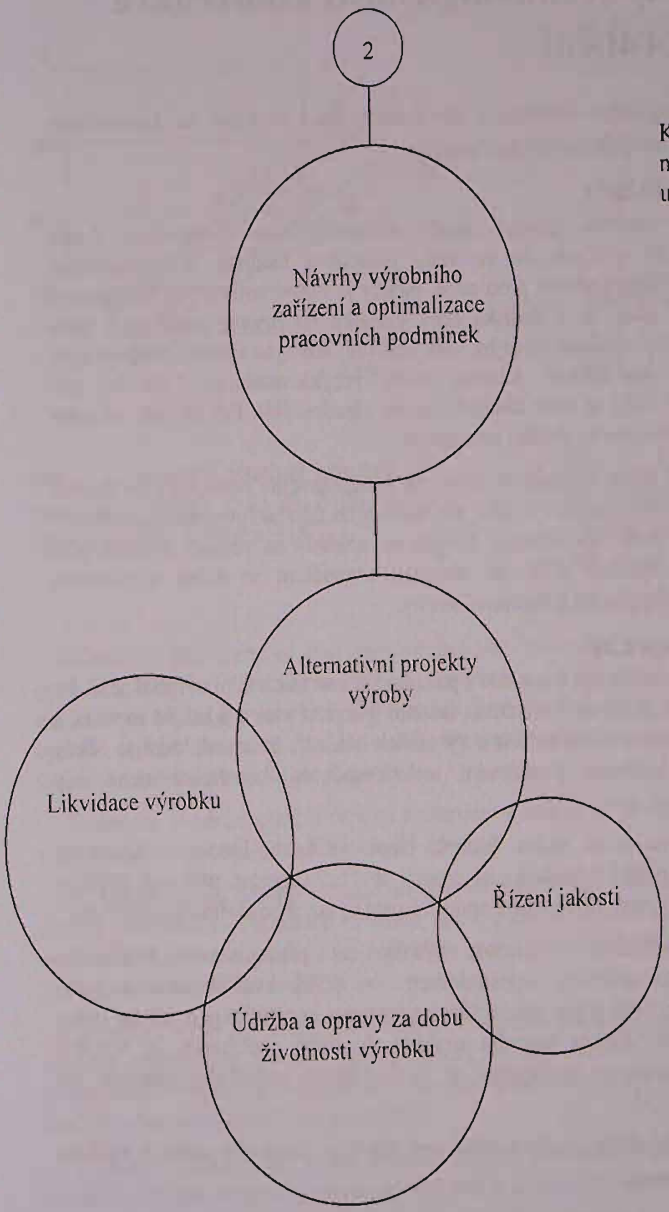
Změny v konstrukci.



Kalkulace výrobních nákladů všech alternativ.

Posouzení materiálu např. z hlediska tepelného zpracování apod.

Kalkulace výrobních nákladů všech uvažovaných alternativ.



Kalkulace výrobních nákladů všech uvažovaných alternativ

1. Podrobná kalkulace výrobních nákladů a ceny výrobku pro všechny uvažované alternativy.

2. Kalkulace celkových nákladů za dobu životnosti výrobku včetně nákladů na údržbu a opravy, a také likvidaci výrobku.

Obr. 2.1 Integrovaný přístup k návrhu a realizaci strojírenského výrobku [2]

3 Obecné zásady technologičnosti konstrukce z hlediska obrábění

Obecné zásady technologičnosti konstrukce se vztahují jak k obrábění na konvenčních strojích tak i na obrábění na strojích numericky řízených.

3.1. Výrobní náklady

V dalším textu budou uvedeny typické zásady technologičnosti konstrukce. Z dále uvedených zásad a příkladů vyplyne, že ne vždy jednotlivá hlediska technologičnosti konstrukce jsou ve shodě. Některá působí proti sobě. Někdy je nutné volit určitý kompromis. Co však vždy jednoznačně platí, že z hlediska ceny výrobku *na prvním místě stojí vedle technických parametrů výrobní náklady*. Bylo by však správné, aby tyto výrobní náklady byly ještě rozšířeny o náklady na opravy, údržbu, event. recyklovatelnost. Toto by měl upřednostňovat kupující. Ne vždy se však zákazníci touto zásadou řídí. Pak se jim, ve svém důsledku, výrobek za dobu životnosti výrobku prodražuje.

Např. kolejové vozidlo se skříní z hliníkové slitiny nebo nerezavějící oceli vede ke zvýšení výrobních nákladů a ceny strojírenského výrobku, ale náklady na údržbu (povrchovou ochranu) za dobu životnosti výrobku prakticky odpadají a výsledné náklady na vozidlo za dobu jeho životnosti pak mohou být výrazně nižší, ve srovnání s vozidlem se skříní z ocelového nekorozivzdorného plechu nebo plechu z hliníkové slitiny.

3.2. Pracnost výroby

Požadovaný čas na výrobu může být v souladu s požadavkem na minimální výrobní náklady. Nemusí to ale tak vždy být. Jednotlivé strojírenské technologie jsou však nákladově rozdílné a proto stojí význam tohoto kritéria až za kritériem výrobních nákladů. Pracnost, která se někdy používá jako rozhodující kritérium posuzování technologičnosti konstrukce není tedy rozhodujícím kritériem.

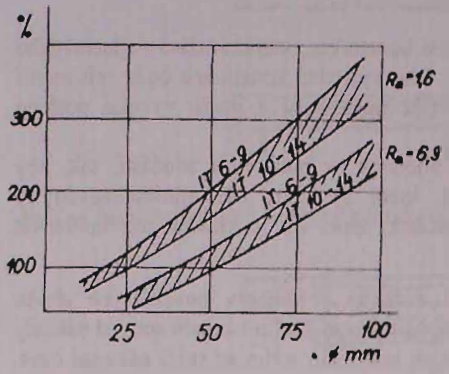
Pracnost výroby je určena celou řadou faktorů. Např. velikostí, hmotností a tvarem opracovaných ploch, kvalitativními požadavky na povrch součásti (drsnost, přesnost, průběhy zpevnění a zbytkových pnutí v povrchové vrstvě apod.). Roste výrazně se *složitostí konstrukce*.

Jedním ze základních problémů u pracnosti výroby jsou předepisované *kvalitativní požadavky*. Tyto jsou často určovány konstruktérem ne příliš kvalifikovaně a často neodpovídají funkci povrchu. Toto plyne především z neznalostí konstruktéra a též ze snahy mít určitou rezervu z hlediska funkce povrchu součásti. Je třeba podtrhnout, že výrobní náklady, resp. pracnost nerostou se zvyšujícími se kvalitativními požadavky lineárně, ale progresivně – viz obr. 3.1, 3.2 [1].

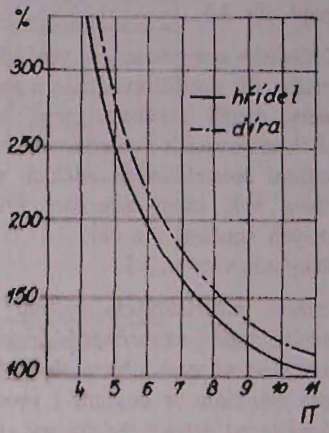
Posuzuje-li se pracnost z hlediska *velikosti obráběné ploch*, je třeba aby počet a velikost obráběných ploch byl co nejmenší.

3.3. Materiál součástí

Ve výrobním procese je výchozí materiál zhodnocován. Při tomto procesu je materiál modifikován. Určení vhodného materiálu je jedním ze základních problémů při konstruování z hlediska *technologičnosti konstrukce*. Jeho určení je *kompromisem mezi více faktory*, jako jsou např. cena materiálu, vhodnost pro předpokládané technologické operace, výrobní náklady, pracnost, hmotnost, ekologické aspekty apod.



Obr. 3.1 Závislosti relativní pracnosti při soustružení hřídelů ∅ 25 až ∅100 mm na stupni přesnosti a drsnosti [18]



Obr. 3.2 Křivky relativní pracnosti při obrábění hřídele a díry (hřídel ∅ 24 mm, délka 120 mm, díra ∅ 24 mm, délka 28 mm) [18]

Základním přístupem ke stanovení optimálního materiálu je aplikace takového výchozího materiálu, který povede k *minimální ceně součásti včetně výrobních nákladů*. Konstruktér musí uvážit nejen objem a cenu výchozího materiálu pro danou součást, ale i následné technologické operace, jejich počet, cenu a pracnost, dále hmotnost a objem součásti, technologické vlastnosti (např. obrobitelnost), dostupnost apod.

Technická vhodnost použití daného materiálu se samozřejmě předpokládá. Je dána pevností v tahu, odolnosti proti opotřebení, korozi apod.

Při konstrukčním návrhu součásti se obvykle nabízí více *alternativních řešení*. Pokud není zřejmá jednoznačná výhodnost určitého konstrukčního návrhu, je nutné řešit návrh součástí alternativně a z výsledné kalkulace ceny pak stanovit optimální konstrukci, v souladu s přístupem uvedeným v kapitole 2.

Optimální výběr materiálu úzce souvisí s *technologickými znalostmi konstruktéra*. Jen se znalostí technologie výroby lze optimálně a se zásadami technologičnosti konstrukce konstruovat. Nemělo by být pravidlem, že konstruktér nevyhledá technologa, v případě, kdy si není jist vhodností konstrukce pro výrobu.

Je nutné zdůraznit, že každý konstruktér je v podstatě *„hlavním technologem"*, protože použitím určitého materiálu určuje zásadní sled technologických operací.

Např. ozubené kolo, u kterého je požadována určitá tvrdost povrch zubů, je možné navrhnout z materiálu, který jako celek vyhovuje konstrukčním požadavkům nebo je možné vhodný materiál zušlechtit nebo je možné použít cementační ocel, provést cementování povrchu zubů a následné tepelné zpracování.

Ne na posledním místě stojí při návrhu vhodného materiálu jeho *obrobitelnost*. Výběr materiálu součásti z hlediska jeho vhodnosti pro obrábění není jednoduchou záležitostí. Dnes je

sice možné prakticky každý materiál obrábět, ale s různými výrobními náklady. Použití materiálů s dobrou obrobitelností vede na snížení časů na obrábění a nižší výrobní náklady – viz např. obr. 3.3.

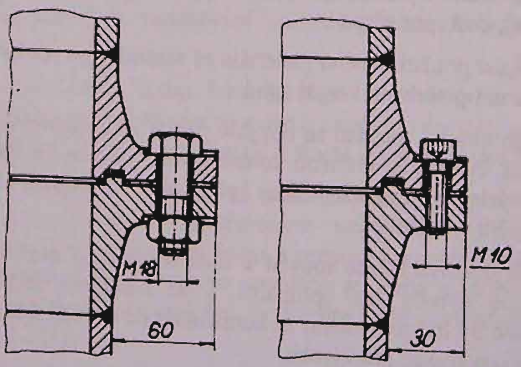
Z hlediska *ceny materiálu* není vždy nejvhodnější konstrukce, která používá nejlacinějšího materiálu. Při použití materiálu o vyšší pevnosti v tahu výsledná konstrukce bude mít menší rozměry, menší hmotnost, menší spotřebu materiálu polotovaru a může vyvolat potřebu menších spojovacích elementů – viz např. obr. 3.3.

Snížení *materiálových nákladů* se docílí též vhodnou volbou tvaru součástí, tak, aby *obrábění bylo minimalizováno*. Příklad rozměrů, které by měly být minimalizovány u osazených součástí viz obr. 3.4. U plochých součástí, např. vík je vhodné minimalizovat tloušťky stěn viz obr. 3.5.

Snížení materiálových nákladů se docílí též *zúžením sortimentu používaných druhů materiálu, popř. i rozměrů polotovarů stejného materiálu*. Se snížením nákladů souvisí náklady spojené dále se zvýší objem objednávek jednotlivých materiálů a tím se sníží nákupní cena. Úspora materiálu se dosáhne i *vhodnou volbou tvaru a rozměrů součásti tak, aby součást odpovídala co nejvíce polotovaru, ale také, aby úběr byl materiálu byl minimalizován* - viz např. obr. 3.4 a 3.5.

Z hlediska spotřeby materiálu je obecně nejvýhodnější takový polotovar, jehož tvar a rozměr se co nejvíce blíží tvaru hotové součástky. Tato úspora materiálu však nemusí vést vždy k minimální výrobním nákladům.

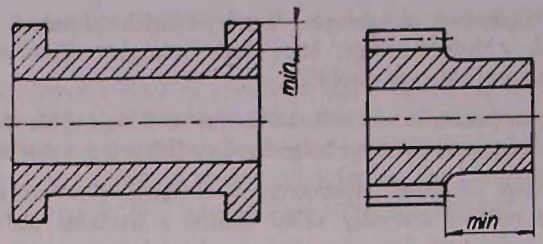
Počet různých materiálů v konstrukci je významný nejen z hlediska objednávání, dopravy, skladování, evidence apod., ale v současnosti i z hlediska recyklace výrobků po ukončení doby životnosti. S tím souvisí i rozebíratelnost. S rostoucími požadavky na recyklovatelnost výrobků roste význam menšího počtu různých materiálů v konstrukci a současně roste váha rozebíratelných spojů.



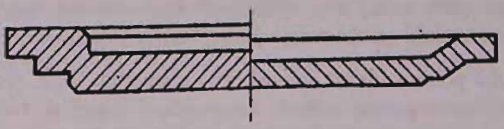
Obr. 3.3 Použití materiálů o pevnosti v tahu 600 a 1000 MPa [1]

Pro *snížení hmotnosti* konstrukce se nabízí řada ocelí o vysoké pevnosti, je však možné použít slitiny hliníku, hořčíku nebo plasty, event. použít jiný přístup ke konstrukci (např. náhradou odlitku výliskem z plechu apod.). Na obr. 3.6 je příklad náhrady ocelové zátky víčkem z plastu.

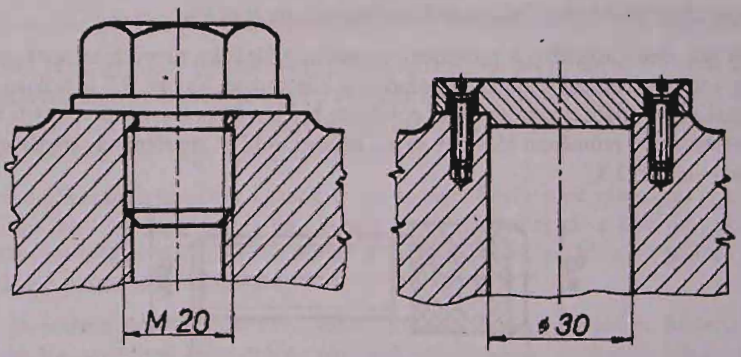
Omezené používání barevných a lehkých kovů na funkční plochy (např. výstelky pouzder, bronzové věnce šnekových kol) vede ke snížení nákladů.



Obr. 3.4 Minimalizované rozměry z hlediska obrábění [1]



Obr. 3.5 Minimalizování tloušťky stěny [1]



Obr. 3.6 [1] Náhrada ocelové zátky víčkem z plastu

3.4. Polotovar a minimalizace obrábění

Jako *výchozí polo*tovar při výrobě strojírenských součástí přichází v úvahu především: výválek, odlitek, výkovek, svařenec a výlisek

Většinou druh polotovaru není jednoznačně dán a konstruktér může uvažovat *alternativy polotovarů*. Platí zásada – optimální polotovar vede na minimální výrobní náklady. Vzhledem k tomu, že není vždy možné předem odhadnout optimálnost určitého polotovaru, je nezbytné řešit alternativní konstrukce a teprve na základě vyčíslení nákladů na konstrukci určit optimální polotovar – viz kap. 2.

Z hlediska určení polotovaru je také nezbytné uvažovat *stav výroby v podniku* a koncipovat konstrukci na zavedené technologie. Je-li např. podnik orientován na výrobu hlavních rámů kolejových vozidel jako svařence, nelze bez značných obtíží koncipovat kolejové vozidlo s hlavním rámem jako odlitek.

Je vhodné se zásadně orientovat na stav výroby v daném podniku (dané výrobní zařízení, daný poměr technologických profesí apod.). Toto by však nemělo být na úkor současného

světového stavu strojírenské technologie. V odůvodněných případech může konstruktér koncipovat výrobek z hlediska stroje, který bude nakoupen. Toto ovšem předpokládá technicko-ekonomickou efektivnost výrobku.

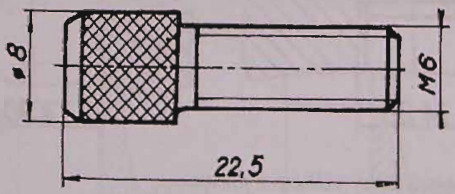
Stupeň automatizace použitého výrobního zařízení též ovlivňuje výběr vhodného polotovaru. Např. CNC obráběcí centra jsou schopna hospodárně vyrábět velmi složité tvary z výkovků.

Nekonvenční metody obrábění (elektroerozivní obrábění, ultrazvukové obrábění apod.) umožňují efektivně obrábět materiály velmi obtížně a nákladně obrobitelné třískovými metodami obrábění.

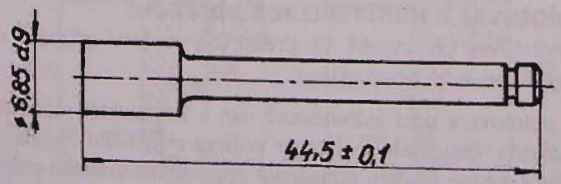
Materiál pro danou konstrukci je třeba objednávat tak, aby *úběr materiálu obráběním byl minimalizován.* Je proto třeba zvážit tvar výchozího polotovaru tak, aby přídavek na obrábění byl co nejmenší, též se zřetelem na sériovost výroby, která zde hraje významnou úlohu.

S volbou optimálního polotovaru též souvisí druh materiálu. Např. pro menší ozubená kola lze použít jako polotovar výkovek, odlitek nebo tyčový materiál. Největší úběr materiálu obráběním bude z tyčového materiálu, zejména u složitějších tvarů těchto kol. Proto tato alternativa bude vhodná pro menší vyráběné série. Při větší sériovosti je možné uvážit výrobu odlitků nebo výkovků, kdy se ekonomicky vyplatí výroba formy nebo zápustky. Odlitky nebo výkovky umožňují blízké přiblížení se ke konečnému tvaru součásti.

Je třeba též zvážit rozměry a provedení materiálu z hlediska různých technologií výroby polotovaru - též se zřetelem na funkční požadavky konstrukce. Na obr. 3.7 je příklad hlavičky šroubu, která se neobrábí a jako výchozí polotovar byl použit polotovar o průměru 8 mm. U kolíku s tolerovaným průměrem hlavičky se její průměr volil se zřetelem na průměr výchozího polotovaru – viz obr. 3.8.



Obr. 3.7 [1] Hlavička šroubu



Obr. 3.8 [1] Kolík s tolerovaným průměrem hlavičky

Jde tedy v zásadě o to, aby *výchozí polotovar se co nejvíce blížil tvaru obrobku.* Např. pro velkosériovou výrobu lze realizovat polotovar podle obr. 3.9 [3] tvářením na bucharu s rovnými kovacími nástroji – varianta a, dále tvářením na bucharu v otevřených zápustkách, z nichž horní má tvarovou dutinu – b, c, následně s tvarováním v uzavřené zápustce – d, s následným dokončením – e, f. Následuje tvarování – g, a nakonec kalibrování – h.

Toto řešení ovšem nebude vhodné, z hlediska nákladů, pro kusovou a malosériovou výrobu. Pak se použije např. obrábění na CNC stroji z válcového polotovaru, odpovídajícího obr. a. Je

zřejmé, že množství odebraného materiálu bude vysoké, ale rozhodující budou výrobní náklady.

Eliminace obrábění některých ploch na obrobku a také *minimalizace rozměrů obráběných ploch* úzce souvisí s použitým polotovarem. S tím též souvisí *požadavek na co nejmenší hmotnost polotovaru*. Všem těmto požadavkům je nutné i podřídit konstrukci. Tvar součásti je dále potřebné konstruovat se zřetelem na použitý polotovar tak, aby *hmotnost polotovaru byla co nejmenší*. Je zřejmé, že uvedené zásady se vzájemně komplexně prolínají.

S tím souvisí i *použití tažených a kalibrovaných profilových polotovarů*, zejména šroubů, kolíků, svorníků apod., které není nutné v některých částech součástí obrábět.

Např. obrábění dlouhých tenkých hřídelů (poměr průměru a délky je relativně malý a charakterizuje málo tuhou součást v radiálním směru) lze často eliminovat na obrábění konců hřídelů, s tím, že bude použit přesný polotovar, který bude vyhovovat po celé délce hřídele.

Tak je tomu u příkladů obr. 3.10 [3]. U obr. a, b, c. Z analýzy plyne, že využití materiálu u varianty a je pouze 43%. Ostatní materiál tvoří odpad. U varianty b je využití 70%, bylo upuštěno od konstrukce přírubу. Ještě lepší využití materiálu – 80% je u konstrukce c, kdy byl použit přesný tažený polotovar.

Podobně i na obr. 3.11 a, b [3]. U druhého řešení se obrábí pouze krajní části svorníku.

Na obr. 3.12 [1] c, d, e jsou prezentovány tři konstrukční varianty matice. Největší spotřeba materiálu i největší objem obrábění je u první varianty řešení, kdy se šestihran frézuje. U druhé varianty je použit jako polotovar šestihranná tyč. Počítá se však s použitím podložky. Třetí varianta je s obrobenou částí odpovídající podložce.

Při výrobě drážkování frézováním u matic, ať již po necelé nebo plné výšce hlavy, je značná pracnost a jsou relativně vysoké výrobní náklady – viz obr f. Pokud se použije technologie tváření drážkování tvářecí kladkou nebo pokud se použije tažený profilovaný polotovar, jsou výrobní náklady výrazně nižší – viz obr g.

Zásadně je potřeba *použít polotovary, které jsou standardně dodávány*. Materiály jsou obvykle dodávány ve formě tyčí, trubek, úhelníků, desek apod., a sice v širokém rozsahu standardních rozměrů. Při návrhu dílů by konstruktér měl nejen vycházet z rozměrů standardně dodávaných materiálů ale přizpůsobovat jim i konstrukci, pokud to tato dovolí. To vše se zřetelem na minimalizaci.

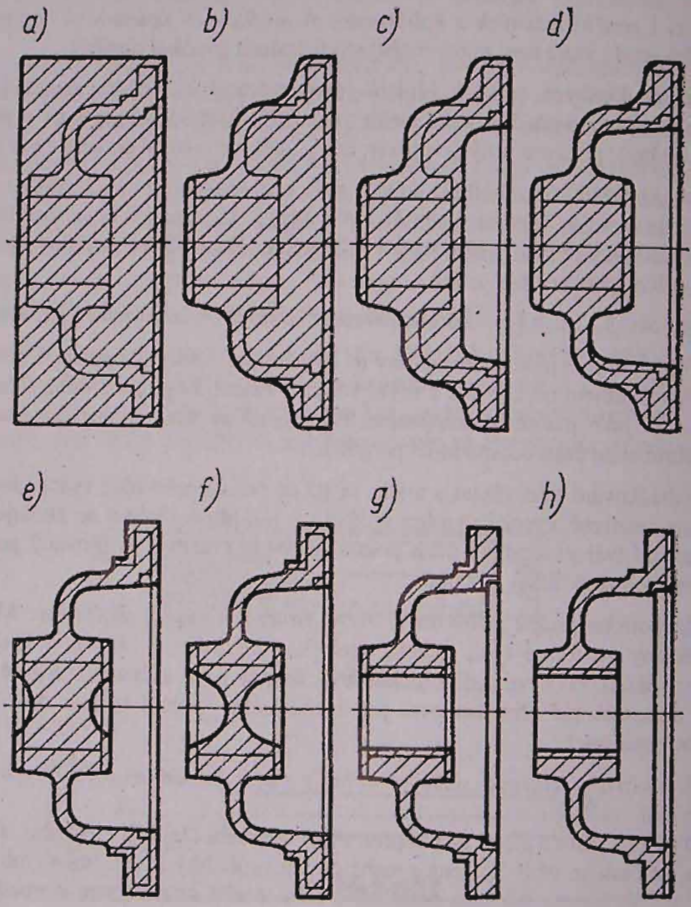
V případě *konstrukcí tvarově složitých dílů je třeba variantně uvážit výrobu z několika jednodušších dílů*.

Například výroba pístu a pístní tyče reprezentuje obrábění dlouhého tenkého hřídele. Výroba málo tuhých součástí je vždy spojena s technickými problémy a vyššími výrobními náklady. Kromě toho u větších rozměrů jsou potřebné delší a dražší stroje, které nemusí být v daném podniku k dispozici. Konstrukční řešení takových částí strojů lze realizovat z více dílů, jejichž výroba není spojena s výrobními obtížemi.

Minimalizace obráběného materiálu nemusí vždy jednoznačně vést k minimálním výrobním nákladům. V odůvodněných případech může úběr materiálu obráběním přesahovat i 90% materiálu polotovaru. Rozhodující jsou výrobní náklady. Příkladem mohou být odlehčené nosníky v leteckém průmyslu. Např. výroba „kapes" (vybrání v nosnících z hliníkových slitin pro letecký průmysl) se dnes část realizuje prakticky pouze na CNC obráběním. Jde často o rozměrné nosníky o délce a šířce např. 1.75 m x 0.75 m pro Airbus.

Zásada maximálnímu přiblížení se tvaru polotovaru hotovému dílu nemusí vždy vést k optimální konstrukci z hlediska polotovaru. Tento požadavek může vést k návrhu odlitků

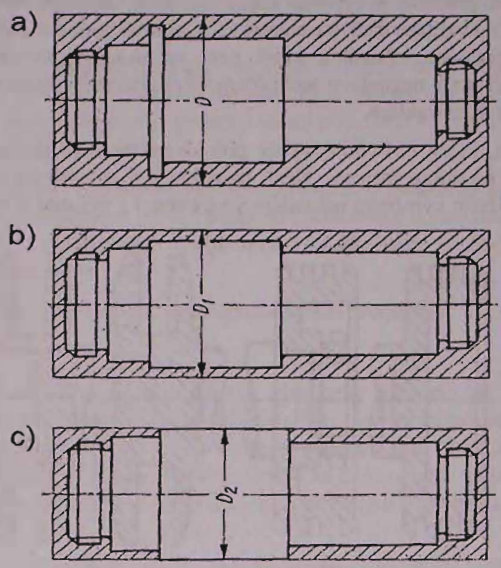
s náročnými rozměrovými tolerancemi. Pokud mají být tyto náročné požadavky splněny, pak při výrobě odlitků se musí použít určitá slévárenská technologie, někdy se vyrábějí různé šablony a zvyšují se pracnost a výrobní náklady. Někdy dokonce není výroba odlitu možná z hlediska vysokých kvalitativních parametrů a vyvolává nutnost obrábění některých ploch. Tím se dosáhlo opačného výsledku, který není ve shodě s původním požadavkem. Tyto problémy mohou být dány neznalostí technologických procesů (dosahovaných kvalitativních parametrů) ze strany konstruktéra.



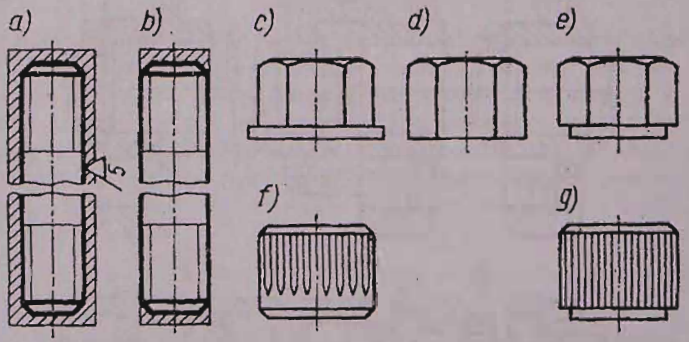
Obr. 3.9 Různé způsoby volby polotovaru

V případě *konstrukcí tvarově složitých dílů je třeba variantně uvážit výrobu z několika jednodušších dílů.*

Např. na obr. 3.12 [3] jsou příklady řešení takovýchto součástí. Výroba pístu a pístní tyče reprezentuje obrábění dlouhého tenkého hřídele – obr. a. Kromě toho u větších rozměrů jsou potřebné delší a dražší stroje, které nemusí být v daném podniku k dispozici. Konstrukční řešení dle obr. b tento problém řeší. Podobně nevhodná řešení jsou u složitých a velkých dílů, je tomu u dalších obrázků. Řešení c, e, h, j jsou nevhodná.



Obr. 3.10 Příklad využití materiálu



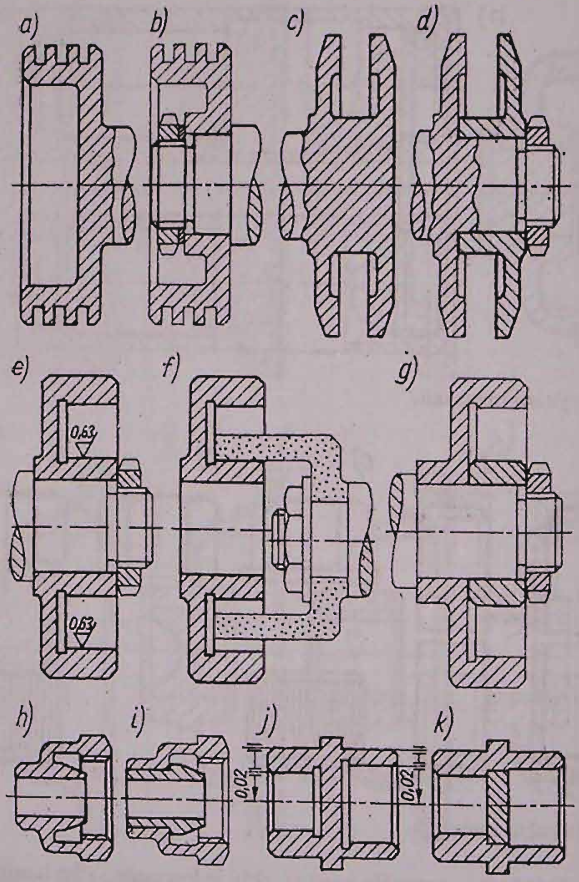
Obr. 3.11 Příklad využití materiálu

Minimalizace obráběného materiálu nemusí vždy jednoznačně vést k minimálním výrobním nákladům. V odůvodněných případech může úběr materiálu obráběním přesahovat i 90% materiálu polotovaru. Rozhodující jsou výrobní náklady. Příkladem mohou být odlehčené nosníky v leteckém průmyslu. Např. výroba „kapes" (vybrání v nosnících z hliníkových slitin pro letecký průmysl) se dnes část realizuje prakticky pouze na CNC obráběním. Jde často o rozměrné nosníky o délce a šířce např. 1.75 m x 0.75 m pro Airbus.

Zásada maximálnímu přiblížení se tvaru polotovaru hotovému dílu nemusí vždy vést k optimální konstrukci z hlediska polotovaru. Tento požadavek může vést k návrhu odlitků s náročnými rozměrovými tolerancemi. Pokud mají být tyto náročné požadavky splněny, pak

při výrobě odlitků se musí použít určitá slévárenská technologie, někdy se vyrábějí různé šablony a zvyšují se pracnost a výrobní náklady. Někdy dokonce není výroba odlitu možná z hlediska vysokých kvalitativních parametrů a vyvolává nutnost obrábění některých ploch. Tím se dosáhlo opačného výsledku, který není ve shodě s původním požadavkem. Tyto problémy mohou být dány neznalostí technologických procesů (dosahovaných kvalitativním h parametrů) ze strany konstruktéra.

Dalším faktorem, který ovlivňuje výběr polotovaru je i *strojní zařízení* pro obrábění a použitá technologie na tomto zařízení, Např. na některých strojích lze použít tyčový polotovar, který může vést k nižším výrobním nákladům ve srovnání s výrobou z výkovku nebo odlitku.



Obr. 3.12 Variantní konstrukce z několika jednodušších dílů.

3.5. Sériovost výroby a konstrukčně-technologická standardizace

Sériovost je jedním z klíčových hledisek při konstrukci strojírenského výrobku. Sériovost je důležitá též z hlediska návrhu polotovaru jednotlivých dílů výrobku. Zcela jinak je nutné přistupovat ke koncepci výrobku vyráběného velkosériově, resp. hromadně, než při konstrukci několika výrobků. S tím souvisí úzce náklady na konstrukci a technologickou přípravu výroby.

Tyto nejsou zanedbatelné. Při návrhu výrobku vyráběného kusově není nutné se tak detailněji zabývat konstrukcí a následně technologickou přípravou výroby. Naopak se zvyšující se sériovostí je nutné detailnější a alternativnější přístup ke konstrukci.

Pro aplikaci tvářecích a slévárenských technologií se vyžaduje určitá minimální sériovost výroby tak, aby výrobní zařízení z hlediska nákladů bylo možné použít. Např. vhodnými technologiemi slévání a tváření je možné se přiblížit velmi podstatně ke tvaru finálního výrobku a tím minimalizovat technologii obrábění.

Se sériovostí výroby souvisí i *konstrukčně-technologická standardizace*. Jde o vytváření pravidel zaměřených na uspořádání určité činnosti (konstrukční, technologické a jiné), zaručující ekonomickou efektivnost (např. konstrukce a technologie výroby) s respektováním funkčních požadavků a bezpečnosti.

K metodám konstrukčně-technologická standardizace patří především:

- *Dědičnost*

Pokud jsou v nové konstrukci použity některé díly nebo konstrukční celky (musí tyto komponenty být ale z hlediska konstrukčního na technické úrovni odpovídající současnému stavu světové techniky), pak se přebírá i zavedená technologie. Odpadá tvorba nového technologického postupu a zavádění nové výroby. Docílí se tím snížení nákladů na technickou přípravu výroby, nástroje, popř. přípravky a zvýšení sériovosti výroby a tím se i snižují náklady.

Pokud se použijí u nové konstrukce stroje také některé díly z konstrukce předchozí, aplikuje se na tyto díly již zavedená výroba.

- *Simplifikace*

Není tak složité navrhnout složitý výrobek, aby splňoval požadované technické parametry, ale je obtížné navrhnout jednoduchý výrobek, který bude tyto parametry splňovat. A v tom je konstruktérský um. Jednotlivé zásady technologičnosti konstrukce, uvedené v jednotlivých bodech tohoto textu spadají také do celkové simplifikace konstrukce. Jde však ještě dále o to, aby konstrukce strojírenského výrobku měla malý počet součástí, tyto aby byly jednoduché, pouze s nezbytnými kvalitativními požadovanými parametry, aby konstrukce byla snadno smontovatelná a rozebíratelná, aby splňovala požadavky na opravy a údržbu, aby byla recyklovatelná apod.

U simplifikace jde o celkové zjednodušení konstrukce, *snížení počtu dílů a zjednodušení dílů* vstupujících do konstrukce.

Konstruovat díly tak, aby byly jednoduché a pouze s nezbytnými kvalitativními parametry. Je známo, že v praxi se předepisují zbytečně vysoké kvalitativní parametry než skutečně funkce součástí vyžaduje. Je to především dáno neznalostmi konstruktéra nebo jeho obavou, aby nenastala při funkci stroje porucha.

Konstruovat plochy dílců tak, aby bylo možné obrábět je na jedno upnutí na daném stroji nebo s minimálním počtem těchto upnutí. S tím souvisí i redukce technologických operací.

- *Typizace*

Typizace se zaměřuje na výběr vhodných hmotných objektů. Jde v podstatě o odstranění různorodosti součástí a montážních celků. Typizace výrobků nebo jejich částí zmenšuje počet vyráběných typů výrobků nebo jejich částí (vřeteníky, spojky, převodové mechanizmy,

hydraulické systém apod.). Tím se sníží náklady na technickou přípravu výroby, zvýší se sériovost vyráběných součástí a tím dojde i k snížení nákladů na výrobu určitého výrobku.

- *Unifikace*

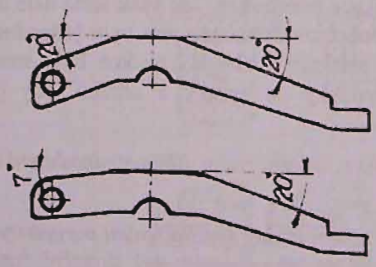
Unifikace je především zaměřena na tvarové a rozměrové sjednocení hmotných objektů (součástí, montážních celků apod.). Rovněž je potřeba se držet standardizovaných geometrických charakteristik, např. závitů, středicích důlků apod. S tím souvisí používané a sériově vyráběné nástroje. V případě, určité rozměrové nebo tvarové řady, které pak budou použity v dané konstrukci nebo v jiných konstrukcích daného podniku, např. rádiusy k použitým přechodům na součásti, které budou odpovídat poloměrům špiček soustružnických nástrojů. Podobně je vhodné používat určitou řadu průměrů děr pro omezení počtu vrtáků.

Pro snížení počtu různých součástí (a tím i zjednodušení technologie výroby) je třeba navrhovat ve složité konstrukci *co nejvíce stejných součástí.*

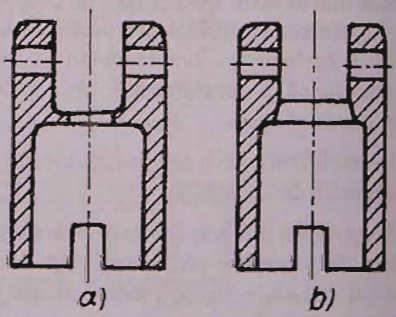
Při konstruování podobných strojů je třeba navrhovat, pokud je to možné, *stejné součástky, které budou použity u různých strojů.* Tím se také se zvýší sériovost a použije jediný technologický postup.

S tím souvisí i počet různých druhů nástrojů potřebných při výrobě (problémy s objednáváním, skladováním, náklady apod.). Unifikaci je možno zaměřit na skupiny nebo podskupiny součástek,, na tvary a rozměry součástek, na unifikaci obráběných ploch, na druhy a rozměry používaných materiálů polotovarů apod. Patří sem např. použití stejné konstrukční skupiny pro dva nebo více strojů (např. ložiskové skříně, přesouvací mechanizmy ozubených kol, čerpací agregáty apod.), dále použití tvarově a rozměrově stejných součástí pro dva nebo více strojů (ozubená kola, páky, příruby, víka apod.), omezení počtu používaných průměrů hřídelů, děr, čepů, drážek, poloměrů zaoblení apod.).

Příkladem unifikace je páka – viz obr. 3.13 [18], která se vyráběla ve dvojím provedení. Sjednocením obou konstrukcí do jedné došlo ke zvýšení sériovosti výroby a snížení výrobních nákladů.



Obr. 3.13 Páka



Obr. 3.14 Pouzdro

U pouzder obr. 3.14 [1] došlo ke sjednocení tak, že byla v obou konstrukcích použita varianta b. Tím se opět zvýšila sériovost a snížily náklady na výrobu.

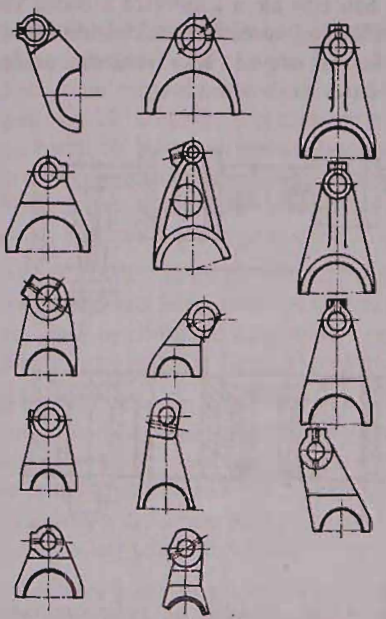
Z původních čtrnácti konstrukcí řadicích pák – obr. 3.15 [1] byla vytvořena jediná konstrukce – obr. 3.16 [1] opět s výrazným snížením výrobních nákladů.

Unifikaci podléhají lícované spoje (rozměry, uložení, přesnost), závity (průměry, stoupání, přesnost), spoje pomocí per, drážkové spoje atd.

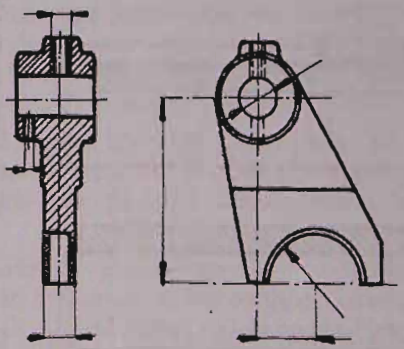
- *Normalizace*

Normalizace je nejvyšším stupněm standardizace. Jednou ze základních zásad technologičnosti konstrukce je použití normalizovaných součástí a tvarů při konstrukci.

Použitím normalizovaných tvarů na součástkách (poloměry zaoblení, šířky drážek, šířky zápichů apod.) se snižuje počet druhů nástrojů a měřidel, snižují se náklady na jejich objednávání, skladování apod.



Obr. 3.15 Původních čtrnáct pák [18]



Obr. 3.16 Sjednocená konstrukce [18]

3.6. Tvary součástí z hlediska vkládání součástí do pracovního prostoru

Vkládání součástí do pracovního prostoru i jejich vyjímání představuje další významné hledisko technologičnosti konstrukce. Snadná manipulace v pracovním prostoru stroje vede na snížení vedlejších časů a snížení výrobních nákladů. Někdy se konstruují na součástech speciální manipulační prvky.

3.7. Pohyb nástroje, resp. obrobku

Především je nutné zajistit *plynulý pohyb nástroje vůči obrobku*. Na obr. 3.17 [3] jsou příklady frézování rámu stroje. Varianta a představuje nutnost přestavení výškové polohy nástroje vůči obrobku u každé součásti. Tato nutnost přestavení odpadá u varianty b. Je možné též uvážit obrábění několika součástí na jedno upnutí na stroji.

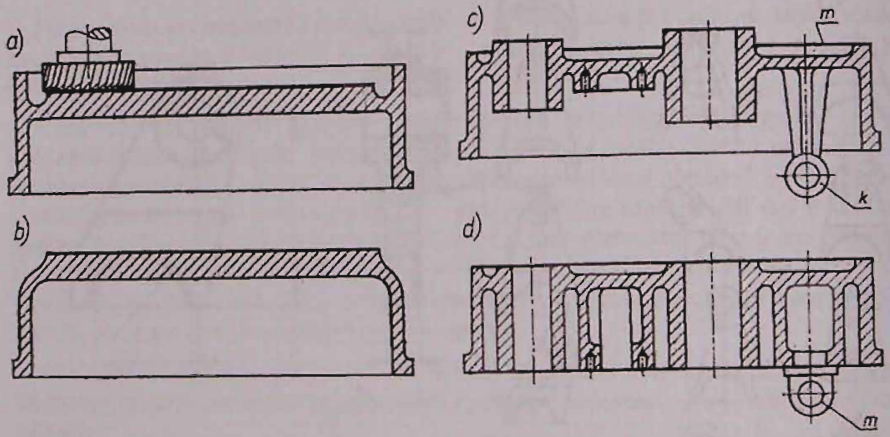
Na obr. c je varianta konstrukce, kde plynulému obrábění brání výstupky nábojů ložisek. Stejně obtížné je i obrábění výstupků spodní strany součásti. Tyto jsou zapuštěny do

konstrukce a při obrábění, kdy je součást obrácena, je nutné několikeré přestavení relativní výškové polohy nástroje vůči obrobku.

Kromě těchto dvou hledisek přistupuje i hledisko nevhodně vystupující konzoly nad úroveň spodní plochy součásti.

Toto odstraňuje konstrukce d, kdy se plynule obrábí spodní i horní plocha součásti. Konzola byla nahrazena okem, dodatečně montovaným na součást.

Konstrukce d bude vyžadovat o něco více materiálu odlitku. Kromě toho je zde další součást – oko. Toto do určité míry narušuje hledisko spotřeby materiálu a způsobuje navýšení pracnosti o další součást oko jakožto náhrada za konzolu. Současně ale u konstrukce c budou větší problémy slévárenské technologie u konzoly. Je vidět, že jsou zde protichůdná hlediska a o optimálním řešení rozhodnou výrobní náklady. Je však zřejmé, že u konkrétní uvedené konstrukce varianty d budou výrobní náklady nižší ve srovnání s variantou c.



Obr. 3.17 [3] Příklady frézování rámu stroje

Při obrábění *vnějších a vnitřních rotačních ploch (děr, hřídelů), kdy nelze konstrukčně zajistit průběžné obrábění* je nezbytné zajistit dostatečný prostor pro možnost výjezdu, resp. nájezdu nástrojů vůči obrobku.

Podobně je tomu u dalších typů ploch – viz např. obr. 3.18 [3]. U broušených a frézovaných *drážek na hřídeli* – viz obr. 1 je konstrukční řešení nevhodné, se zřetelem na to, že neumožňuje výjezd nástroje. U konstrukčního řešení 2, 3 je tento výjezd umožněn.

Analogické problémy jsou u *(a) vodicích lišt, (b) kalibrů, (c) uložení kuliček do sedla a (d) západkových koleček*. Konstrukční řešení 4 obr. 3.18 je nevhodné řešení, 5 vhodné. Podobně je tomu u obr. 6 (nevhodná konstrukce) a 7 (vhodná konstrukce), a také u obr. 8 (nevhodná konstrukce) a obr. 9 až 11 (vhodné konstrukce). Analogicky u západkových koleček, resp. podobných konstrukcí je konstrukční řešení 12 nevhodné, řešení 13 vhodné.

Podobné problémy vznikají při obrábění *drážek u pouzder* (nevhodná konstrukce – obr. 14 u které není možné zajistit výjezd kotoučové frézy, obr. 15 představuje vhodnou konstrukci, kde u čtyřech drážek se frézují vždy dvě a dvě kotoučovou frézou najednou) *a čelních drážek na hřídeli* – viz obr. 16 až 18 (u čelní drážky na hřídeli je konstrukce obr. 16 nevhodná, protože není prostor pro vyústění stopkové frézy, této problém řeší příčná díra vyrobená před frézováním drážky – obr. 17 nebo konstrukce s přídavným pouzdrem – obr. 18).

Analogicky u čelních drážek na hřídeli podle obr. 19 až 21. Konstrukce obr. 19 neumožňuje přístup brousicímu kotouči. Vhodnější je řešení obr. 20 a nejvhodnější podle obr. 21.

Při *broušení hřídelů* nevhodná konstrukce může vést na značné zvýšení výrobních nákladů. Např. u konstrukce obr. 22, 23 je nutné použít hrncovitého kotouče – obr. 23. Ve srovnání s plochým brousicím kotoučem je však takovéto obrábění nákladnější. Plochý kotouč nelze použít – obr. 22. Vhodná je konstrukce na obr. 24.

Podobně při *broušení vnitřních válcových ploch* nelze realizovat broušení podle obr. 25. Na obr. 26 je též nevhodná konstrukce neumožňující výběh kotouče. Vhodnou konstrukcí je konstrukce podle obr. 27.

Při návrhu součástí se *dvěma věnci ozubení* je třeba respektovat požadavek na dostatečný výjezd nástroje (obrážecího kotoučového nože). Obrázek 28 představuje nevhodnou konstrukci s nedostatečnou mezerou mezi oběma ozubeními. Větší vzdálenost a zajistí bezproblémové obrážení obr. 29. Obrázek 30 představuje tuto konstrukci s obrážecím nástrojem v pracovní pozici. Pokud by bylo u takovéhoto typu součásti nutné použít kotoučovou tvarovou frézu (nebyl by k dispozici obrážecí stroj na ozubení) bylo by nutné respektovat výjezd nástroje – viz obr 31. Je zřejmé, že konstrukce součásti by tím byla značně ovlivněna. Proto se jako vhodnou konstrukcí ukazuje v tomto případě konstrukce složená ze dvou ozubených kol podle obr 32.

Podobná situace nastává při frézování širšího ozubení, kdy obrážení nelze použít, pak při frézování odvalovací frézou nebo kotoučovou tvarovou frézou je nutné zajistit výjezd nástroje – obr. 33, jinak by docházelo k prořezávání osazení – obr. 33. Lepší variantou řešení je však nahrazení osazení pružným děleným kroužkem.

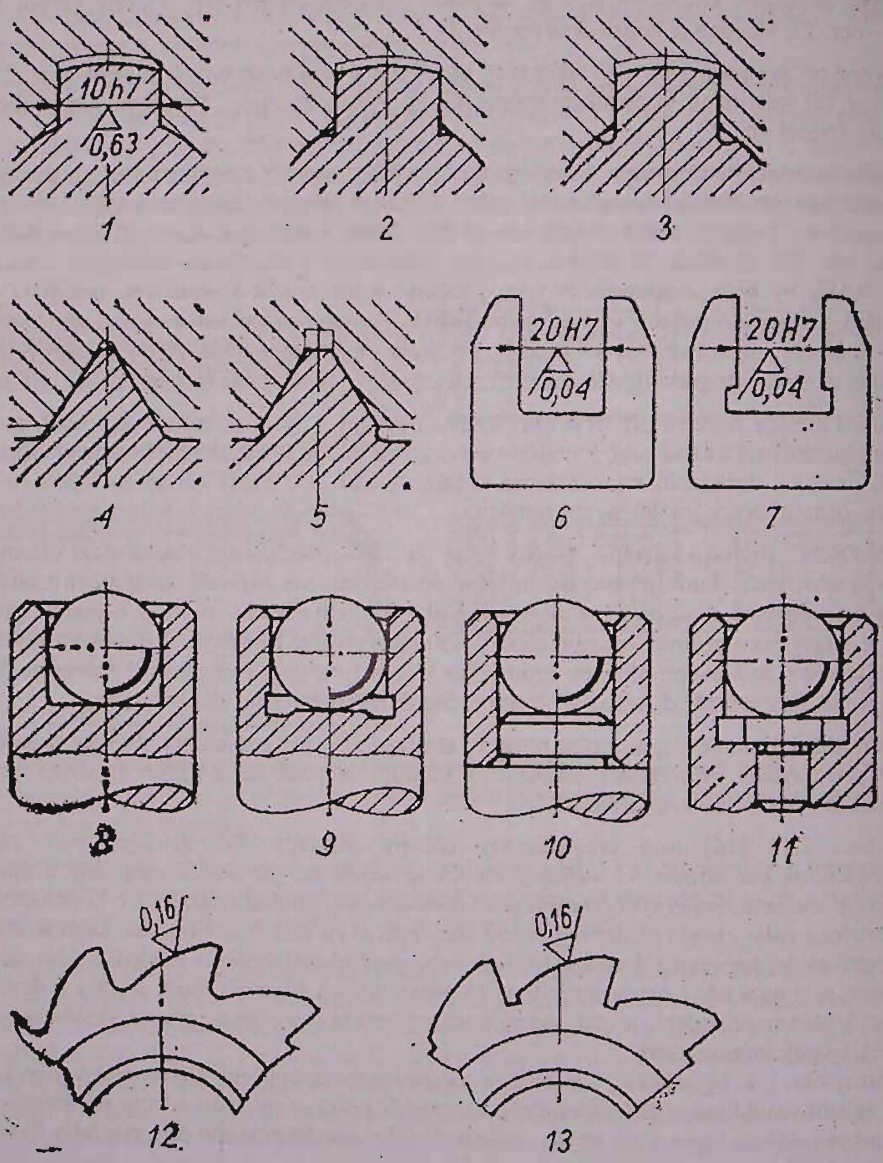
Při broušení válcové a kuželové plochy – viz obr. 36 – přechodová plocha mezi válcovou a kuželovou plochou nebude přesně definována, se zřetelem na největší opotřebení brousicího kotouče na přechodu obou ploch. Ani varianta obr. 37 není vhodná, protože nejmenší průměr kužele je stejný jako průměr válcové plochy a může vytvářet nepřesnost (stopa) po přechodu mezi válcovou a kuželovou plochou brousicího kotouče na kuželové ploše. Správné je řešení podle obr. 38, kdy průměr d_1 válcové plochy je menší než nejmenší průměr kužele.

Pro obrábění je nutné v pracovním prostoru stroje zajistit též konstrukcí obrobku *dostatečný prostor pro přístup obráběcího nástroje*. V krajním případě se z tohoto hlediska mohou navrhnout nevyrobitelné konstrukce.

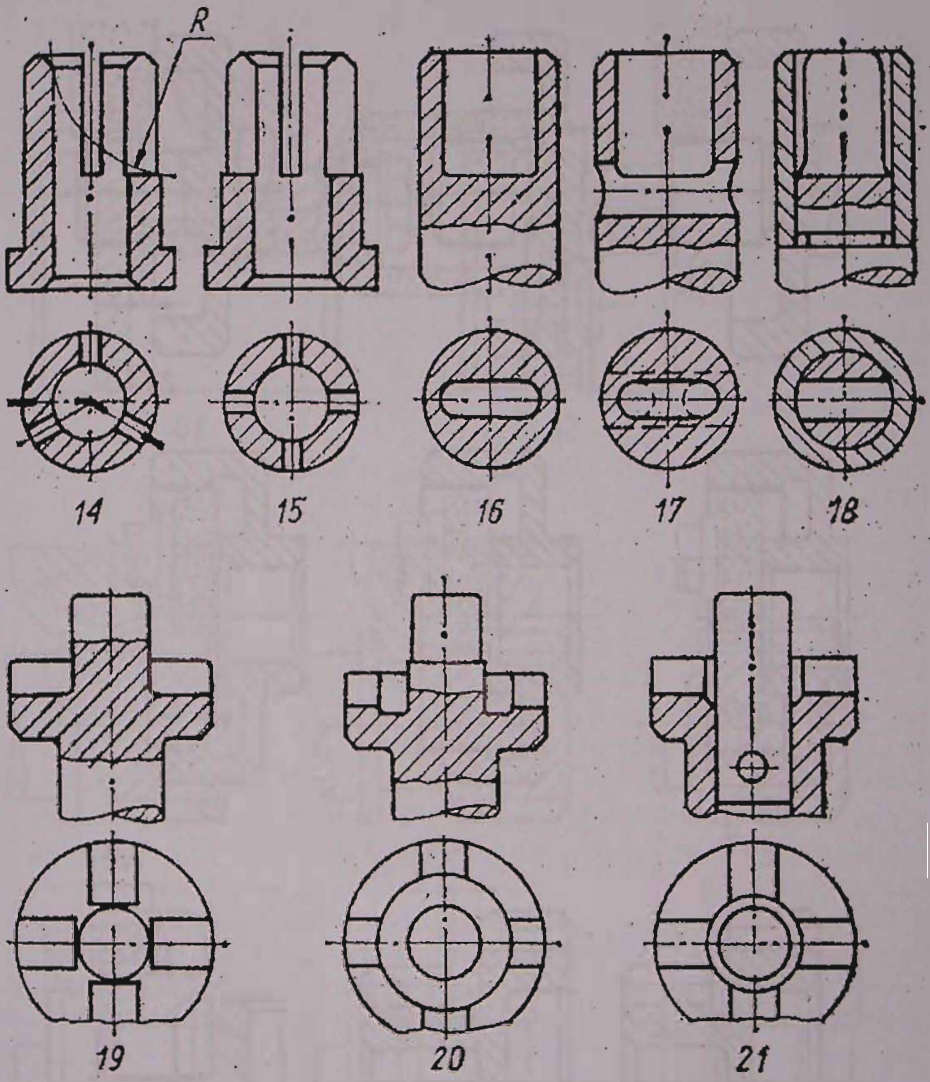
Na obr. 3.19 [16] jsou prezentovány některé příklady dokumentující tuto zásadu technologičnosti konstrukce. U varianty obr. a je téměř nevyrobitelná díra. Jde o špatnou konstrukční variantu. Správným řešením pro vrtání děr jsou příklady obr. b až i. U varianty d je však porušena další zásada technologičnosti konstrukce, že směr osy vrtacího nástroje má být kolmý vůči ploše, kam nástroj vniká. Jinak je nebezpečí uhnutí vrtáku v důsledku jeho radiální deformace a uhnutí tak i osy vrtané díry. U méně tuhých nástrojů může dojít i k destrukci nástroje. V těchto případech je pak nutné použít speciálně pro tento případ vyrobený vrtací přípravek s vodicím pouzdrem.

Varianty obr. j, k, l představují problém vroubkovaného zakončení. U konstrukce obr. j není možné zajistit vroubkování až k čelní ploše součásti V praxi se osvědčil odstup $s \geq 4mm$ – obr. k. Je možná i dělená konstrukce např. s rozválcováním vroubkovaného dílu pro jeho fixaci na talíř – viz obr. l.

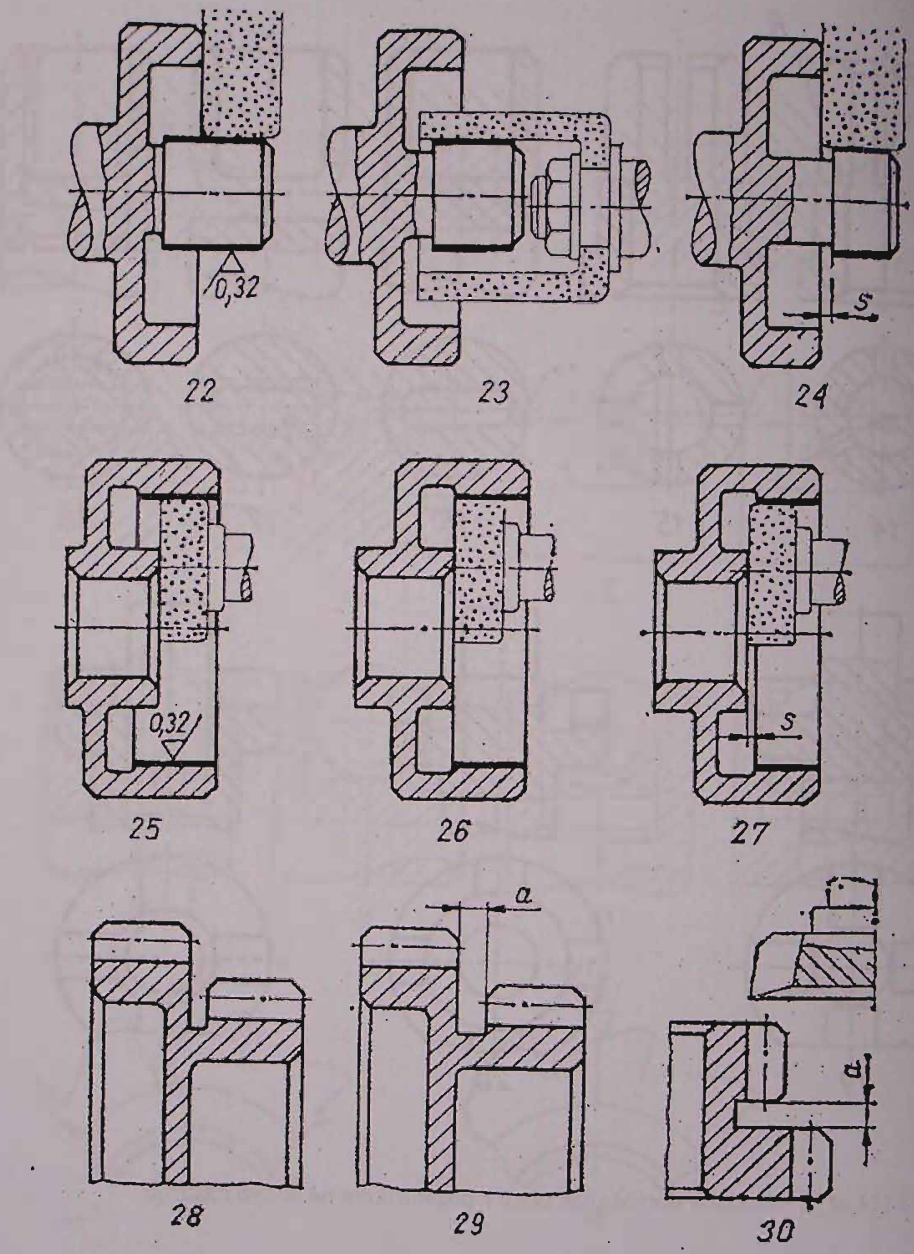
Na obr. m, n je z hlediska výroby poměrně složitá konstrukce ozubeného kola s kotoučem. V případě konstrukce obr. m brání ozubení pohybu nástroje pro výrobu vybrání v kotouči. Proto je vhodná dělená konstrukce – viz obr. n.



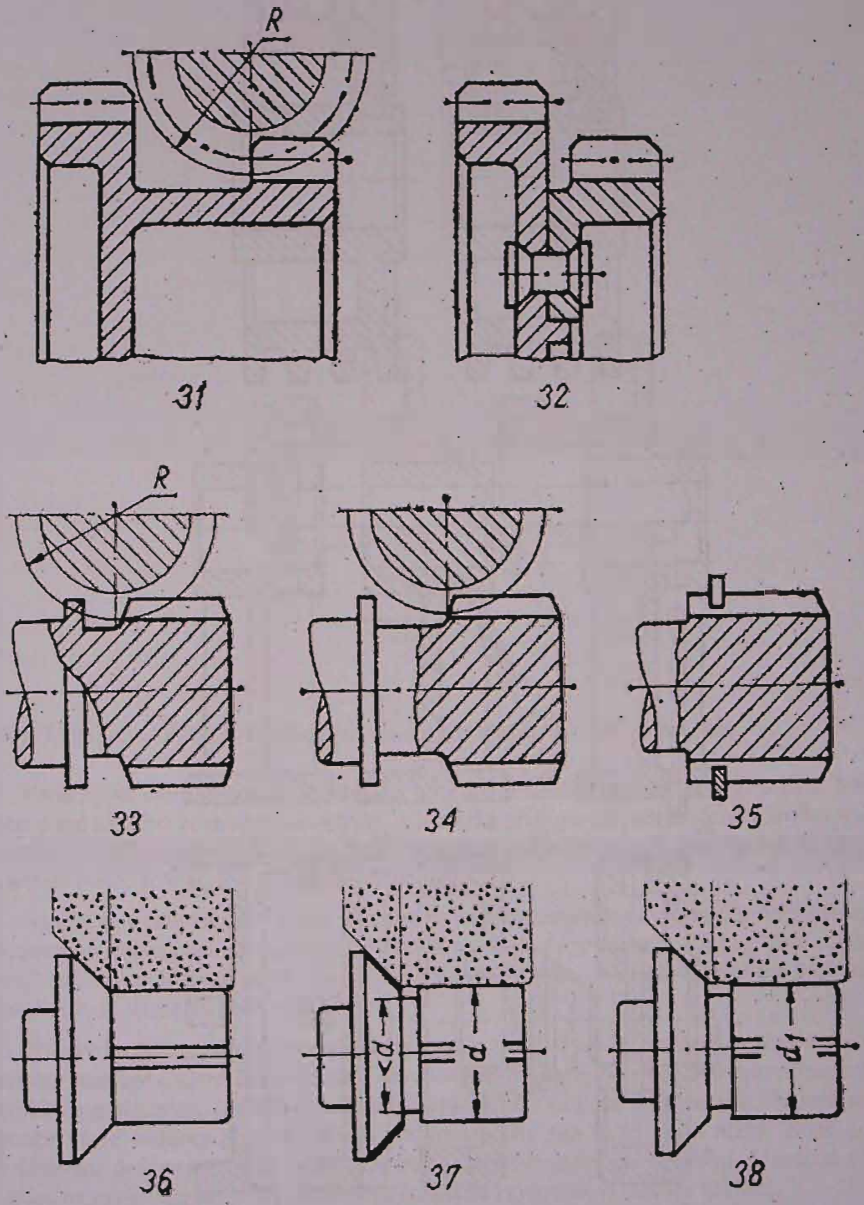
Obr. 3.18 (1 až 13) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje



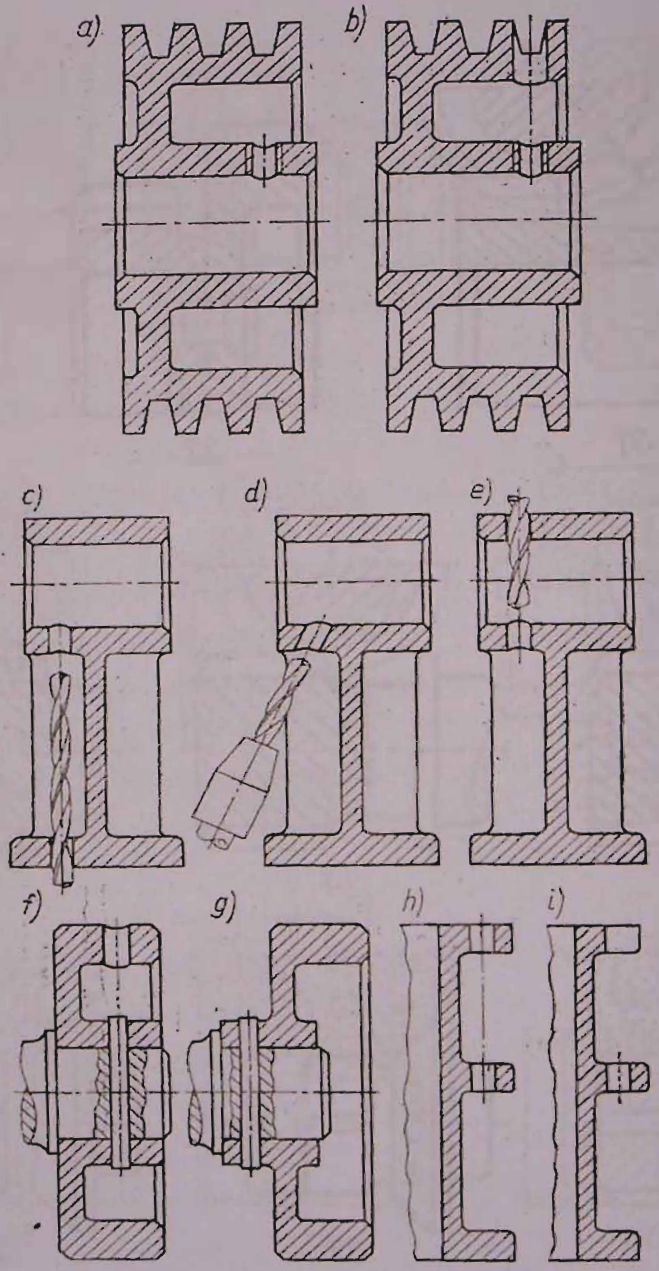
Obr. 3.18 (14 až 21) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje



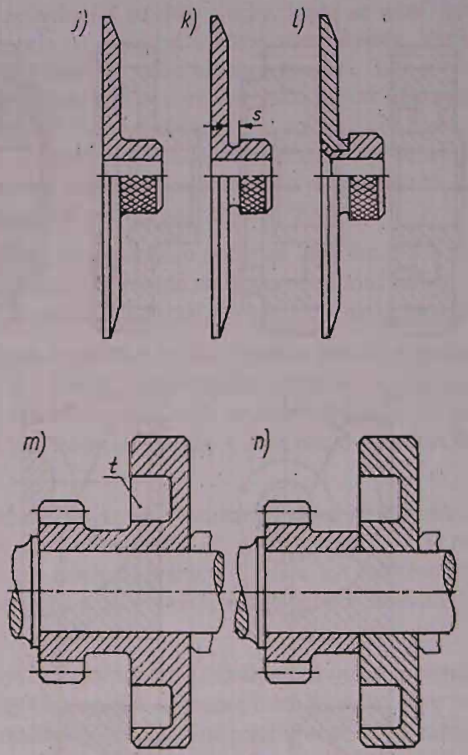
Obr. 3.18 (22 až 30) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje



Obr. 3.18 (31 až 38) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje



Obr. 3.19 (a až i) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje



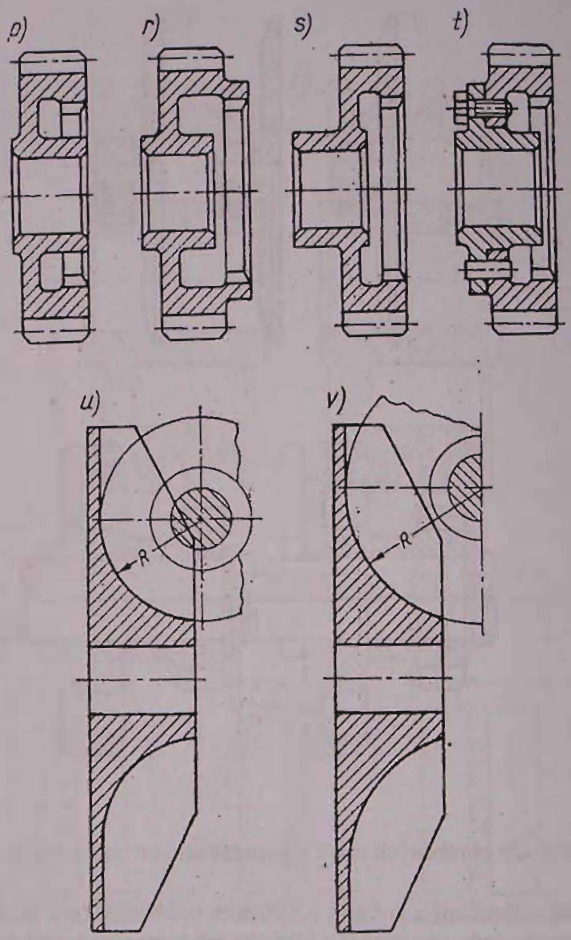
Obr. 3.19 (j až n) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje

Varianty konstrukce součásti s vnějším a vnitřním ozubením jsou na obr. p až t. Varianta obr. p má zásadně nevhodnou konstrukci z hlediska přístupu obrážecího kotoučového nože při výrobě vnitřního ozubení. Další varianty konstrukce podle obr. r, s, t jsou vhodné. O optimální variantě budou rozhodovat minimální výrobní náklady.

Na obr. u, v jsou varianty vrtule. Při návrhu konstrukce podle obr. u konstruktér neuvažoval vzájemnou souvislost mezi poloměrem frézy R a polohou upínacího trnu frézy. Tato varianta se nedá realizovat. Je třeba zvolit variantu s větším poloměrem, u které, upínací trn frézy nebude zasahovat do tělesa obrobku – viz obr. v.

Při návrhu konstrukce je třeba *vyvarovat se odlehlým plochám, které neumožňují snadný přístup nástroje a které často vyžadují obrábění málo tuhými nástroji.* V těchto případech jsou problémy s přípravou obrábění, s vlastním obráběním, v případě málo tuhých nástrojů se musí použít nízké hodnoty průřezů odřezávané vrstvy, aby síla řezání byla nízká. Jinak dochází v důsledku deformace málo tuhého nástroje k nepřesnostem při obrábění. Uvedené důvody vedou na zvyšování strojních i vedlejších časů a ke zvyšování výrobních nákladů.

Typické jsou např. práce na vyvrtávačkách s jednostranným upnutím vyvrtávací tyče.



Obr. 3.19 (o až v) Příklady obráběných tvarů s požadavkem na pohyb nástroje

Na obr. 3.20 [3] varianta a je případ broušení brousicím kotoučem jednostranně uchyceným ve vřetenu. Jde o málo tuhou soustavu pro broušení. U varianty podle obr. b je možné podepření z druhé strany, tím i zvýšení tuhosti brousicí soustavy, následně dojdeme k použití vyšších řezných podmínek a ke snížení nákladů.

Podobný problém je u příkladu obr. c, kdy se vyrábí závit ve větší vzdálenosti od čela součástky. Při soustružení závitu se opět musí použít málo tuhý nůž, u závitníků se musí použít speciální závitníky s dlouhými stopkami. Vhodné konstrukce umisťují závity poblíž čel součásti – viz obr. d.

Velké výrobní problémy způsobují *odlehlé díry* umístěné ve větší vzdálenosti od okraje součástí např. skříní - viz obr.e, zejména v prohlubních těchto součástí – viz obr. g. Vhodné jsou dělené konstrukce –obr. f, h.

Analogické problémy způsobují i odlehlé plochy, které se musí frézovat v prohlubních součástí. Na obr. 3.21 [3] jsou jako příklad uvedeny dvě varianty. Varianta obr. a vyžaduje frézovat plochu 1, která je v relativně velké hloubce součásti. Tato plocha je základnou pro uchycení ložiska 2 šrouby 3. Jde opět o obrábění málo tuhým nástrojem, který při velkém vysunutí vřetena vyžaduje nižší řezné podmínky pro snížení síly řezání, jinak je nebezpečí snížení přesnosti obrábění. Technologicky vhodnou alternativou je konstrukční řešení - viz obr. b. Upevňovací rovina je snadno přístupná pro obrábění a je umístěna na vnější straně součásti. U této konstrukce je také snadnější přístup pro uchycení šrouby.

Při odlévání stojanů a rámů strojů se často požaduje obrábění ploch pro matice a šrouby – viz obr. 3.22 [1] Dosedací plochu je možné realizovat ve formě nálitku nebo zahloubení. U obrázku b je obvykle levnější model, Jednoznačně však o tom rozhodne ekonomický propočet.

Obrábění dosedacích ploch je náročné na čas, zejména pokud se spodní plocha má obrábět záhlubníkem – viz obr. 3.23 [3]. a, b. Technologicky vhodnou variantou je varianta podle obr. c, u které se předpokládá obrobení ploch 2 a 3 současně složenou frézou. Pokud konstrukce dovolí neobrábět plochu 3, pak lze spodní plochu 4 – viz obr. d – obrábět frézou 6 s posuvovým pohybem ve směru 6.

U polotovarů typu odlitek, výkovek, svařenec je nutné respektovat *vzájemný vztah obráběných ploch a ploch, které se neobrábí.* Při obrábění ploch se (1) nemá nástroj vřezávat do materiálu polotovaru, který se nemá obrábět a (2) musí být zajištěno obrábění plochy, která se má obrábět (např. průměr frézy musí být větší, než je průměr technologického nálitku patky). Toto dokresluje obr. 3.24 a 3.25 [3].

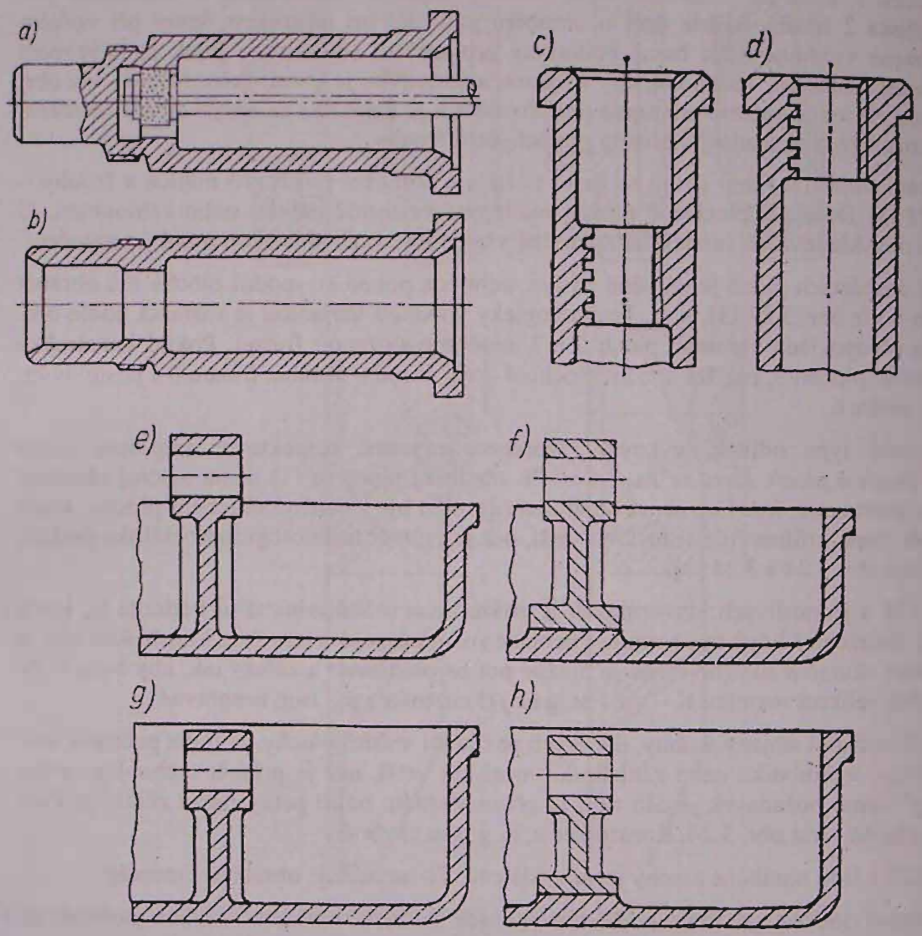
Na obr. 3.24 u jednotlivých konstrukcích je znázorněna určitá minimální hodnota K, která má být vždy dodržena i když bude určitá tolerance rozměrů polotovaru (viz konstrukce obr. a až f). V případě skutečně malého místa je možné použít prohlubně a zářezy tak, aby byla vždy dodržena určitá velikost rozměru K – viz obr. g až j (konstrukce g, i jsou nesprávné).

Pokud se konstruují stojany a rámy, u kterých se obrábí vnitřní plochy, je třeba počítat s tím, že průměr frézy, výhrubníku nebo záhlubníku musí být větší, než je průměr technologického nálitku patky. Tento požadavek je dán tím, že při nepřesném odlití patky nemá zůstat na čele neobrobená plocha – viz obr. 3.24. Konstrukce a, d, g jsou chybné.

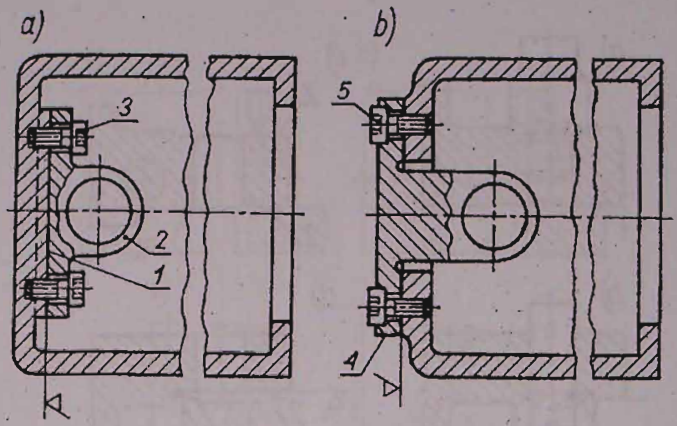
Na obr. 3.25 b jsou obráběné plochy jasně oddělené. To usnadňuje obrábění i montáž.

Při konstrukci součástí je třeba *oddělovat od sebe povrchy s různou kvalitou povrchu (s různými kvalitativními parametry) nebo části povrchu se stejnými kvalitativními parametry (vyráběné stejnými pracovními parametry) ale v různých operacích, či operačních úsecích.*

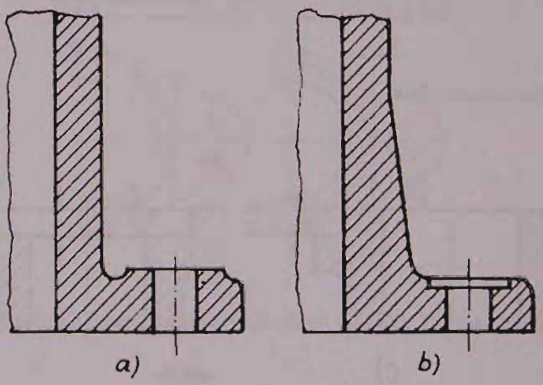
Povrch, který je obráběn dvěma různými nástroji, resp. různými pracovními podmínkami na stejný rozměr, ale s různými kvalitativními parametry nebo se stejnými kvalitativními parametry, ale v různých operacích, či operačních úsecích bude mít nežádoucí přechody mezi oběma částmi povrchu (rýhy, výstupky).



Obr. 3.20 Obrábění málo přístupných ploch



Obr. 3.21 Frézování v prohlubních součástí



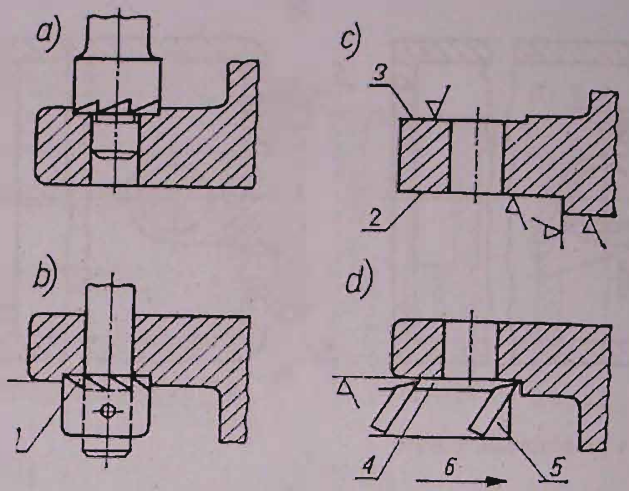
Obr. 3.22 Obrábění ploch pro matice a šrouby

3.8. Pružné deformace nástroje a obrobku

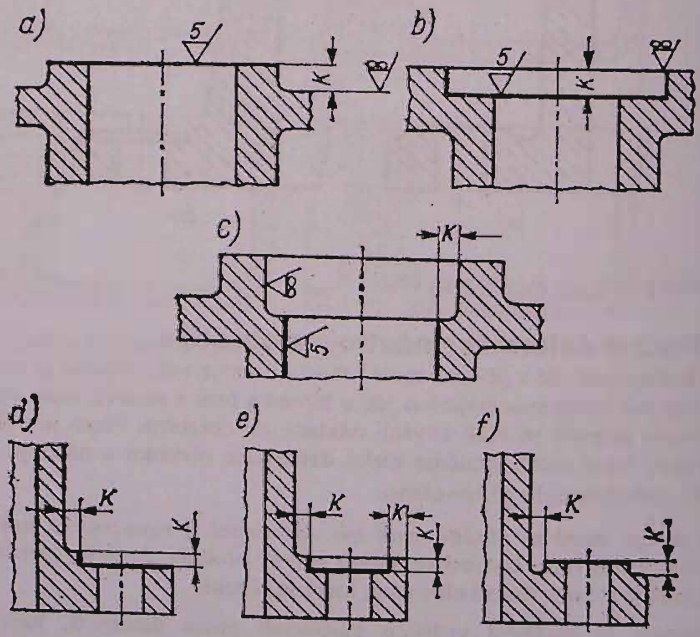
Zásadně lze konstatovat, že v případě malé tuhosti nástroje nebo obroku je nezbytné použít nízké hodnoty řezných podmínek (zejména jde o hloubku řezu a posuv), které vyvozují malou sílu řezání. V tomto případě se však zvyšují náklady na obrábění. Proto je výhodnější volit takovou konstrukci, která sama zaručuje nízké deformace obrobku a nástroje. O některých aspektech tohoto problému bylo již hovořeno.

Konstrukční prvky, které se obrábí, mají být dostatečně a rovnoměrně tuhé. V úvahu je potřeba vzít i tuhost nástrojů, kterými se budou plochy obrábět. Je třeba zaručit dostatečnou tuhost a pokud možno stejnou tuhost elementů, které se obrábí.

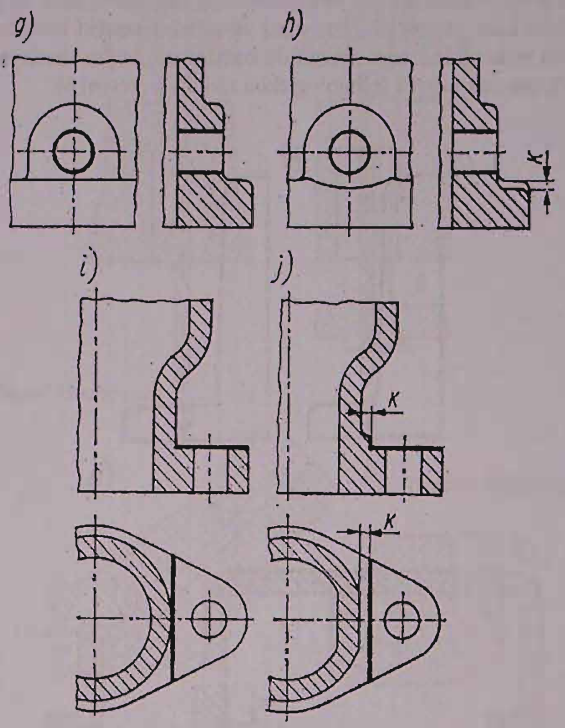
Velkým problémem je obrábění vnějších válcových ploch dlouhých, tenkých součástí. V důsledku malé tuhosti dochází snadno k průhybu součástí. Je nutné použít řezné podmínky vedoucí na malé síly řezání, což zvětšuje výrobní náklady nebo použít lunet (pokud je to možné), které podpírají danou součást.



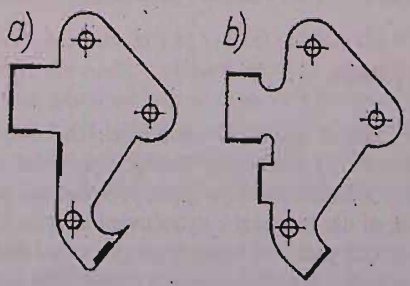
Obr. 3.23 Obrábění dosedacích ploch



Obr. 3.24 (a až f) Vzájemný vztah obráběných ploch a ploch, které se neobrábí



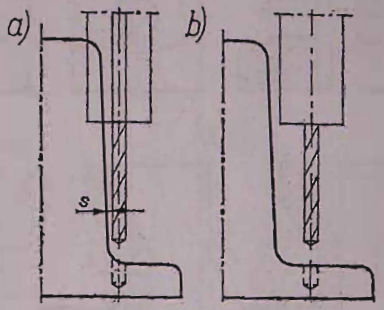
Obr. 3.24 (g až j) Vzájemný vztah obráběných ploch a ploch, které se neobrábí



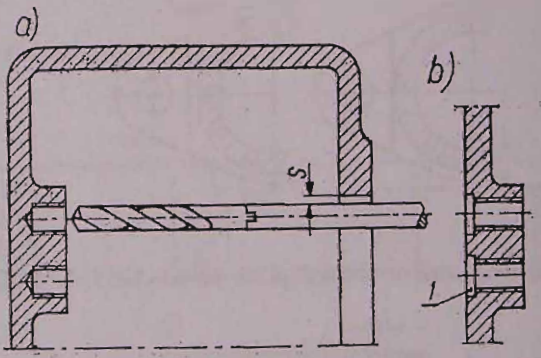
Obr. 3.25 Obráběné plochy mají být jasně oddělené

Z hlediska technologičnosti konstrukce je nutné uvažovat vzájemný vztah tuhosti a tvaru nástroje, jeho upínací části i jeho pohyb při obrábění vzhledem ke konstrukci. Především jde o vrtáky, výhrubníky, výstružníky a stopkové frézy. Na obr. 3.26 a 3.27 [9], [10] jsou příklady tohoto problému. U vrtané díry nemá délka díry být větší, než šesti až osminásobek průměru.

Pro konstrukčních řešení na obr. a je nutné použít dlouhé, málo tuhé vrtáky a obrábět malými posuvy. U obr. 3.26 b byl zvětšen prostor pro upínací část kratšího vrtáku, tedy zvětšena kóta s. Analogicky lze zvětšit kótu s u obr. 3.27 a, čímž se umožní použití kratšího, tužšího vrtáku s upínací částí, kterou bude možné zajet dovnitř do konstrukce. Jiným vhodným řešením je vrtat díru z vnější strany a tuto pak uzavřít technologickou zátkou 1. (řešení b).



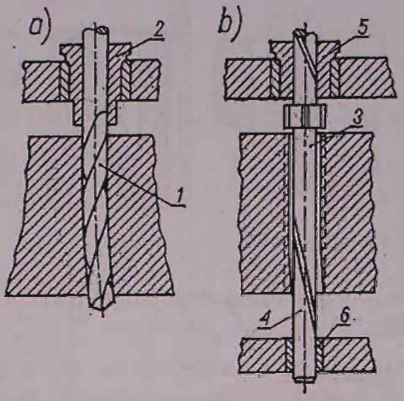
Obr. 3.26 Vrtání s dlouhým vrtákem



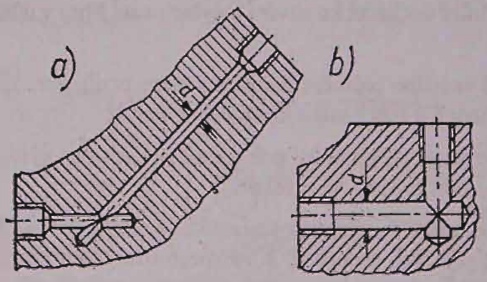
Obr. 3.27 Vrtání s dlouhým vrtákem

Při vrtání dlouhých děr, kromě problémů ekonomických, daných nízkými posuvy při obrábění i s nutností zařazovat tzv. výplachy, kdy nástroj po vyvrtání určité délky díry musí z ní vyjet, aby se odstranily třísky z drážek nástroje (jinak je nebezpečí jeho zadření a prasknutí), přistupují i problémy s přesností děr (dochází k vybočování nástroje od osy vrtání). Pro přesné dlouhé díry (pokud se nedá použít speciální technologie pro vrtání hlubokých děr) se musí díra vrtat nástrojem o menším průměru a poté dokončit výhrubníkem a výstružníkem, které jsou podepřeny pouzdry 5 a 6 – viz obr. 3.28 [3]. Toto řešení je však spojeno s vyššími výrobními náklady a proto je důležité se pokud možno vyvarovat takovýmto konstrukcím.

Stejný problém vzniká, pokud se mají různoběžné díry protnout v osách. Z výše uvedených důvodů je nutné použít díry co nejkratší s dostatečně velkým průměrem a pokud možno s osami vzájemně kolmými – viz obr. 3.29. Pokud mají tyto konstrukce na začátku díry závit, je nutné použít průměr díry odpovídající průměru pro výrobu závitu.



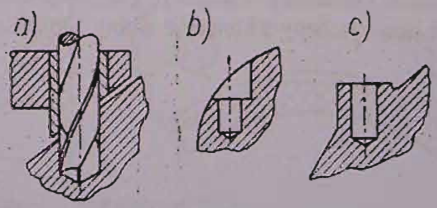
Obr. 3.28 Vrtání přesné dlouhé díry



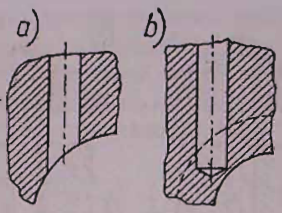
Obr. 3. 29 Vrtání zkřížených děr

Pokud se vyžaduje u jednoho z konců delších děr malý průměr, např. z hlediska proudění kapaliny, je možné vrtat díru s větším průměrem a pouze na zmíněném konci použít požadovaný menší průměr díry o malé délce.

Dále je důležité vyvarovat se děrám, kdy se vytváří radiální síla v důsledku nerovnoměrného přídavku po obvodu nástroje. Jde např. o vnikání osových nástrojů šikmo do stěny obrobku - viz obr. 3.30. U vrtané díry se šikmo umístěnou osou vůči povrchu je nezbytné použít vodícího pouzdra – obr. a. Toto řešení je spojeno s nebezpečím vylomení vrtáku. Výhodnější je konstrukce b s vybráním o větším průměru, než je průměr vrtáku – obr. a, i když výroba tohoto vybrání je spojena s radiální silou. Nejvhodnější je řešení s nálitkem obr. c.



Obr. 3. 30 Vrtání děr šikmo ke vstupní ploše



Obr. 3.31 Vrtání děr šikmo k výstupní ploše

Stejně tak není vhodné vyústění díry šikmo vůči výstupní ploše. Je nebezpečí vylomení břitu vrtáku – viz obr. 3.31 [9], [10].

Součást, která se má obrábět, je třeba konstruovat tak, aby *se kontakt mezi nástrojem a obrobkem (řez) nepřerušoval. Není vhodný ani proměnlivý přídavek.* Jinak dochází k rázům, nerovnoměrné deformaci obráběcí soustavy a vzniku nepřesnosti a nerovnoměrné drsnosti obrobené plochy. Dále může docházet ke chvění a vylamování břitu v důsledku proměnlivé síly řezání.

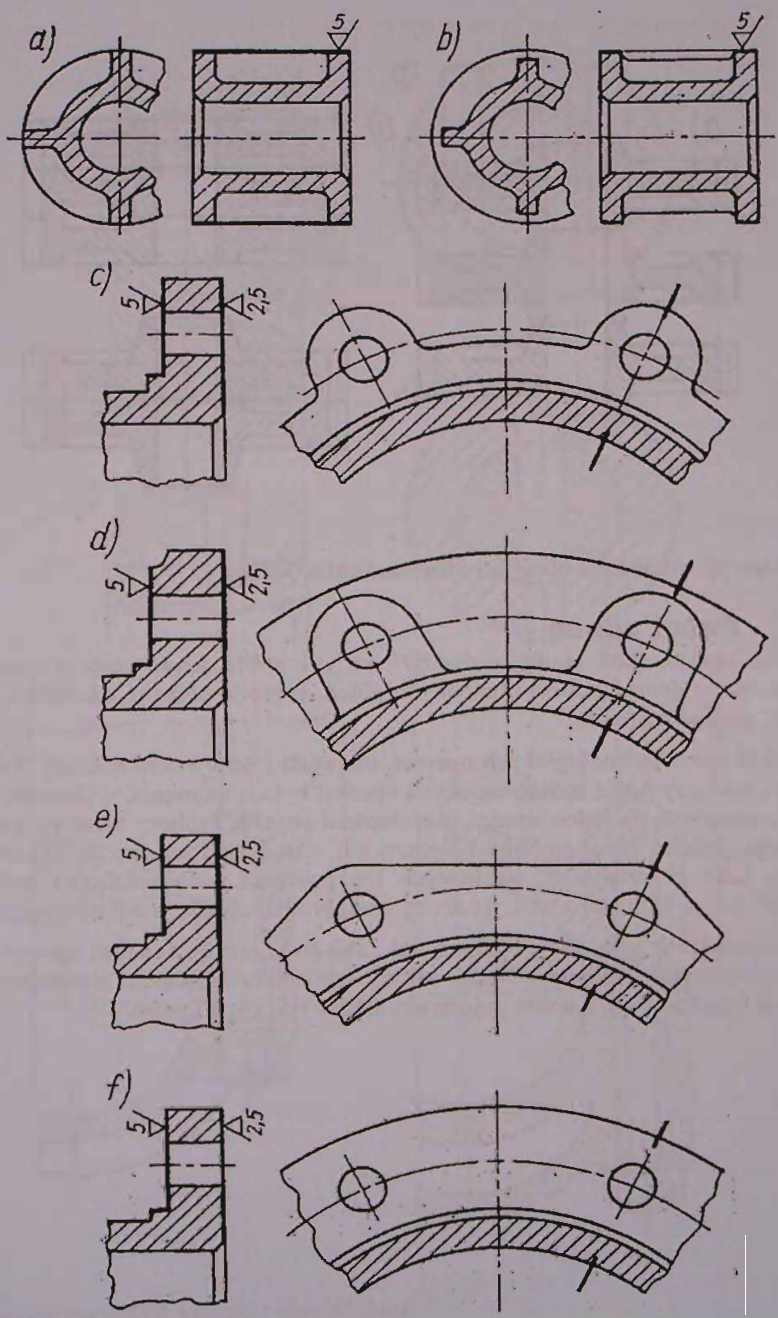
Např. při soustružení vnějšího průměru pouzdra s žebry podle obr. 3.32 a [3] vznikají rázy při obrábění žeber. Je vhodné u žeber snížit jejich délku obr. b.

Podobné nevýhody vznikají při obrábění polotovarů s tvarovými výstupky – obr. c, d - nebo s nerotačními elementy – obr. e. Správné je řešení f.

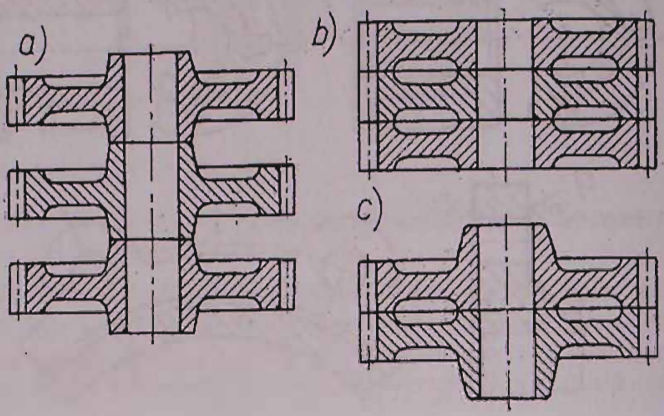
Na obr. 3.33 [9] jsou příklady různých konstrukcí ozubených kol. Při obrábění obrobků v sadě podle obr. a vznikají rázy a dochází k nerovnoměrné deformaci obrobků. Kromě toho dochází ke zvětšení strojního času a ke zvýšení výrobních nákladů při přejíždění mezer mezi v sadě upnutými obrobky. Výhodné je řešení b, event. c, kde však lze obrábět pouze dva upnuté polotovary, což přináší zvýšené výrobní náklady.

Je *nevýhodné obrábět současně dva materiály o různé pevnosti (tvrdosti).* Vznikají podobné problémy jako v předchozím případě. Dochází ke kolísání síly řezání, rázům, k nerovnoměrné deformaci obráběcí soustavy, nepřesnosti a ke zvětšenému opotřebení obráběcího nástroje. Vznikají i vyšší náklady na obrábění, se zřetelem na to, že řezné podmínky se stanoví pro materiál s vyšší pevností.

Na obrázku 3.34 [3] jsou příklady alternativních konstrukcí. Obr. a demonstruje spojení ocelového pouzdra s hliníkovým tělesem. Vhodné konstrukce jsou na obr. b, c. Výhodná je konstrukce, kdy je použit stejný materiál pro obě části obrobku. Podobně je výhodnější konstrukce e ve srovnání s variantou d. U varianty f se vyvrtává současně ocelová objímka, která je před obráběním pevně spojena s tělesem z hliníkové slitiny. Při obrábění vznikají stejné problémy, jako u předchozích konstrukcí. Vhodná je z hlediska technologičnosti konstrukce varianta g , kde obě části jsou vyrobeny z hliníkové slitiny. Objímka z hliníkové slitiny byla zesílena.



Obr 3.32 Proměnlivý přídavek a přerušovaný řez



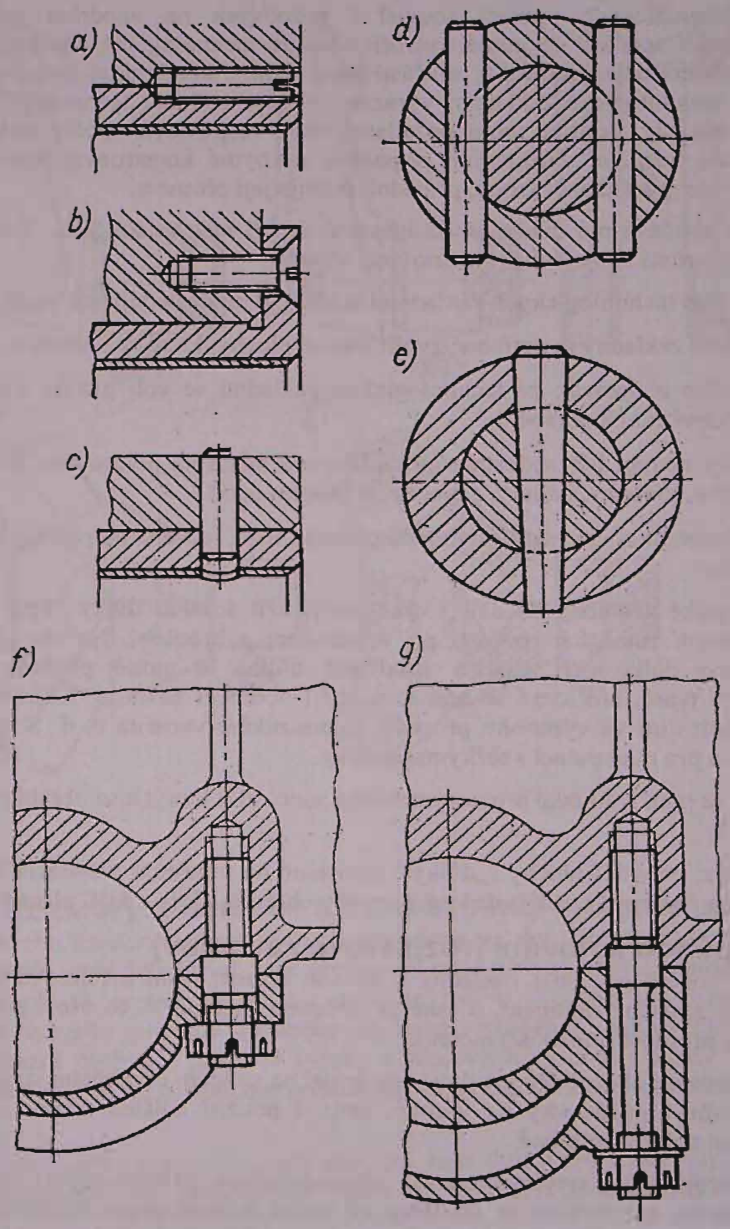
Obr. 3.33 Rázy při obrábění a obrábění více součástí najednou

3.9. Počet upnutí

Při změně upnutí dané součásti dochází vždy k určité nepřesnosti v upnutí a tudíž i k nepřesnosti ve vzájemné poloze obráběných ploch. Proto je důležité *obrábět na co nejmenší počet upnutí, nejlépe na jedno.*

Čím je větší počet technologických operací, tím větší jsou výrobní náklady. Součást má být konstruována tak, aby počet technologických operací byl co nejmenší, v ideálním případě, aby byla součást obrobena na jedno upnutí. Ke zlepšení situace z tohoto hlediska přispívají CNC obráběcí stroje, jejichž vývoj směřuje k tomuto cíli. Často jsou současné CNC obráběcí stroje koncipovány jako multifunkční, na kterých lze provádět řadu odlišných technologických operací. Např. lze na nich soustružit, frézovat, vrtat, brousit obrážet a odvalovat ozubení apod.

Některé upínací elementy jsou vyvíjeny tak, aby bylo možné součásti upnout bez nutnosti obrobení technologické základny. Např. odlitky lze upínat systémem stavitelných elementů, které nejdříve fixují součást v určité poloze a následně ho pevně upnou.



Obr. 3.34 Spojení materiálů s různou obrobitelností

3.10. Technologické základny

S počtem technologických operací souvisí i požadavek na vhodnou technologickou základnu. Pro upnutí součásti je nutné vytvořit vhodné technologické základny – rovinné, rotační plochy, středicí důlky rotačních součástí apod. Pokud konstruktér konstruuje s tím, že uvažuje budoucí technologické základny, výrazně zlepšuje budoucí technologický postup, a snižuje výrobní náklady. Jestliže tento požadavek není respektován počet technologických operací se zvětšuje, resp. je v některých případech nezbytné konstruovat speciální upínací přípravky. A toto vše prodražuje výrobu, případně snižuje její přesnost.

Způsob upnutí součásti má uvažovat již konstruktér při návrhu součásti. Toto je důležité vždy, ale význam vzrůstá se zvyšující se sériovostí výroby.

Principy pro volbu technologických základen lze shrnout do následujících bodů:

- Za technologické základny je potřebné zvolit takové plochy, které se neobrábí.
- Pokud toto nelze realizovat, za technologickou základnu se volí plocha s pokud možno nejmenším přídavkem na obrábění.
- Opěrnými body nemají být nedostatečně definovaná místa na polotovaru, např. u odlitků místa s výstupky, výronky, nálitky, zapečeným pískem apod.
- Pokud se na konstrukci nevyskytují vhodná opěrná místa, je třeba na polotovaru navrhnout speciální nálitky.

Jako technologické základny se dají s výhodou použít středicí důlky. Tyto se používají především pro upnutí rotačních součástí při soustružení a broušení. Na obr. 3.50 [3] jsou příklady středicích důlků. Při návrhu středicích důlků je nutné přednostně vycházet z normalizovaných tvarů, pro které se běžně vyrábějí obráběcí nástroje. Kuželové a válcové fasetky mají chránit díru ve výrobním procesu – konstrukční varianta b, d. Středicí důlek se závitem se používá pro manipulaci s těžkými obrobky.

Středicí důlky se používají také pro nesymetrické součásti u kterých se obrábí rotační plochy – viz obr. 3.35 a, b.

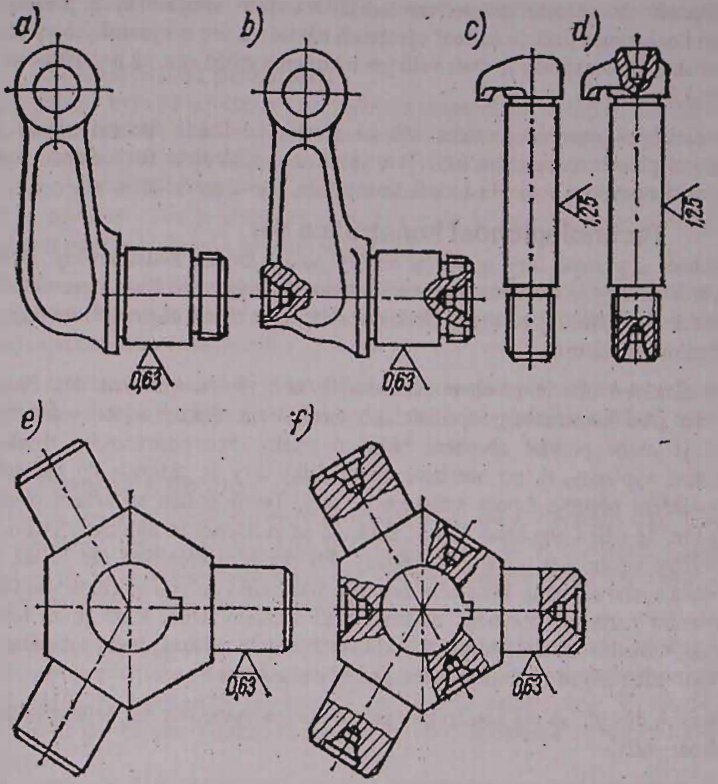
Duté hřídele mají středicí plochy („důlky") umístěné na vnitřních plochách. U složitějších tvarů dutin s více průměry se osadí kuželová díra, aby chránila závit a další plochy.

3.11. Způsob kótování (rozměrové základny)

S předchozím bodem souvisí i základny a způsob dimenzování a tolerování rozměrů. Je třeba vycházet ze způsobu obrábění, a také ze způsobu měření. A to vše s požadavkem na přesnost výroby a přesnost (možnost) měření.

Způsob dimenzování obecně řečeno musí odpovídat na každém obráběcím stroji obráběcímu cyklu. Toto ovlivňuje požadavky na výrobu, resp. i použití dalších operací, které by při správném kótování nebyly potřebné.

Např. u NC strojů může systém pracovat inkrementálním (přírůstkovým) způsobem nebo v absolutním systému (souřadnice se odměřují od určité technologické základny). Toto musí konstruktér respektovat při kótování a tolerování rozměrů. Způsob kótování a tolerování rozměrů musí odpovídat použitému systému obráběcího stroje. Jinak technolog musí součást překótovat, změnit tolerance (toto není jednoduché a nemusí odpovídat záměru konstruktéra) a toto předložit ke schválení konstruktérovi. Pak nutně musí dojít k dohadování, protože obecně nelze jednoduše sečítat a odečítat tolerance.



Obr. 3.35 Středicí důlky

3.12. Rozměry, tolerance a další aspekty integrity povrchu

Integrita povrchu jakožto souhrn všech charakteristik vztahujících se k povrchu a povrchové vrstvě nabývá stále větší důležitosti. Dnes se hovoří stále více o nanotechnologiích. Požadavky na kvalitu povrchu a povrchové vrstvy neustále rostou. Způsob dimenzování, tolerance, požadavky na integritu povrchu (průběhy zpevnění, průběhy zbytkových napětí, a další požadavky) výrazně ovlivňují pracnost výroby a především výrobní náklady. Přitom pracnost výroby a výrobní náklady s rostoucími požadavky na kvalitu rostou progresivně – viz obr. 3.1 až 3.3.

Vzájemná relace přesnosti a drsnosti povrchu jsou důležitým aspektem technologičnosti konstrukce. Nerespektování vzájemných vazeb může vést i k nemožnosti realizovat daný povrch.

Tvary, rozměry, tolerance, požadavky kvalitu povrchové vrstvy (průběhy zbytkových napětí a zpevnění, změna mechanických vlastností a struktury apod.) , resp. hmotnost součástí určují obráběcí proces, technologický postup a obráběcí stroje. Často konstruktéři předepisují zbytečně vysoké kvalitativní parametry obráběných součástí. Je to často dáno neznalostmi konstruktérů i jejich obavami z hlediska bezpečné funkce strojních součástí. Přitom opět je

nutné zdůraznit, že se toto progresivně odráží v cenách strojírenských podniků. Přitom celosvětová konkurence tlačí na snížení výrobních nákladů a cen strojírenských výrobků. Proto takovýto přístup ke konstrukci je dnes velikým luxusem a může vést i k neúspěšnosti výrobků, resp. i podniků na trzích.

U stýkajících se povrchů je třeba mít na zřeteli, že každá funkční plocha má svoji korespondující plochu na jiné součásti. Toto je důležité z hlediska funkce spolu zabírajících ploch, z hlediska pevnosti spojení i z hlediska montáže, event. rozebíratelnosti.

3.13. Technologičnost konstrukce děr

Je potřebné, aby *slepé díry se závity* nebyly pokud možno konstruovány. Délka závitu vzhledem k délce díry je omezena. Potřebný prostor pro výjezd nástroje i pro ukládání třísek musí být adekvátní. Nástroj se nesmí dotknout dna, resp. třísek uložených na dně . Jinak je nebezpečí zalomení nástroje.

Výroba *dlouhých děr* je mnohem nákladnější, než výroba krátkých děr. Pro obrábění dlouhých děr jsou konstruovány speciální obráběcí stroje. Pokud nejsou v daném podniku k dispozici je nutné provést obrobení běžnými vrtáky. Pro odstraňování třísek se musí realizovat tzv. výplachy, tj. po obrobení určité délky díry se zařazuje do technologického postupu vyjíždění nástroje (spolu s třískami) z díry. Tento postup se během obrábění díry opakuje, s tím, že délka obrobené díry se zkracuje se zvětšující se hloubkou vrtání. Toto vše značně zvětšuje strojní čas a výrobní náklady. Při obrábění dlouhých děr je též nebezpečí zadření vrtáku a jeho zlomení. Týká se to zejména materiálů s dobrou tepelnou vodivostí. Teplo vzniklé vrtáním roztahuje obráběný materiál před vrtákem. Díra, která je za tohoto stavu obrobena se následně smrští v důsledku chladnutí, sevře nástroj, který následně praskne. Odstraňování zalomených nástrojů je velmi pracné a nákladné.

Z uvedených důvodů se má konstruktér pokud možno vyvarovat děr, jejichž délka je větší, než tři průměry díry.

Vstup a výstup díry jsou neméně důležité. O tomto problému bylo již hovořeno v souvislosti s přerušovaným řezem při vjezdu a výjezdu obráběcího nástroje u šikmých ploch. Osa díry na vstupu a výjezdu nástroje má být kolmá na povrch součásti. V opačném případě vzniká radiální síla, která se snaží vychýlit nástroj. Je nebezpečí vzniku nepřesnosti, ale především destrukce vrtáku. Tyto případy vyžadují obvykle speciální vrtací přípravek, což prodražuje výrobu.

3.14. Délka součástí

Obrábění dlouhých rotačních součástí je obtížné a nákladné, vzhledem ke snižující se tuhosti součásti v radiálním směru při zvětšování poměru délky a průměru obrobku. Musí být sníženy řezné podmínky pro snížení radiální síly, často se musí používat podpěr (lunet). Toto vše zvyšuje náklady na obrábění.

Nerotační dlouhé součásti a extrémně tenké součásti jsou obtížné pro obrábění. Mohou být problémy s dostupnými stroji, s upínáním, s deformacemi součástí po obráběná (v důsledku vzniku zbytkových napětí).

Deformace vznikají např. při frézování vybrání (tzv. kapes) v nosnících pro výrobu letadel. Po obrobení jedné strany nosníku dojde k deformaci součásti. Pokud se obrábí vybrání i z druhé strany, po jejich obrobení dojde opět k deformaci nosníku ale zcela jinému, než po obrobení první strany. Tyto deformace, pokud nejsou tepelně odstraněny, se v průběhu času uvolňují a způsobují další deformace. Toto vše má negativní důsledky na výsledek obráběcího procesu a na výrobní náklady.

Vnitřní plochy by u dlouhých, resp. tenkých nerotačních plochých obrobku neměly být obecně používány.

3.15. Souslednost poloměrů

O tomto problému bylo již hovořeno v souvislosti s vyvrtáváním vnitřních děr. Na rotačních obrobcích u vnějších ploch by *poloměry u osazení měly vzrůstat od nejmenšího průměru.* Pokud tomu tak není obráběcí proces je komplikovanější a výrobní náklady významně rostou. Kromě toho by *poloměry u osazení měly být pokud možno stejné*, resp. jejich počet o různých velikostech co nejmenší. Tím je umožněno používat nože se stejným poloměrem u různých osazení, což opět povede k nižším výrobním nákladům.

Podobně je tomu u vnitřních rotačních ploch. Poloměry by se měly zmenšovat směrem od čelního okraje obrobku. Opět platí, že by poloměry měly být pokud možno stejné, resp. jejich počet o různých velikostech co nejmenší.

U NC strojů toto lze řešit použitím jednoho nože s nejmenším poloměrem a programováním kruhově interpolované dráhy nástroje vůči obroku, což však vede ke zvýšení pracnosti při programování.

3.16. Patenty a licence

Patenty a licence významně ovlivňují strojírenské výrobky. Nepřímo také vstupují do nákladů na obrábění, resp. pracnosti této technologie. Jak již bylo uvedeno, technologie obrábění má v naprosté většině strojírenských výrobků největší podíl pracnosti ze všech technologií vstupujících do strojírenských výrobků.

Patenty a licence proto představují významnou nákladovou oblast ovlivňující cenu výrobků. Při návrhu konstrukce je třeba se seznámit s patenty, které souvisí s připravovanou konstrukcí. Jinak je nebezpečí, že konstruktér navrhne to, co již bylo patentováno. V případě uvedení takového výrobku na trh pak vznikne riziko, že výrobce dodatečně zaplatí značnou částku nositeli patentu.

Pokud se konstruktér rozhoduje, zda nakoupit licenci nebo navrhnout vlastní původní řešení, je třeba alternativně rozhodnout. Toto rozhodnutí je dáno originalitou vlastní konstrukční varianty, a pokud vlastní řešení není na úkor technické kvality výrobku, pak rozhodnou náklady (1) spojené s nákupem a realizací licence a (2) náklady spojené s realizací vlastní konstrukce.

Je důležité také patentově chránit vlastní originální konstrukci. Toto je také spojeno s náklady na udělení a udržování patentu a je nutné toto začlenit do celkové nákladové bilance.

3.17. Tvary součástí z hlediska možností různých technologií obrábění

Tvary součástí jsou primárně určovány možnostmi technologických procesů obrábění. Speciální pozornost vyžaduje vývoj CNC obráběcích strojů – viz technologičnost obrábění na CNC strojích. Důvodem je prudký rozvoj těchto strojů. Co je v daném okamžiku obtížné obrobitelné může se během několika málo měsíců změnit. Nové možnosti nově nabízených CNC strojů mohou způsobit zásadní změnu a co bylo dříve z hlediska technologičnosti konstrukce nevhodné, může se stát snadno vyrobitelným. Z těchto důvodů je nezbytné průběžně sledovat vývoj CNC strojů, se zřetelem na to, že zásady technologičnosti konstrukce se mohou s vývojem výrobní techniky zásadně měnit.

Technologičnost konstrukce z hlediska tvarů součástí při obrábění na konvenčních obráběcích strojích je dána poměrně stabilně a vyplývá z jednotlivých technologií obrábění

(soustružení, frézování vrtání, hoblování, obrážení, broušení apod.). Tyto technologie nebudou v rámci tohoto textu rozváděny, se zřetelem na to, že je dostatek literatury o této oblasti obrábění.

V této souvislosti je nutné zdůraznit, že technologičnost konstrukce úzce souvisí s výrobním zařízením daného podniku. Je proto důležité, aby se konstruktér seznámil s výrobními možnostmi (výrobním zařízením) vlastního podniku. Co bude z hlediska technologičnosti vhodné v daném podniku, v jiném to z hlediska technologičnosti konstrukce bude nevhodné.

Literatura

[1] Přikryl, Z. *Technologičnost konstrukce*, ČVUT, Praha, 1971

[2] Mádl, J. Concurrent Engineering and Quality Control. In *Proceedings of VI^th Meždunarodnaja naučno-techničeskaja konferencija.* Penza Rosija: Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 2000, p. 70 – 73. ISBN 5-8356-0044-5.

[3] Skarbinski, M., Skarbinski, J. *Technologičnost konstrukcie strojov.* ALFA Bratislava, 1982.

[4] Black, R.: *Design and Research.* Macmillan Press, London, 1966.

[5] Mádl, J., Kvasnička, I. Optimalizace řezných nástrojů. In: *Nástroje'99.* Brno: TU, 1999, s. 7-11.

[6] Madl, J., Cermak, J.. Vrabec, M. Computational Techniques in Manufacturing Technology. In.: *First Int. Conf. On Advanced Engineering Design. Book of Abstracts.* Prague: CTU, 1999, p. 35-36.

[7] Helgoson, M. *CAD Integrated Control*, Linkoping University, Linkoping, 1998.

[8] Amrine, T.H, Ritchey, A.A., Moodie, C.L. *Manufacturing, Organization and Management.* Prentice-Hall, London, 1987

[9] Skarbinski, M. *Zasady konstruowania odlewanych ozešči maszyn.* Warszawa, 1968

[10] Skarbinski, M. *Konstrukcja odlewów.* Warszawa, 1957

[11] Borkowski, W. Uwagi otechnologicznosci konstrukcji przedmiotow obrabianych na automatach tokarskich. *Mechanik,* Nr 11, 1972

[12] Madl, J. Manufacturing Processes, Management Accounting and Controlling. *Manufacturing technology.* 2004, vol. 4, p. 37.39. ISSN 1213-2489

[13] Madl, J. Design and Machining Economics. In *Rozvoj technológie obrábania RTO 2000.* Košice, TU Faculty of Mechanical Engineering, 2000, s. CZ19-CZ20. ISBN 80-7099-505-X.

[14] Madl, J. Selected Aspects of Design for Machining. In *Tools 2001, Academia centrum Zlín, 2001, s. 118-123. ISBN 80-7318-008-1.*

[16] Orlov, P.I. *Základy konštruovania.* ALFA, Bratislava, 1979

[17] Praca zbiorowa *Technologičnist konstrukcii.* Moskva, 1969

[18] Zelenka, Ant. *Projektování výroby a montáže strojních součástí.* SNTL, Praha 1967

4 Technologičnost konstrukce při obrábění na konvenčních obráběcích strojích

V kapitole 3 byly specifikovány obecné zásady technologičnosti konstrukce. Většina těchto zásad je platná i pro technologičnost konstrukce při práci na konvenčních obráběcích strojích. Některé z obecných zásad technologičnosti konstrukce jsou důležité především u konvenčních obráběcích strojů. Tím ale není řečeno, že nejsou platné i pro obrábění na CNC obráběcích strojích.

Dále budou uvedeny vybrané problémy technologičnosti konstrukce, které se uplatňují převážně při obrábění na konvenčních obráběcích strojích. Tím také ale není řečeno, že se nemusí uplatnit i při práci na NC obráběcích strojích. U těchto strojů však lze uvedené problémy řešit zásahem do programu NC.

Na obr. 4.1 [1] jsou příklady vhodných a nevhodných konstrukcí z hlediska *počtu operací (upnutí)* na konvenčním stroji, resp. nutnosti naklonění a použití speciálního přípravku. Varianty a, c jsou nevhodné. Tento nedostatek řeší konstrukce podle obr. b, d.

Často i malé konstrukční změny mohou představovat významné snížení pracnosti. Např. *srážení hran, změna poloměru* apod.

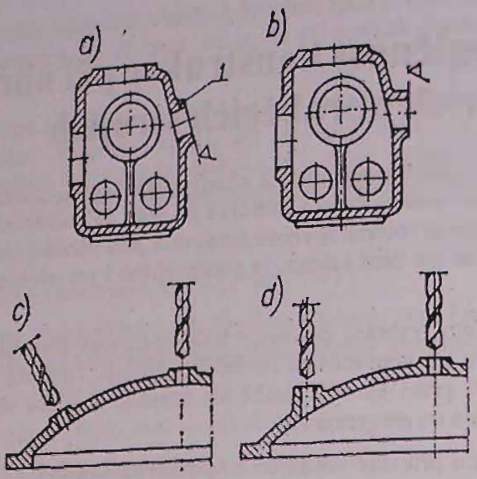
Pokud je možné *obrábět několik současně upnutých součástí najednou,* výrazně se může snížit pracnost. Tomu je ale potřeba přizpůsobit i konstrukci.

Složité a přesné plochy se hůře a nákladněji vyrábí na vnitřních částech součástí. Vždy je jednodušší a méně nákladné obrábění vnějších ploch, než vnitřních. Na obr. 4.2 [16] jsou příklady různých konstrukcí. Varianty konstrukcí a, b představují konstrukční řešení labyrintu ucpávky. Soustružení vnitřních žeber je složitější a tudíž nákladnější. Proto řešení a je nevhodné. Podobně je tomu u konstrukcí c, d, kde výroba vnitřní plochy vnějšího kroužku ložiska je pracnější, ve srovnání s analogickou konstrukcí na vnější ploše vnitřního kroužku. Obr. e, f představují řešení centrování dělené kuželové pojistky na tyč ventilu. U varianty e se centrování realizuje pomocí vnitřních broušených ploch 1 na vnitřní straně kuželové pojistky. Tuto nevýhodu řešení konstrukce f, u které se centrování provádí pomocí přesně broušených vnějších válcových ploch 2. Podobně se u západkové brzdy obr. g, h mnohem snadněji vyrábí vnější tvarové plochy podle obr. h, ve srovnání s řešením podle obr. g. Podobně i v případě dlouhého vnitřního závitu je větší pracnost ve srovnání s výrobou vnějšího závitu – obr. i, k.

Technologičnost při obrábění na strojích s nepružnou automatizací má též svá specifika. Např. největší průměr rotačních součástí by měl odpovídat nebo se blížit rozměru polotovaru - tyče. Tím se minimalizuje objem obrobeného materiálu i celková spotřeba materiálu v konstrukci a zároveň je možné požití tyčí u soustružnických automatů.

Při obrábění mohou vznikat na výrobku otřepy (upichováním, frézováním, broušením), které mohou být nežádoucí např. při montáži. Proto je důležité navrhovat tvary součástí tak, aby se pokud možno otřepy eliminovaly nebo byly na plochách, kde nevadí. Jinak je nezbytné zařazovat další operaci. Např. u obr. 4.4 [11] vzniká otřep, resp. čípek při upichování součásti.

S předchozím bodem úzce souvisí vznik ostrých hran po obrábění. Zásadně je vhodné tyto ostré hrany srážet. Při návrhu tvaru stražení je důležité vycházet ze standardních nástrojů, jinak se musí použít speciální nástroje.



Obr. 4.1 Frézování a vrtání děr na konvenčním stroji

Např. na obr. 4.5 [11] jsou případy srážení hrany v různé konstrukční úpravě. Řešení podle obr. a je nejvhodnější, se zřetelem na použití standardního nástroje. V úpravě obr. b se musí použít speciální nástroj. Při zaoblovaní se musí použít dražší speciální nůž – viz obr. c, který představuje z těchto variant variantu nejhorší.

Požadavky na *ostré přechody mezi vnější i vnitřní válcovou a čelní plochou* jsou velmi náročné, se zřetelem na to, že každý soustružnický nůž má reálný poloměr špičky. Je nutné vždy předepsat určitou velikost poloměru, nebo řešit toto zápichem válcové plochu u čelní plochy. To se týká zejména ploch, které budou následně broušeny.

U vyhrubovaných nebo vystružovaných slepých děr nebo u děr s vnitřním závitem je nezbytný určitý prostor pro ukládání třísek a pro nástroj.

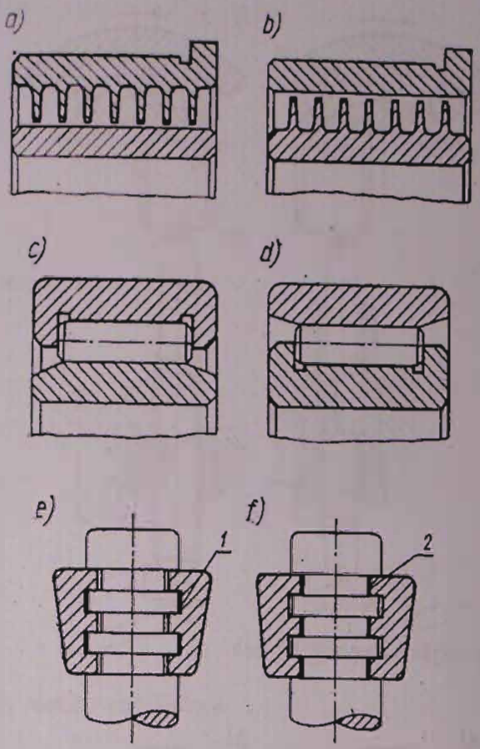
Při konstrukci závitů je nutné z hlediska pevnosti spoje navrhovat *závit o minimálně třech stoupáních.*

U hřídelů by se měly zvětšovat průměry postupně od konce součásti. Pokud tomu tak není, je vhodné navrhovat menší délky válcových ploch u menších průměrů mezi většími a uvažovat výrobu těchto ploch zapichovacím způsobem.

Při podélném soustružení hřídelů je nutné uvážit i *možnosti obrábění z hlediska tvaru nože a ustavení nože* vůči obrobku.

Tvar obrobku je důležité podřizovat požadavku *obrábět pokud možno celý obrobek na jedno upnutí.* Např. na obr. 4.6 [11] jsou dvě konstrukční řešení ozubeného kola, kdy věnec je oddělen částečně boční obráběnou drážkou, a to buď z jedné nebo ze dvou stran. U konstrukce b bude možné zhotovit polotovar pro ozubené kolo z tyče na jednu operaci.

Při konstruování podobných součástí při jejich výrobě na stejném automatickém stroji by se konstruktér měl snažit využívat *stejné konstrukční elementy na více součástek*, např. tvarové plochy z hlediska použití stejných nástrojů a dalšího příslušenství stroje.



Obr. 4.2 a až f Obrábění vnějších a vnitřních ploch

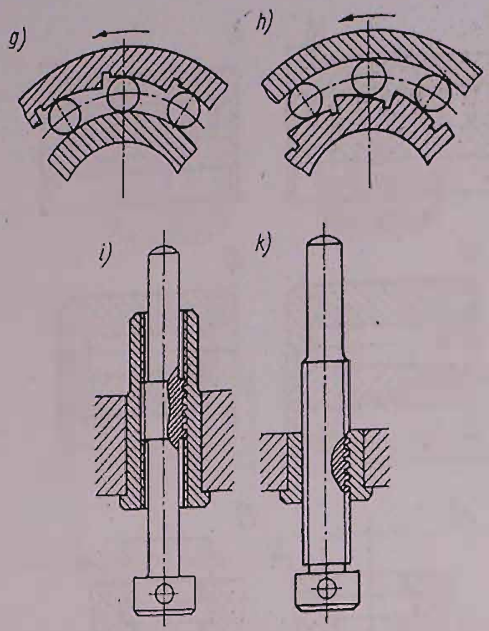
Pokud se součást bude obrábět *protahováním* nebo *protlačováním*, je třeba dodržovat též určité zásady.

Se zřetelem na pevnost nástroje se *vyhýbat extrémně malým průměrům protahovaných děr*. Dále, *omezit počet složitých tvarů*.

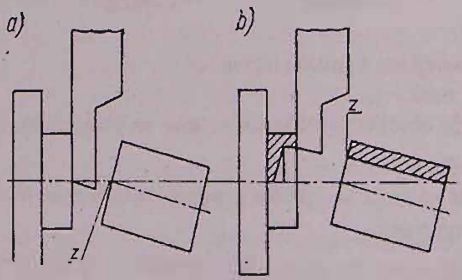
Se zřetelem na opotřebení nástroje *omezit délku obráběných ploch*. Též cena nástroje s jeho délkou progresivně roste. Protahovací, resp. protlačovací nástroj se konstruuje vždy pro určitou protahovanou délku, aby jeho délka, a tudíž cena, byla co nejmenší – viz např. obr. 4.7 [9]. Protahované plochy mají být odděleny od ostatních ploch. Vhodné je konstrukční řešení b, d.

Plochy obráběné vnějším nástrojem mají být v jedné rovině, se zřetelem na náklady na nástroj.

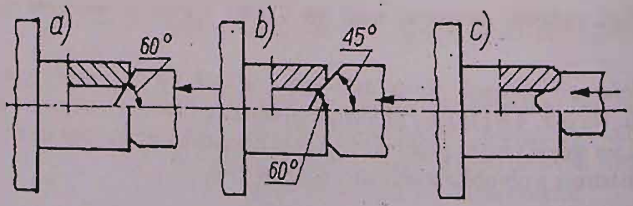
Relativní poloha obráběných ploch ovlivňuje pracnost výroby, např. zvětšením počtu operačních úseků. Na obr. 4.8 [1] jsou příklady konstrukce s nálitky ve stejné a v nestejné výši. Obrábění nálitků ve stejné úrovni probíhá v jednom operačním úseku, bez nutnosti přestavení relativní polohy nástroje a obrobku u nálitků v nestejné výši.



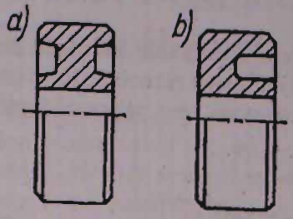
Obr. 4.2 g až k Obrábění vnějších a vnitřních ploch



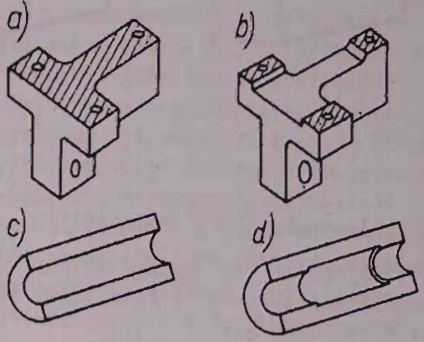
Obr. 4.4 Vznik otřepů



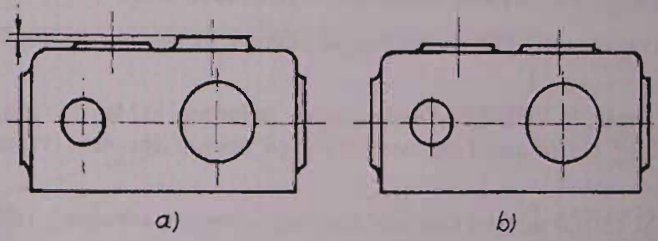
Obr. 4.5 Srážení hran



Obr. 4.6 Konstrukční řešení ozubeného kola



Obr. 4.7 Omezení délky protahovaných ploch



Obr. 4.8 Obrábění ploch ve stejné výši

U konstrukcí s nálitky je třeba uvážit možnost konstruovat *nálitky na co nejmenším počtu stran.*

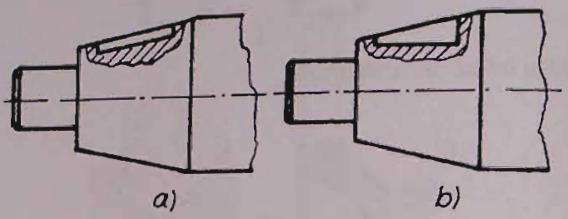
Dále, *nálitky by neměly být konstruovány u stran vzájemně šikmých.*

Z hlediska tvarů obráběných ploch koncipovat *jednoduché plochy*, které lze vytvořit jednoduchými nástroji a přímočarými relativními pohyby nástroje a obrobku, tedy pohyby, které lze vytvořit základními pohyby v rámci obráběcího stroje. Z hlediska vzájemné polohy obráběných ploch jsou plochy rovnoběžné nebo na sebe kolmé.

Při *soustružení všechny průměry by měly být centrické. Rovinné plochy by měly být konstruovány jako kolmé k ose obrobku.* V opačných případech je výroba komplikovanější, protože musí být použito speciální zařízení. Počet operací roste, rostou i výrobní náklady.

Drážky je třeba koncipovat vodorovně s osou součásti – viz obr 4.9 [1]. Jinak je nutné speciální upnutí.

Obrábění vnitřních ploch u nerotačních součástí (např. drážek) *by mělo být eliminováno* v co největší šíři. Zejména se to týká ploch různoběžných s osou součásti. Obrábění takových ploch vyžaduje speciální ustavení na stroji, resp. přípravek (upínací, resp. podkládací)



Obr. 4.9 Poloha drážky pro pero

Literatura

[1] Přikryl, Z. *Technologičnost konstrukce*, ČVUT, Praha, 1971

[2] Mádl, J. Concurrent Engineering and Quality Control. In *Proceedings of VI^th Meždunarodnaja naučno-techničeskaja konferencija.* Penza Rosija: Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 2000, p. 70 – 73. ISBN 5-8356-0044-5.

[3] Skarbinski, M., Skarbinski, J. *Technologičnost konstrukcie strojov.* ALFA Bratislava, 1982.

[4] Black, R.: *Design and Research.* Macmillan Press, London, 1966.

[5] Mádl, J., Kvasnička, I. Optimalizace řezných nástrojů. In: *Nástroje'99.* Brno: TU, 1999, s. 7-11.

[6] Madl, J., Cermak, J., Vrabec, M. Computational Techniques in Manufacturing Technology. In.: *First Int. Conf. On Advanced Engineering Design. Book of Abstracts.* Prague: CTU, 1999, p. 35-36.

[7] Helgoson, M. *CAD Integrated Control*, Linkoping University, Linkoping, 1998.

[8] Amrine, T.H, Ritchey, A.A., Moodie, C.L. *Manufacturing, Organization and Management.* Prentice-Hall, London, 1987

[9] Skarbinski, M. *Zasady konstruowania odlewanych ozešči maszyn.* Warszawa, 1968

[10] Skarbinski, M. *Konstrukcja odlewów.* Warszawa, 1957

[11] Borkowski, W. Uwagi otechnologicznosci konstrukcji przedmiotow obrabianych na automatach tokarskich. *Mechanik,* Nr 11, 1972

[12] Madl, J. Manufacturing Processes, Management Accounting and Controlling. *Manufacturing technology.* 2004, vol. 4, p. 37.39. ISSN 1213-2489

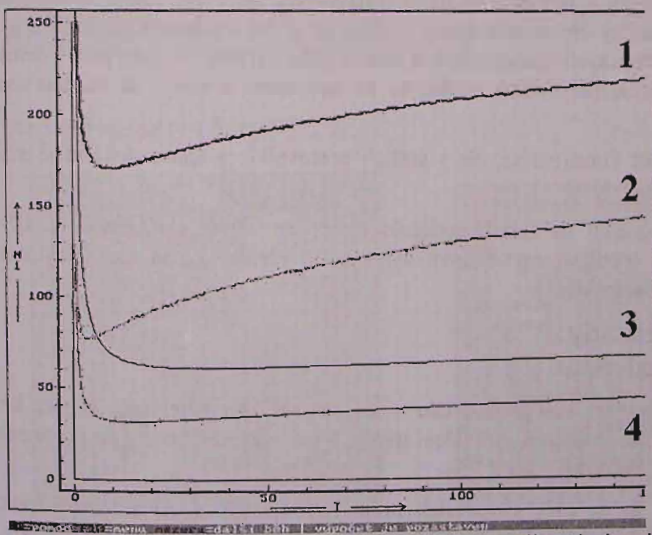
[13] Madl, J. Design and Machining Economics. In *Rozvoj technológie obrábania RTO 2000.* Košice, TU Faculty of Mechanical Engineering, 2000, s. CZ19-CZ20. ISBN 80-7099-505-X.

[14] Orlov, P.I. *Základy konštruovania.* ALFA, Bratislava, 1979

5 Technologičnost součástek obráběných na číslicově řízených obráběcích strojích

Základním znakem technologičnosti součástek obráběných na číslicově řízených obráběcích strojích je, že se neustále a velmi prudce vyvíjí tak, jak se vyvíjejí technologické možnosti nových konstrukcí obráběcích strojů, řídicích systémů a jejich software přicházející na trh. Vyvíjejí se pochopitelně i nástroje, řezné materiály, upínače, ale i technologie a další. Vše se snahou o zkrácení výrobních (cyklových) časů i zlepšení technických a ekonomických parametrů vyráběných dílců. Novinka ve vývoji jednoho výše uvedeného parametru je často reakcí na parametr jiný a ovlivní vývoj dalšího atd.

Konstruktér musí počítat s nutností používat optimalizaci řezných podmínek a tedy i nástrojů s co největší řezivostí a současně v co nejmenším sortimentu. Jde totiž nejenom o zkracování strojního času, ale zejména času vedlejšího, který je obvykle převažující a přitom bez vlivu na kvalitu obrobené plochy. Obr. 5.1 ukazuje průběh nákladové funkce v závislosti na trvanlivosti nástroje a to pro různou kombinaci typu stroje a nástrojového materiálu [4]. Z těchto průběhů pak jednoznačně vyplývá, že čím dražší použitý stroj je, tím je potřebnější optimalizovat řezné podmínky. Také je třeba použít materiál nástroje co možná s vyšší řezivostí a to při vyšší řezné rychlosti (viz průběh křivky 1 a 2 na obr.5.1.). Také je vidět z průběhů nákladových funkcí, že čím vyšší cena strojní hodiny je, tím větší efekt přinese použití nástrojových materiálů s vyšší řezivostí a naopak dražší bude obrábění s nástroji s menší řezivostí. To ovšem musí nutně vést k požadavku, na CNC obráběcích strojích hrubovat řeznou keramikou a dokončovat nejhůře slinutým karbidem, což ovšem vyžaduje dostatečnou tuhost soustavy SPID. Tu pak ovlivňuje i konstruktér tuhostí dílce a možností jeho dostatečně tuhého upnutí na obráběcím stroji.



Křivka 1: průběh funkce vypočítaný pro nástroj z RO nasazený na CNC obráběcím stroji.

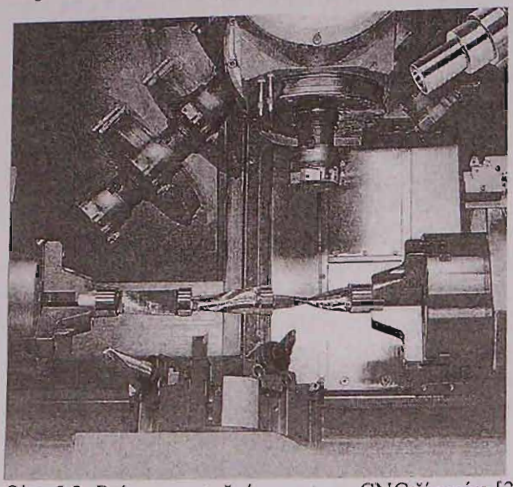
Křivka 2: průběh funkce vypočítaný pro nástroj z SK nasazený na CNC obráběcím stroji.

Křivka 3: průběh funkce vypočítaný pro nástroj z RO nasazený na konvenčním obráběcím stroji.

Křivka 4: průběh funkce vypočítaný pro nástroj z SK nasazený na konvenčním obráběcím stroji.

Obr. 5.1 Průběh nákladové funkce v závislosti na trvanlivosti nástroje

Avšak cílem technologičnosti konstrukce je vždy umožnit co nejefektivnější obrábění tj. **při dosažení předepsané kvality obrobek vyrobit v co nejkratším čase a s minimálními náklady.** Proto se snažíme obrobit všechny plochy s minimem upnutí a co možná v jedné operaci při minimálním čase cyklu tj. za optimálních řezných podmínek kontrolovaných i třeba adaptivním systémem a s minimem vedlejších časů. Tedy co nejjednodušší a nejrychlejší upnutí, ale dostatečně tuhé a obrábění s minimem nástrojů. Vedle ceny nástroje a jeho upínače hraje roli také čas pro jeho výměnu.



Obr. 5.2. Práce na rotačním centru s CNC řízením [3].

CNC řízené obráběcí stroje dovolují vykonávat operace a úkony, které na konvenčních strojích nebylo možno vůbec provést, nebo jen s obtížemi, nedostatečnou kvalitou a vysokými náklady viz např. obr. 5.2. To dává konstruktérovi možnost uplatnit řadu nových dosud nepoužívaných konstrukčně technologických prvků. Na druhé straně je požadavek na důsledné dodržování technologičnosti konstrukce daleko naléhavější vzhledem na bezobslužnost a cenu těchto systémů strojů.

Citujme z [2] „Schopnost navrhovat jednoduché konstrukce stroje nebo zařízení až po jednoduchost konstrukce součásti je do jisté míry dána osobností a povahou každého konstruktéra, jeho uměním realizovat své představy a nápady technicky co nejjednodušeji. Z části je to dáno talentem konstruktéra, z části to závisí na jeho praktických zkušenostech a stálém růstu kvalifikace, kam patří i rovněž sledování dobrých konstrukčních řešení, snaha na ně navazovat a nebýt za každou cenu původní."

Nejdražší je samolibost konstruktéra, ale i dalších pracovníků, a snaha dokázat si svou dokonalost.

Tato kapitola má upozornit na zásady technologičnosti součástek obráběných na CNC strojích a to především v oblasti malosériové výroby. Při členění zásad technologičnosti vyjdeme ze schématu, které uvádí [1].

5.1. Hlavní zásady

5.1.1. Volba materiálu

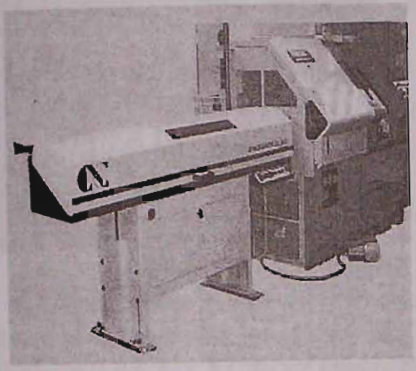
Klasickým požadavkem je volba materiálu s co nejlepší obrobitelností přispět k co nejlevnějšímu obrábění, ale i vhodnému utváření třísky, protože zásah obsluhy do pracovního cyklu stroje je nežádoucí a obvykle i nemožný.

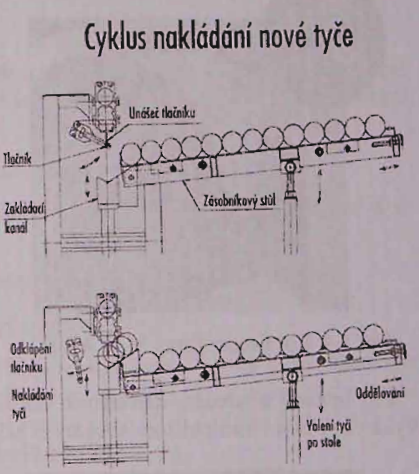
Je však třeba uvážit, že na CNC obráběcích strojích je vhodné využít obrábění řeznou keramikou, diamantem, KNB, technologii tvrdého obrábění, HSC a další.

5.1.2. Volba polotovaru

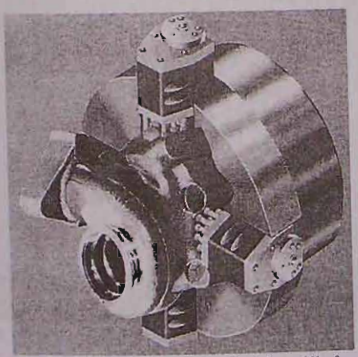
Zejména pro kusovou a malosériovou výrobu bývá upřednostňováno obrábění válcovaných nebo tažených polotovarů a to z důvodů automatizace výměny polotovar – obrobek. Je žádoucí předepisovat rovnaný materiál, což je definováno druhou číslicí za tečkou čísla rozměrové normy. K dispozici pro rotační stroje jsou různé nakladače tyčí nebo cutfeedery viz obr.5.3. a 5.4.

Velký význam má tvarová a rozměrová přesnost polotovarů pro obrábění na CNC strojích a to z ekonomického hlediska a zejména se stoupající sériovostí. Obrábění vzduchu je nežádoucí, ale na druhé straně přesnější polotovar je dražší. Automatizace nakládání polotovarů do pracovního prostoru stroje pak zcela jasně diktuje potřebnou přesnost polotovaru. Je třeba vyloučit upínání polotovarů za plochy s úkosem nebo kuželem. Lze využít lunetu na CNC řízeném suportu viz obr.5.7.

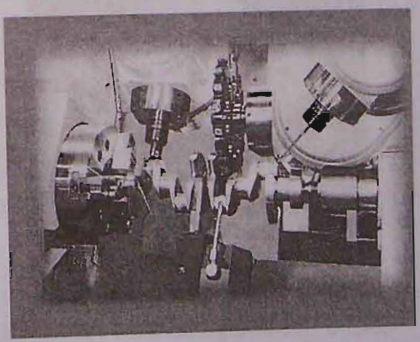




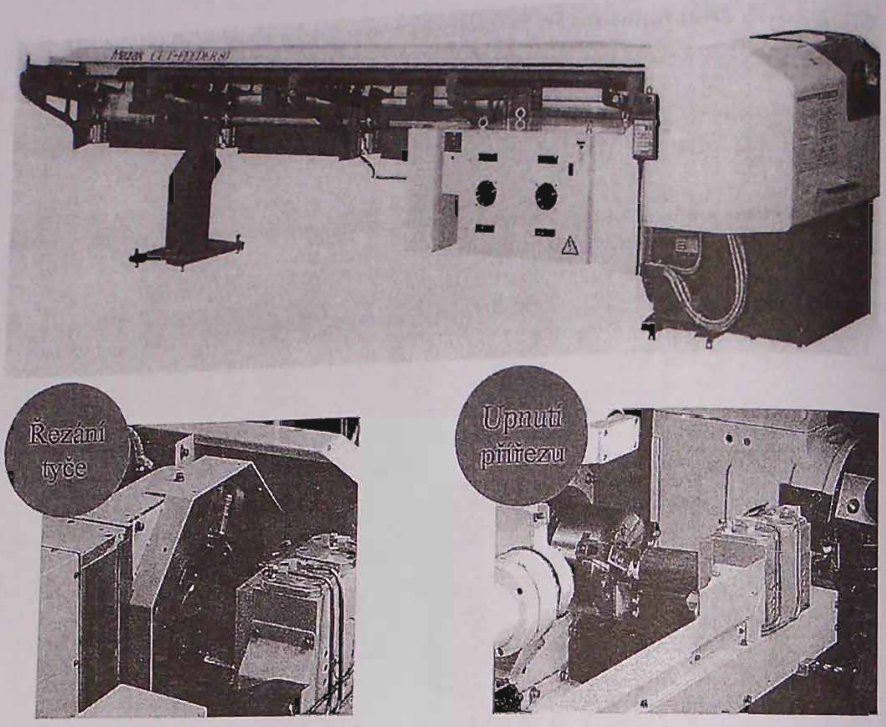
Obr.5.3. Podavač tyčí firmy CNCTECH



Obr.5.5. Upínání nerotačních dílců na rotačních centrech MAZAK [3]

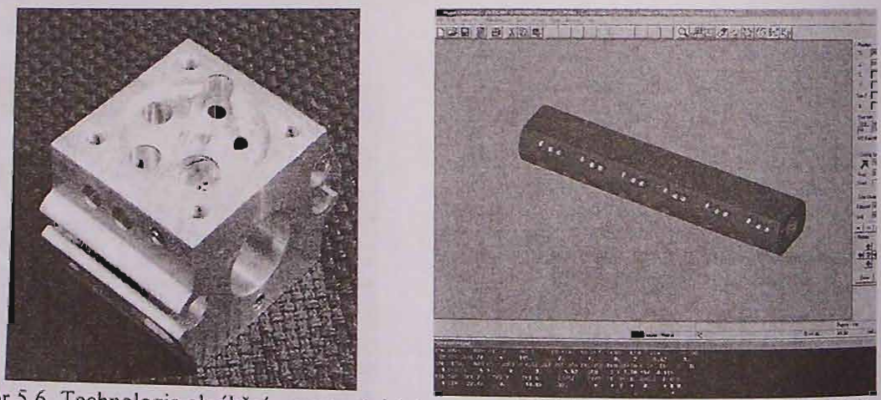


Obr.5.7. Práce s lunetou upnutou na spodním suportu rotačního centra MAZAK [3]

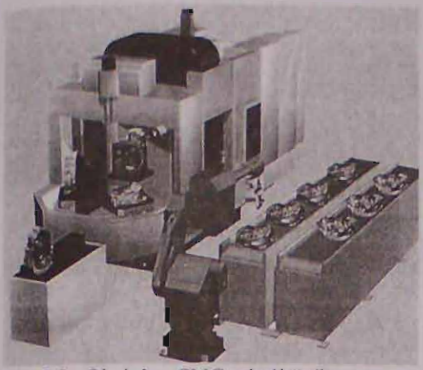


Obr.5.4. Cut Feeder firmy MAZAK [3]

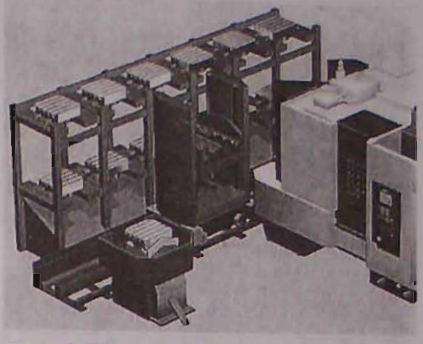
Pro upínaní a středění nerotačních obrobků jsou vyvíjeny specielní upínače viz obr.5.5. Využívány jsou i manipulátory a roboty či paletové systémy viz obr.5.8. a obr.5.9.



Obr.5.6. Technologie obrábění - soustružnické centrum INTEGREX e-410 firmy MAZAK [3]



Obr.5.8. Obsluha CNC obráběcího centra robotem [3]



Obr.5.9. Paletový systém [3]

Na CNC rotačních obráběcích centrech pak lze upnout i válcovaný polotovar ve formě kvádru například pro obrobení prototypu bloku motoru viz obr.5.43. nebo válce pro obrobení klikové hřídele obr.5.7.

Pro nerotační stroje je třeba řešit upínání na palety viz obr. 5.8. a 5.9.

Příklad správné volby polotovaru pro CNC obráběcí rotační centrum uvádí obr.5.6. Jedná se o karburátor do motorových pil.

Upnutí vždy musí být velmi tuhé, spolehlivé, jednoznačné a přesné.

5.1.3. Volba přesnosti a drsnosti obráběných ploch.

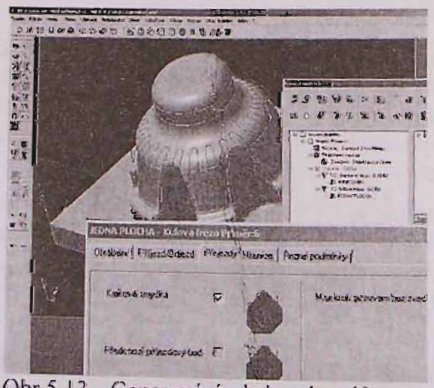
Přesnost moderních špičkových CNC obráběcích strojů je velmi vysoká a koresponduje s technologickou přesností jednotlivých výrobních metod a odpovídá zvolené technologii výroby. Velmi pozitivní je i její stálá opakovatelnost bez rušivých vlivů lidského faktoru a to i u strojů nižší cenové kategorie, které mívají pochopitelně menší přesnost.

Konstruktér musí zodpovědně předepisovat nejnižší vyhovující přesnost, a to jak z hlediska funkčního tak i technologického. Musí vědomě na součásti vytvářet plochy, které budou sloužit jako základny pro upínání, tvorbu NC programu a měření [1]. Součást musí splňovat podmínku snadného ustavení a tuhého upnutí na stroji, ale svou tuhostí i umožnit obrábění intenzivními řeznými podmínkami, které jsou nezbytné pro ekonomiku výroby.

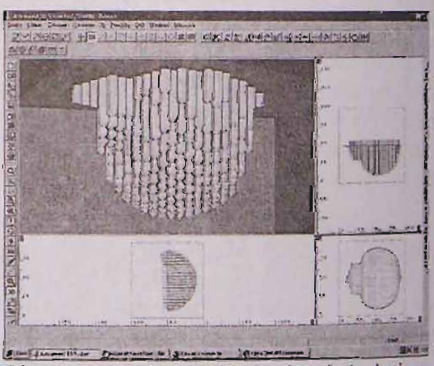
Na výslednou přesnost mají v těchto podmínkách vliv silové a tepelné deformace stroje, upínačů, obrobku i nástroje. Proto pro nejpřesnější práce se používají nejen monolitické nástroje z SK, ale i jejich upínače jsou vyrobeny z SK. Karbid wolframu má totiž více jak dvakrát vyšší modul pružnosti (E=450 až 650 GPa) než ocel (12 050.1 – E=211GPa). Používá se i termického upínání nástrojů viz obr. 5.10.

Byly vyvinuty i nové technologie například pro hrubování tvarových ploch a to s využitím speciálně zkonstruovaných nástrojů [6]. Takzvaná technologie zapichovacího frézování, která je použitelná i na starších NC strojích s pravoúhlým řízením. Obrábí se totiž pouze v ose „Z". Osy „X" a „Y" slouží pouze pro najíždění souřadnic viz obr.5.11 a 5.12. Na moderních CNC obráběcích strojích se používají i nově vyvinuté technologie obrábění vysokými rychlostmi (HSC-High Speed Cutting) viz obr. 5.13, suché obrábění, tvrdé obrábění atd.

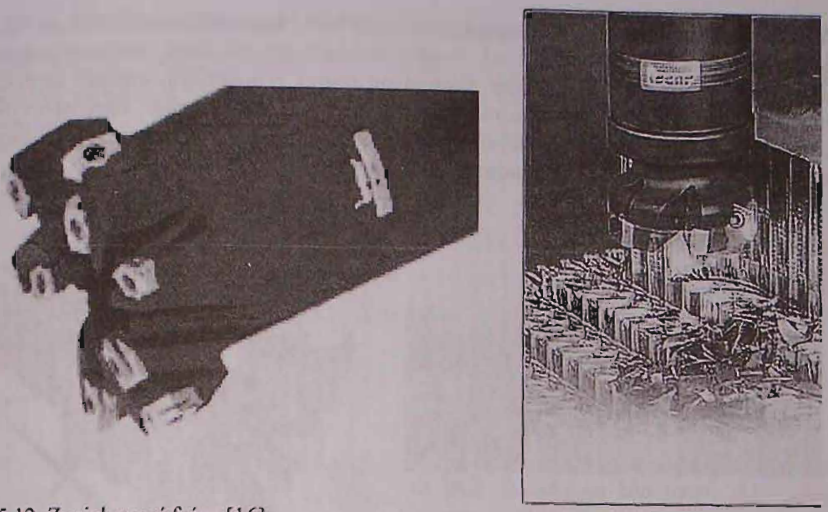
Obr.5.10. Technologie termického upínání nástrojů



Obr.5.13. Generování drah nástrojů pro HSC frézování - VISI CAD/CAM



Obr.5.11. Technologie hrubování dutiny zapichovacím frézováním – generování NC programu - AlphaCAM



Obr.5.12. Zapichovací fréza [16]

5.1.4. Technicko-organizační činitelé.

Využívání zásad technologické standardizace pro zefektivnění výroby, ale i konstrukce, velmi napomáhají dnešní systémy CAD-CAM viz dále. Využívaje přirozené vůle člověka po zjednodušení si práce umožňují tyto systémy parametrické definice tvarů součástek i jejich technologií výroby. Pochopitelně i možnost vyzkoušet virtuálně různá řešení a optimalizovat tak jak konstrukci tak i výrobní postupy s využitím soudobé výpočetní techniky přinášejí technický i ekonomický efekt. CADy i CAMy umožňují ukládat osvědčená řešení častěji používaných tvarů v parametrické podobě i ukládat odladěnou technologii jejich výroby pro opakované využití na podobném dílci.

A pochopitelně je třeba uvážit sériovost výroby. Tak jako u konvenční techniky i u CNC platí, že technologická konstrukce v podmínkách kusové výroby může být značně netechnologická v podmínkách výroby velkosériové.

Stejně tak NC program pro výrobu jedné složité dutiny zápustky, který vygenerujeme v CAMu raději ručně upravovat nebudeme a program pro soustružení většího počtu obrobků sestavíme ručně s využitím pevných cyklů nebo systému dílenského programování. Při mnohačetném opakování cyklu se zhodnotí každá ušetřená vteřina a ručně sestavený program bude časově kratší, protože přejezdy programátor napíše kratší než by je běžně vygeneroval CAM.

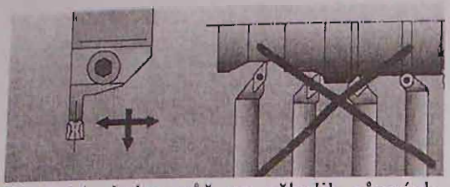
5.1.5. Celkové koncepční pojetí.

I tento faktor je pozitivně ovlivněn zejména výše zmíněnými možnostmi virtuálních modifikací a metodami virtuálního prototypigu, rapid prototypingu, ale i možnostmi virtuálního testování prototypů.

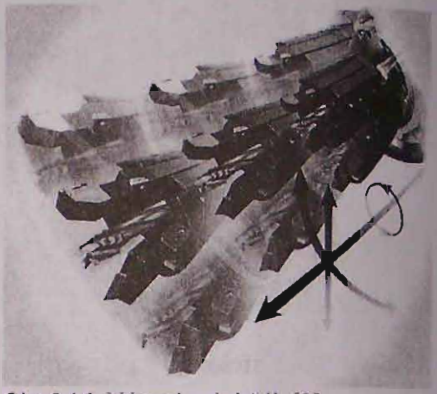
Virtuálně lze dnes simulovat i výrobu, montáž a servis produktu a tak konstrukci přizpůsobit i těmto hlediskům stěžejním pro ekonomický efekt.

Z hlediska obrábění na CNC strojích je velmi významná snaha o použití co nejmenšího počtu nástrojů nutných k obrobení daného dílce viz například obr .5.14. To přináší nejen úsporu

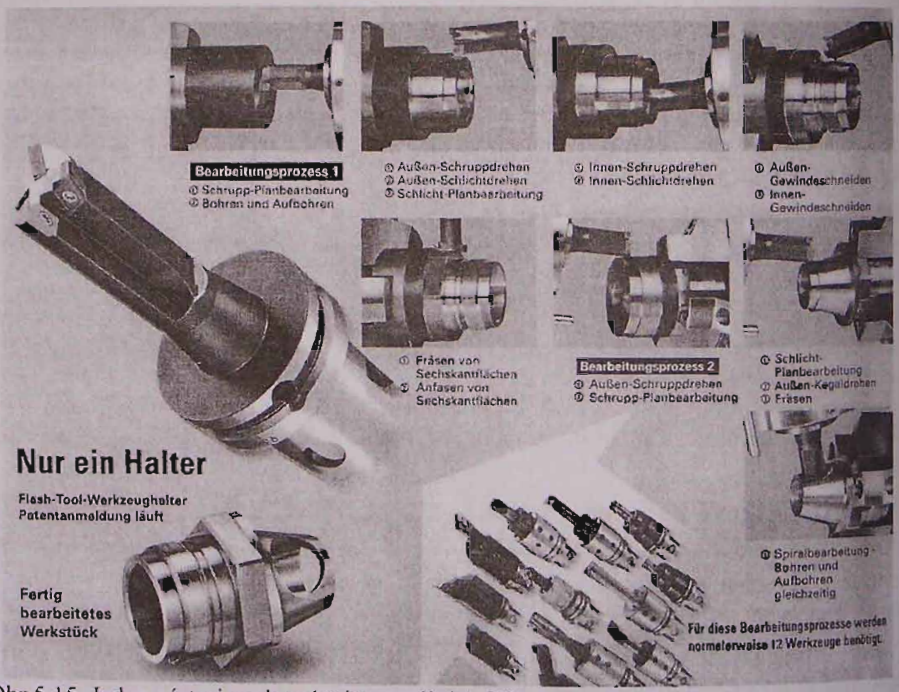
nákladů na nástroje, ale hlavně se zkracuje čas nutný na výměny nástrojů. Nástroj na obr. 5.15. soustruží, frézuje i vrtá a nahradí tak dvanáct komunálních, při čemž potřebuje pouze jeden nástrojový držák a zabere jen jednu nástrojovou pozici. S podobným efektem se používá i nástrojový držák na obr. 5.16. Tyto nástroje lze použít u rotačních strojů, které jsou vybavené víceosými suporty s poháněnými nástroji a s řízenou či indexovanou osou „C". Pochopitelně použití takovýchto systémů musí podporovat konstruktér.



Obr.5.14. Jeden nůž na několik různých úseků – zapichuje, soustruží vlevo i vpravo, sráží hrany [6]



Obr.5.16. Nástrojový držák [3]



Obr.5.15. Jeden nástroj za dvanáct komunálních [3]

5.1.6. Metoda vytvoření NC řídicího programu

Novým faktorem technologičnosti dílců obráběných na NC strojích je nutně **metoda vytvoření NC programu.** Tento faktor souvisí pak s dalším a to **použitý stroj, řídicí systém a jeho software.**

Důležitost kvalitního NC programu je pro výrobní techniku s číslicovým řízením stěžejní. I špičkový CNC stroj bude pracovat jen úměrně kvalitě NC programu. A průměrný NC stroj dokáže se správným NC programem neuvěřitelné.

NC program lze vytvořit ručně nebo strojně [1, 3, 4].

5.1.6.1. Ruční programování

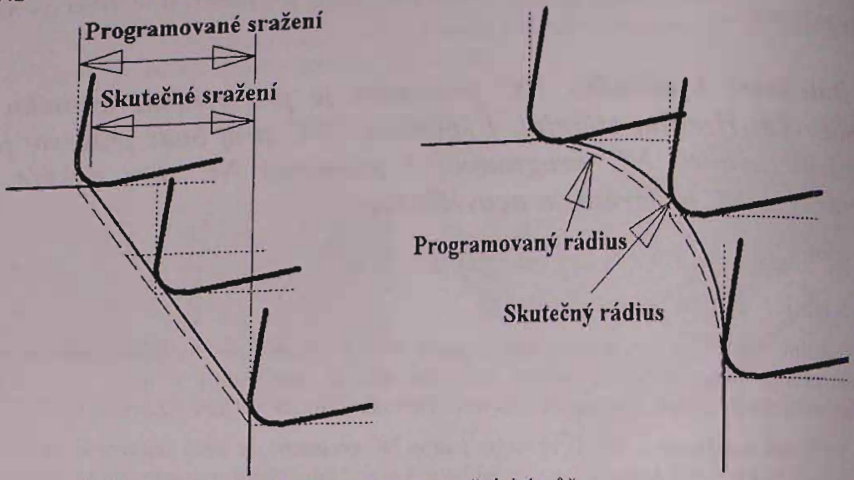
Ručním způsobem rozumíme přímé psaní NC programu dnes v nějakém jednoduchém univerzálním nebo specializovaném textovém editoru, který uloží v ASCI kódu soubor alfanumerických znaků ve formátu ISO resp. DIN nebo HEIDENHAIN viz obr.5.21. a 5.22.

V případě používání ručního způsobu tvorby NC programu, je tento sestavován na základě informací získaných z klasického výrobního výkresu, i když třeba vygenerovaného některým z CADů. Tj. konstruktér se musí snažit okótovat souřadnice všech koncových bodů prvků obrysu ať už pravoúhlých nebo v polárních souřadnicích. Pak lze NC program vytvořit přímo. Tvar dílce nesmí obsahovat špatně definované tvary, i když v některých případech si technolog-programátor dokáže pomoci viz obr. 5.21. Konstruktér by měl při kótování zohlednit i způsob programování (přírůstkové či absolutní). Měl by respektovat možný způsob zadávání rádiusů (poloměrem či interpolačními parametry). Musí pečlivě napočítat všechny hodnoty kót a jejich vazby a to minimálně na tři desetinná místa a eventuálně se zaokrouhlením na místa dvě. Řada moderních řídicích systémů však počítá s přesností ještě vyšší, což je třeba pak respektovat. Uvedením kóty na tři desetinná místa dává technologovi a kontrolorovi najevo nutnost tuto míru kontrolovat. Je také vhodné seznámit se s technologickými možnostmi stroje (počet řízených os, nabídka pevných cyklů řídicího systému, nástrojové vybavení....) a podporovat možnost využití parametrického programování.

Ruční programování CNC obráběcích strojů používáme obvykle při soustružení ve 2D a pak také při programování strojů pracujících ve velkosériové výrobě. Pro programování CNC strojů ,a zvláště u přírůstkově zadávaných souřadnic, tento způsob nelze doporučit pro velkou pracnost a možnost výskytu výpočetních chyb. To proto, že je třeba ručně napočítávat všechny uzlové body (tj. body ekvidistanty dráhy nástroje k obrysu obráběné plochy ve kterých se mění směr, smysl nebo velikost rychlosti pohybu) a to je velmi i časově náročné. V případě CNC strojů tuto práci ulehčuje využití pevných cyklů, možnost větvit program, programovat skoky v něm a NC program, podprogram či jejich části zadat parametricky. Při frézování a to i ve 2,5D, kdy se nástroj pohybuje ve dvou osách současně a ve třetí ose, obvykle Z, po krocích, situaci ztěžuje nutnost vypočítávat uzlové body ekvidistanty ke frézovanému tvaru posunuté o poloměr nástroje. Při vedení soustružnického nože se takto vznikající chyby obvykle řeší úpravou korekčních hodnot nástroje viz obr. 5.17. Problémy však vznikají při srážení hran a obrábění rádiusů. Tyto je tedy nevhodné tolerovat.

Při frézování pak dokáže pomoci software řídicího systému za předpokladu, že disponuje tzv. souvislými korekcemi. To znamená, že ekvidistantu počítá sám při zadání přípravné funkce

G40 - ZRUŠENÍ KOREKCE NA PRŮMĚR NÁSTROJE
G41 - KOREKCE ZPRAVA
G42 - KOREKCE ZLEVA.

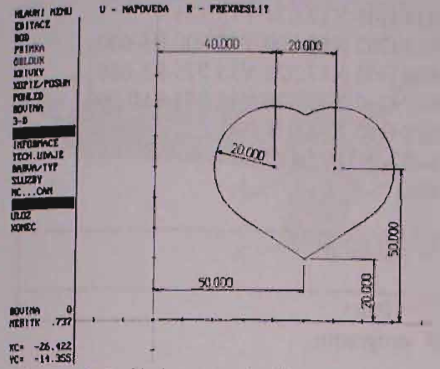


Obr. 5.17. Ekvidistanta obráběného tvaru pro soustružnický nůž

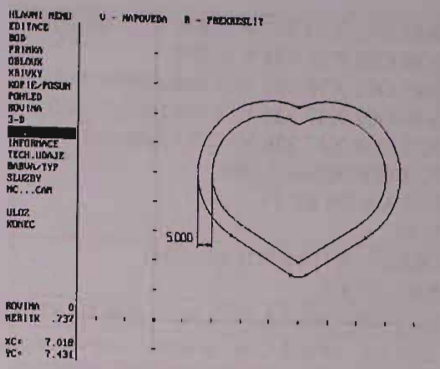
Pro ilustraci náročností výpočtů může posloužit NC program pro objetí dráhy nástroje ve tvaru srdíčka sestavený pro různé CNC řídicí systémy respektive jejich řídicí software firmy MIKRONEX.

Zadání tvaru dráhy uvádí obr. 5.18. Na obrázku 5.19. je definována dráha středu nástroje - ekvidistanta k obrysu, jejíž uzlové body je třeba vypočítat a zadávat u systémů s pouze pravoúhlými korekcemi. Na obr. 5.20. je pak obrazovka editace NC programu 8 bitového CNC řídicího systému. Tabulka 5.1. a 5.2. pak uvádí zápis NC programu 16 bitového CNC řídicího systému s různými verzemi řídicího software.

Různé verze řídicího software obvykle disponují i různými pevnými cykly a jejich "komfortem". tj. počtem zadávaných povinných či nepovinných parametrů. Cykly se mohou pochopitelně lišit i zpracováním technologie obsluhovaného úseku obrábění. To často souvisí i s kvalitou řídicího systému na kterém běží, a stejně tak i s počtem jeho otevřených (zaplacených) opcí.



Obr. 5.18.Zadání tvaru obrobku



Obr. 5.19.Vygenerování ekvidistanty

```
EDITOR pro FC 16 CNC          NC-Program: NCPROG_0\SRDCE.FCN

N 4     M 6     D 10                    Z 0     T 1
N 8     M 3                                     S 200
N 12    M 99                                            F 200
N 16    G 0     X 47.326    Y 15.775    Z 50
N 20    G 0     X 47.326    Y 15.775    Z 1
N 24    G 1     X 47.326    Y 15.775    Z 0             F 0
N 28    G 1     X 26.629    Y 28.876    Z 0             F 0
N 32    G 2     X 15        Y 50        Z 0     R 25    F 0
N 36    G 2     X 40        Y 75        Z 0     R 25    F 0
N 40    G 2     X 85        Y 50        Z 0     R 25    F 0
N 44    G 2     X 73.371    Y 28.876    Z 0     R 25    F 0
N 48    G 1     X 52.674    Y 15.775    Z 0             F 0
N 52    G 2     X 50        Y 15        Z 0     R 5     F 0
N 56    G 2     X 47.326    Y 15.775    Z 0     R 5     F 0
N 1     G 29     >musi se prepsat radk<
N

ESC-Ret F1-Help F2-Save G/M-Fce F4-Blok F8-List F9-Simulace F10-Zp
```

Obr. 5.20. 8BIT CNC systémy - obrazovka editace NC programu

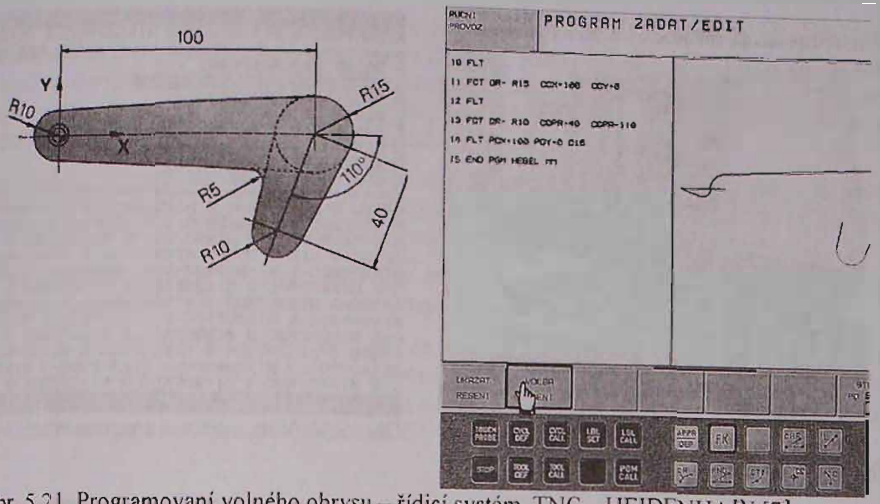
; srdce EKV. D=10mm IJK	; srdce EKV. D=10mm R
N1 M6 D10 Z0 T1	N1 M6 D10 Z0 T1
N2 M3 S100	N2 M3 S100
N3 M99 F300	N3 M99 F300
N4 G00 X47.326 Y15.775	N4 G00 X47.326 Y15.775
N5 G00 X47.326 Y15.775 Z1.000	N5 G00 X47.326 Y15.775 Z1.000
N6 G01 X47.326 Y15.775 Z.000	N6 G01 X47.326 Y15.775 Z.000
N7 G01 X26.629 Y28.876	N7 G01 X26.629 Y28.876
N8 G02 X15.000 Y50.000 I13.371 J21.124	N8 G02 X15.000 Y50.000 R25.000
N9 G02 X40.000 Y75.000 I25.000 J.000	N9 G02 X40.000 Y75.000 R25.000
N10 G02 X50.000 Y72.913 I.000 J-25.000	N10 G02 X50.000 Y72.913 R25.000
N11 G02 X60.000 Y75.000 I10.000 J-22.913	N11 G02 X60.000 Y75.000 R25.000
	N12 G02 X85.000 Y50.000 R25.000
N12 G02 X85.000 Y50.000 I.000 J-25.000	N13 G02 X73.371 Y28.876 R25.000

N13 G02 X73.371 Y28.876 I-25.000 J.000 N14 G01 X52.674 Y15.775 N15 G02 X50.000 Y15.000 I-2.674 J4.225 N16 G02 X47.326 Y15.775 I.000 J5.000 N17 G00 X47.326 Y15.775 Z50.000 N18 G00 X.000 Y.000 N19 M6 D5 Z0 T1 M30	N14 G01 X52.674 Y15.775 N15 G02 X50.000 Y15.000 R5.000 N16 G02 X47.326 Y15.775 R5.000 N17 G00 X47.326 Y15.775 Z50.000 N18 G00 X.000 Y.000 N19 M6 D5 Z0 T1 M30
G02/03 - INTERPOLAČNÍMI PARAMETRY	RÁDIUSEM
EKVIDISTANTA PRO PRŮMĚR NÁSTROJE D=10mm	

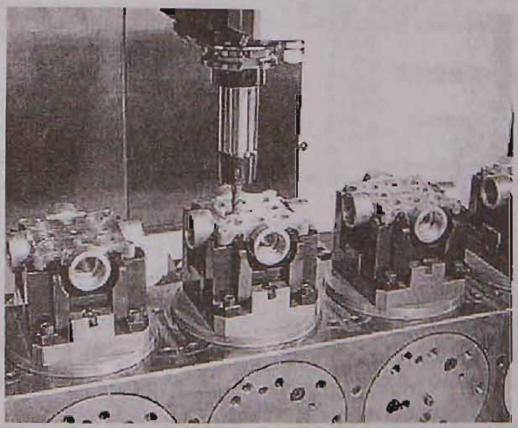
Tab. 5.1. 16BIT CNC systémy – vývoj zápisu NC programu

; srdce R korekce zprava N1 M6 T1 N2 M3 S100 N3 G41 M40 F300 N4 G00 X50.000 Y20.000 N5 G00 X50.000 Y20.000 Z1.000 N6 G01 X50.000 Y20.000 Z.000 N7 G01 X29.303 Y33.101 N8 G02 X20.000 Y50.000 R20.000 N9 G02 X40.000 Y70.000 R20.000 N10 G02 X50.000 Y67.321 R20.000 N11 G02 X60.000 Y70.000 R20.000 N12 G02 X80.000 Y50.000 R20.000 N13 G02 X70.697 Y33.101 R20.000 N14 G01 X50.000 Y20.000 N15 G00 X50.000 Y20.000 Z50.000 N16 G00 X.000 Y.000 N17 M6 T1 M30	;korekce zprava, bez N, s R nebo IJK T2 M3 S200 M40 g41f200 G00 X50.000 Y20.000 G00 Z1.000 G01 Z.000 N70 X29.303 Y33.101 G02 X50.000 Y67.321 R20.000 g02 X70.697 Y33.101 i10.697 j16.899 G01 X50.000 Y20.000 G00 Z50.000 G00 X.000 Y.000 T2
KOREKCE ZPRAVA	DNES MOŽNÝ ZÁPIS

Tab. 5.2. 16BIT CNC systémy –zápis NC programu s využitím souvislých korekcí



Obr. 5.21. Programovaní volného obrysu – řídicí systém TNC – HEIDENHAIN [7]



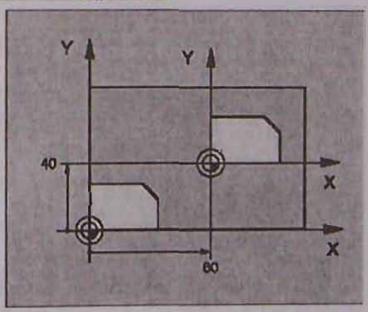
POSUNUTÍ NULOVÉHO BODU (7)

- CYCL DEF: zvolit cyklus 7 NULOVÝ BOD
- Zadat souřadnice nového nulového bodu nebo číslo nulového bodu z tabulky nulových bodů

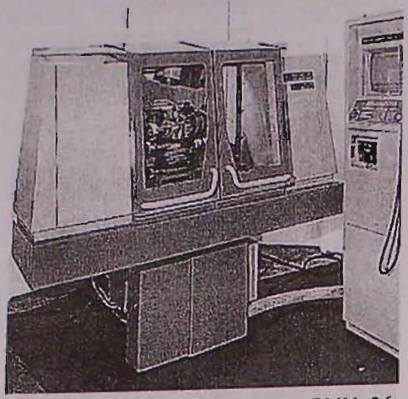
Zrušení posunutí nulového bodu: opětná definice cyklu se zadáním nulových hodnot

```
9 CALL LBL1                    Vyvolání podprogramu
10 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
11 CYCL DEF 7.1 X+60
12 CYCL DEF 7.2 Y+40
13 CALL LBL1                   Vyvolání podprogramu
```

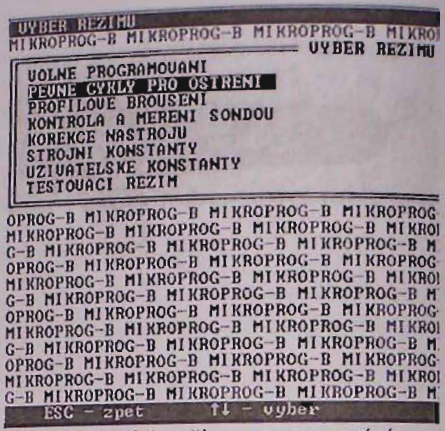
Posunutí nulového bodu provést před jinými přepočty souřadnic !



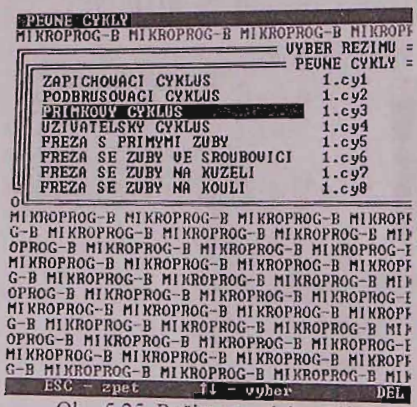
Obr. 5.22. Definice souřadných systémů a jejich posun či natočení [7]



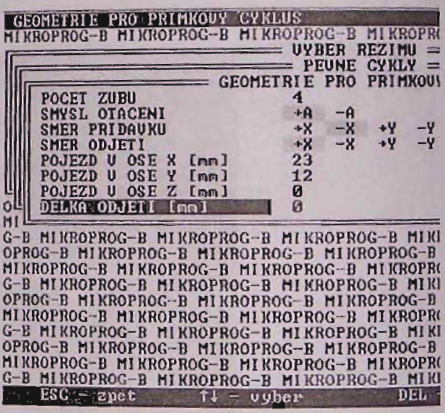
Obr. 5.23. Nástrojařská bruska BNU 26 CNC



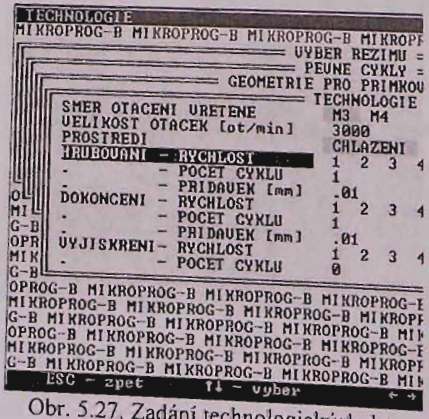
Obr. 5.24. Výběr režimu programování



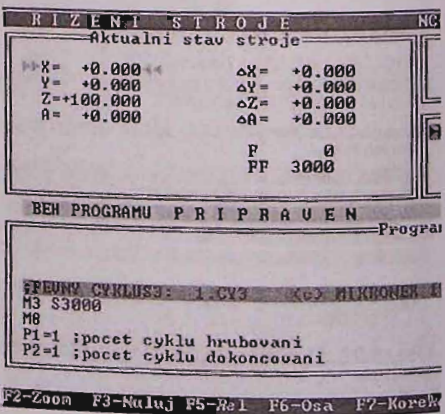
Obr. 5.25. Režim pevných cyklů



Obr. 5.26. Zadání geometrických dat



Obr. 5.27. Zadání technologických dat



Obr. 5.28. Režim řízení stroje

Pochopitelně problémy působí, a mnohdy neřešitelné, nevhodné či neúplné kótování profilu, pakliže model dráhy je přenášen papírovým výkresem. Řídicí systémy HEIDENHAIN dokáží pomoci technologií „programování volného obrysu". Obsluha zadá pouze hodnoty, které jsou uvedeny na náčrtku. Řídicí systém TNC dopočítá chybějící body obrysu. Vyskytne-li se možnost více řešení TNC zobrazí návrh a obsluha zvolí to správné viz obr. 5.21.

Důležitá je i eventuální možnost definovat si více počátečních bodů souřadného systému či dokonce jeho natočení. Tyto funkce nejen zjednodušují upínání polotovarů, ale mohou být užitečné i při ručním vytváření NC programu viz obr. 5.22.

Do kategorie ručního programování lze zařadit i **programování s využitím menu** tj. doplnění parametrů do předem parametricky napsaného NC programu.

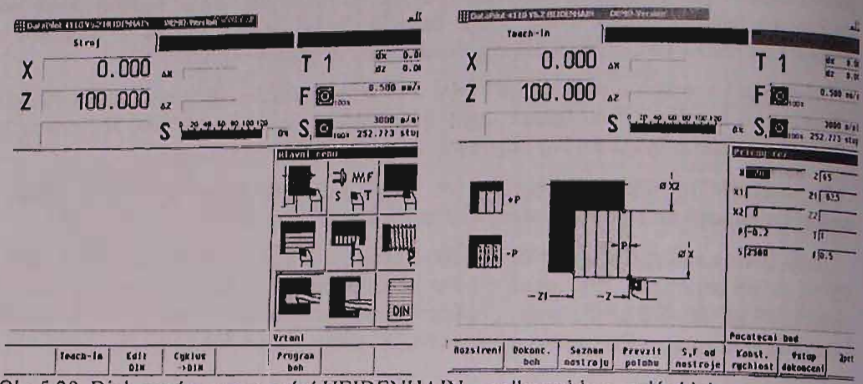
Tento způsob se využívá v případech, kdy se obrábí relativně malý sortiment ploch, které se liší jen svými parametry. Příkladem je nástrojařská bruska BNU 26 CNC viz obr. 5.23. Na obrázcích 5.24. až 5.28. je dokumentován postup zadávání parametrů geometrie a technologie, které slouží pro zpracování v parametrickém NC programu viz tab. 5.3.

```
;PEVNY CYKLUS3: 1.CY3   (c) MIKRONEX
M3 S3000
M8
P1=1 ;pocet cyklu hrubovani
P2=1 ;pocet cyklu dokoncovani
P3=0 ;pocet cyklu vyjiskreni
P4=2900 ;rychlost hrubovani
P5=1000 ;rychlost dokonceni
P6=1000 ;rychlost vyjiskreni
P7=4 ;pocet zubu
P8=90 ;uhel deleni
P10=-.01 ;pridavek X hrubovani
P11=0 ;pridavek Y hrubovani
P12=0 ;pridavek Z hrubovani
P13=0 ;pridavek A hrubovani
P14=-.01 ;pridavek X dokonceni
P15=0 ;pridavek Y dokonceni
P16=0 ;pridavek Z dokonceni
P17=0 ;pridavek A dokonceni
P20=23 ;delka v ose X
P21=12 ;delka v ose Y
P22=0 ;delka v ose Z
P23=0 ;uhel otoceni v A
P24=0 ;odjeti v ose X
P25=0 ;odjeti v ose Y
P26=0 ;odjeti v ose Z
P27=0 ;uhel otoceni v odjeti
P30=-P20
P31=-P21
P32=-P22
P33=-P23
P34=-P24
P35=-P25
P36=-P26
P37=-P27
N20   ;G0    Z-30          ;prijeti
P40=P4
P41=P10
P42=P11
P43=P12
P44=P13
N 30  G26   L100   HP1     ;hrubovani
P40=P5
P41=P14
P42=P15
P43=P16
P44=P17
N 40  G26   L100   HP2     ;dokonceni
P40=P6
P41=0
P42=0
P43=0
P44=0
N 50  G26   L100   HP3     ;vyjiskreni
N 60  ;G91 G0  Z30  ;ABS
N 70  M30 ;M99             ;konec
```

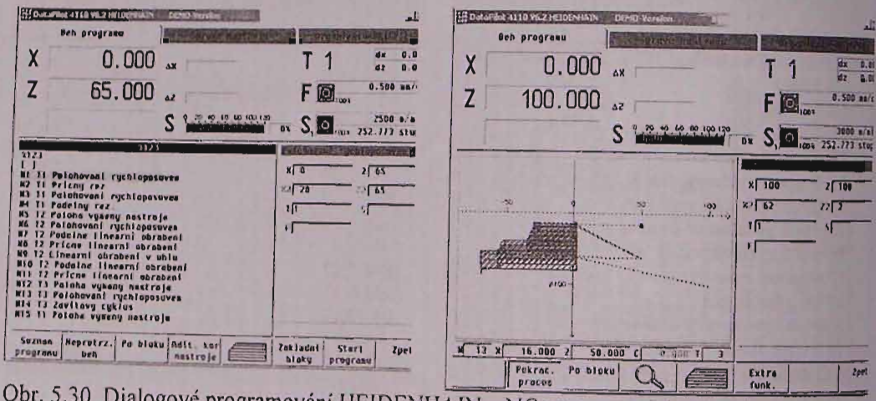
Tab.5.3. Parametricky napsaný program pro pevný cyklus 1.CY3 – část [8]

Některé řídicí systémy (HEIDENHAIN) umožňují **sestavení programu v dialogu** viz obr. 5.29. a 5.30. Programátor vyplňuje postupně dialogová okna dle požadavků operační návodky a systém sám generuje NC program. Ten je pak možno konvertovat do ISO nebo DIN

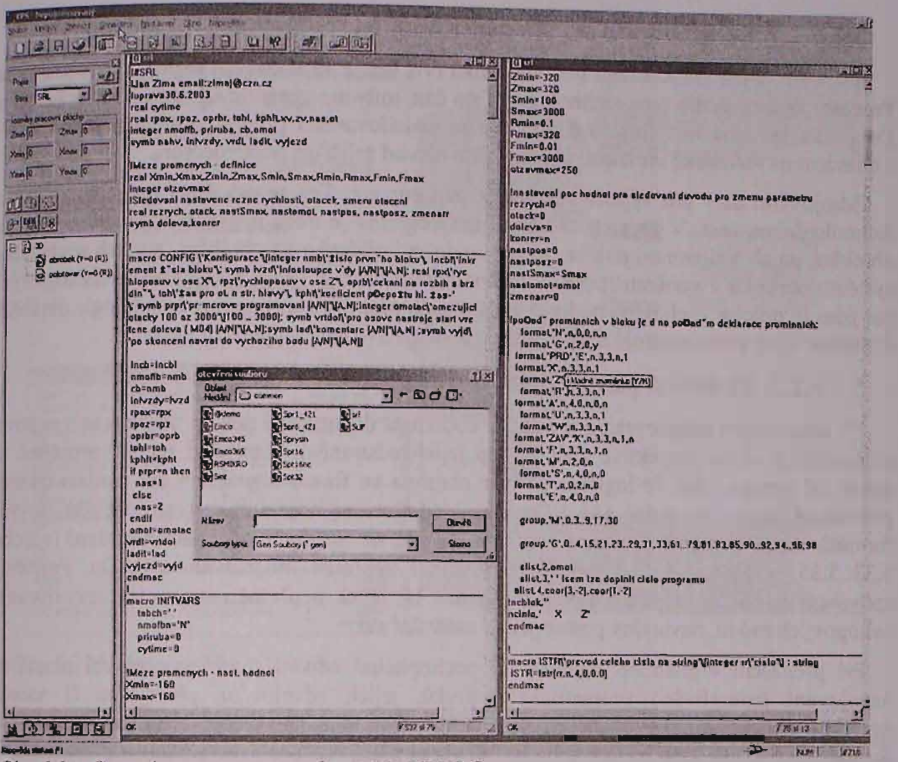
normalizovaného tvaru. Tento systém usnadňuje práci programátorovi, požadavky na práci konstruktéra z pohledu ručního programování se však nemění.



Obr.5.29. Dialogové programování HEIDENHAIN – volba cyklu a zadání jeho parametrů



Obr. 5.30. Dialogové programování HEIDENHAIN – NC program a jeho simulace



Obr. 5.31. Generátor postprocesorů – KOVOPROG

5.1.6.2. Strojní programování

Řídicí systémy současných obráběcích strojů ovládají až několik desítek os (přímočarých nebo rotačních pohybů) a to i současně. Instrukce pro všechny tyto dráhy pohybů jsou zadávány NC programem. Ten je sestaven, jak již bylo uvedeno, na základě výpočtů souřadnic uzlových bodů – bodů v nichž se mění směr, smysl nebo rychlost pohybu. Pro nezbytnou přesnost těchto výpočtů a v mnoha případech i jejich složitost, ale také pro jejich objem, je nanejvýš vhodné svěřit je výpočetní technice, tedy dnes obvykle PC. K těmto výpočtům slouží software pro generování NC programů – CAM (Computer Aided Manufacturing). Těchto CAMů je dnes na trhu široký sortiment a není obvykle lehké určit, který bude pro tu kterou firmu nejlepší. Rozdíly mezi nimi jsou totiž i v jejich technologických možnostech. Je pochopitelně třeba, aby zvolený software disponoval všemi potřebnými rutinami pro užívané strategie vedení nástrojů, aby měl vhodný postprocesor či postprocesory pro uvažované stroje. Je vhodné jsou-li tyto postprosesory pro uživatele otevřené, tj. umožní-li uživateli jejich úpravy tak, aby generoval NC programy i dle formálních zvyklostí dílny viz obr. 5.31. Při volbě CAMu však nelze podcenit ani jeho komunikaci s CADy používanými pro generování digitálních modelů obrobků neboť zadání „papírovým" výkresem je dnes stále více na ústupu.

Zásady pro použití CAMů a jejich ovládání je v podstatě podobné a lze tudíž sestavit metodiku nejvhodnějšího postupu při generování NC programů s jejich využitím.

5.1.6.2.1. Skladba software pro generování NC programu

Software CAM lze rozčlenit do dvou celků (viz obr. 5.32.), kterých je pro práci obou třeba. Procesor volíme podle typu technologie. Tato část software generuje CL data (Cutter Location Data). Ta je třeba transformovat do formátu požadovaného řídicím systémem stroje a to s ohledem na technické možnosti stroje. Tento převod zajišťuje postprocesor.

Zdrojovými daty pro výpočty CAMu je partprogram. Ten se pak člení na geometrickou a technologickou část. V geometrické části partprogramu je třeba popsat tvar polotovaru a tvar obrobku, jejich vzájemnou polohu, to jest rozložení přídavku na obrábění a vztah souřadného systému obrobku a systému stroje. V technologické části je vedle základních technologických dat jako je poloha výchozího bodu, roviny výměn nástrojů atd. popsána technologie obrábění. Postupně vždy volba nástroje a jeho práce, tak jak je uvedeno v operační návodce.

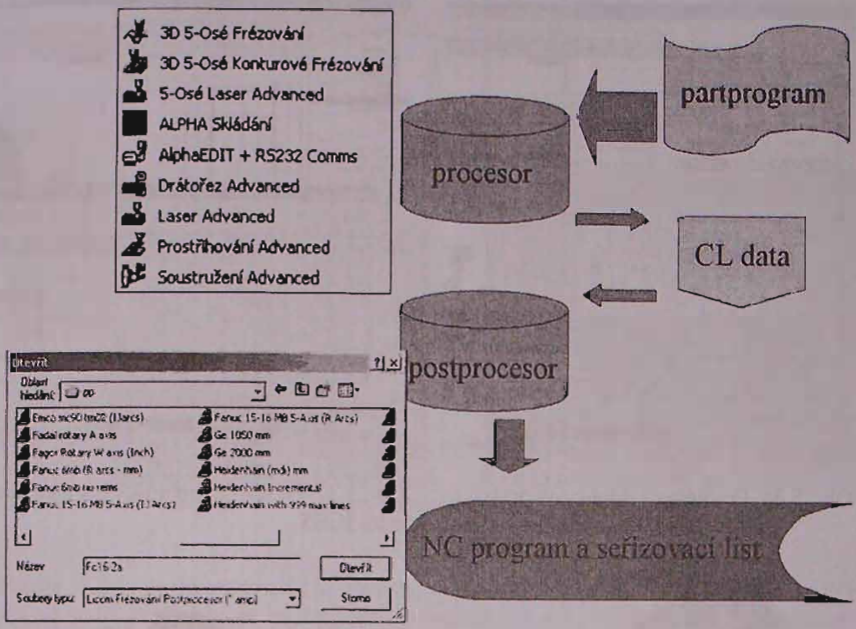
5.1.6.2.2. Sestavení partprogramu

Při sestavování partprogramu je vhodné dodržovat doporučený postup. Je třeba se vyvarovat nejčastějších chyb, respektive znát postup jejich odstranění. Například mnoho problémů se odvíjí od přenosu dat. Je logické, že tvar obrobku ve formě digitálních dat modelu chceme převzít z CADu (Computer Aided Design). Nedostatečná normalizace tvaru dat přenosových formátů má za následek, že pokud se přenos povede, nemusí být model načten správně (viz obr. 5.33.,5.35. a 5.36.). Potíže ovšem způsobuje i nepřesné modelování v CADu. Problémy způsobuje například duplicita prvků viz obr. 5.34, jejich nepřesné navazování nevyužíváním úchopových módů, nevhodný postup jejich zadávání atd.

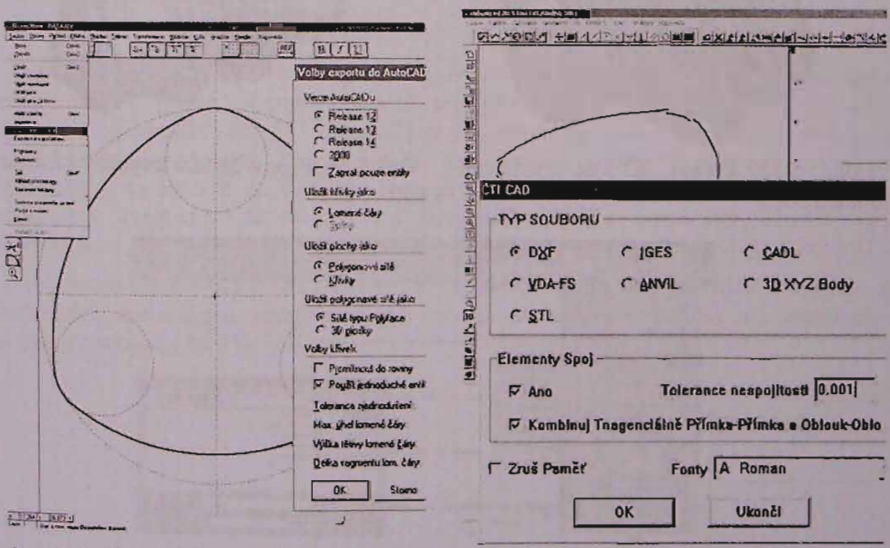
Při přenášení digitálního modelu 2D pochopitelně největší problémy působí nesprávné napojování jednotlivých geometrických prvků, jejich zdvojování, překrývaní či naopak nepřesné napojování, nevhodné řazení, ale i nevhodně nastavené tolerance přenosových formátů (pro 2D nejčastěji DXF nebo IGES) viz obr.5.33.

Při přenášení digitálního modelu 3D jsou nejčastější problémy se špatně napojenými plochami. Stěžejní je ovšem i volba přenosového formátu a jeho nastavení viz obr. 5.35., 5.36. a 5.37. [25].

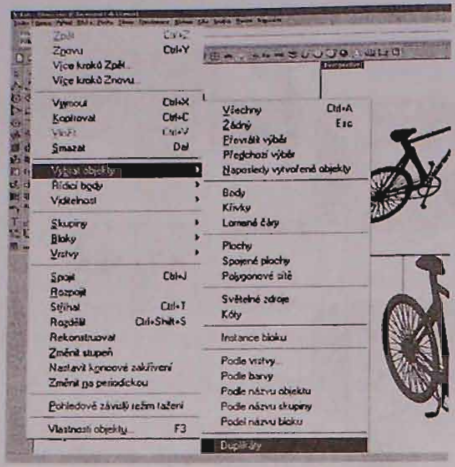
CAM je vhodné využít i pro optimalizaci obrábění. Tento software umožňuje simulovat obrábění dle CL dat a také verifikovat obrobenou plochu. Je proto vhodné porovnávat rozložení a velikost chyb obrobené plochy s potřebným časem pro obrábění a určit tak nejekonomičtější řešení viz obr.5.38. Pro tuto optimalizaci je velmi důležitá nabídka CAMu v oblasti strategie vedení drah nástroje na čisto a počet ovlivnitelných technologických parametrů. Je žádoucí umožní-li software upravit tyto technologické rutiny, nebo dokonce napsat nové, na základě technologických možností a zvyklostí uživatele. Vývoj technologií obrábění je dnes velmi rychlý a jsou i software, které umožňují uživateli reagovat bez nutnosti čekat na vývoj CAMu.



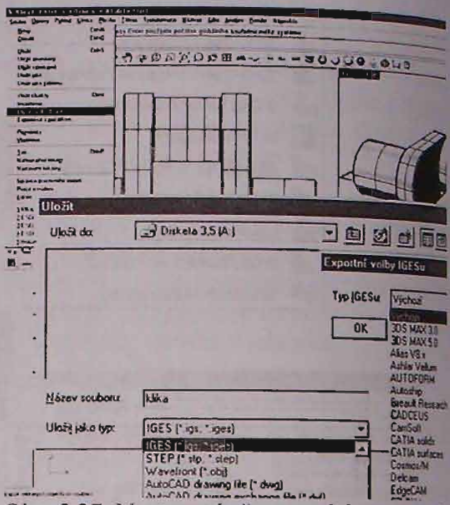
Obr. 5.32.Skladba CAM systémů



Obr. 5.33. Nevhodně zvolené tolerance pro přenos dat

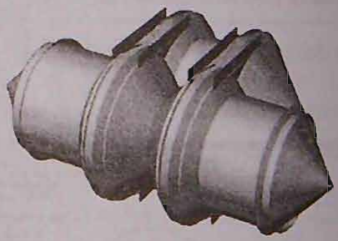


Obr. 5.34. Problémy s duplicitou prvků

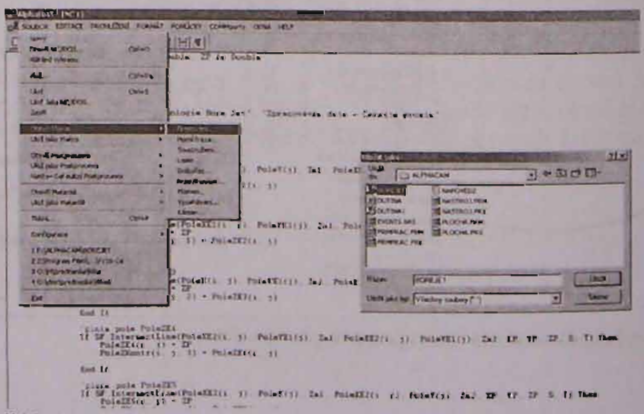


Obr. 5.37. Nastavení přenosových parametrů formátu IGES

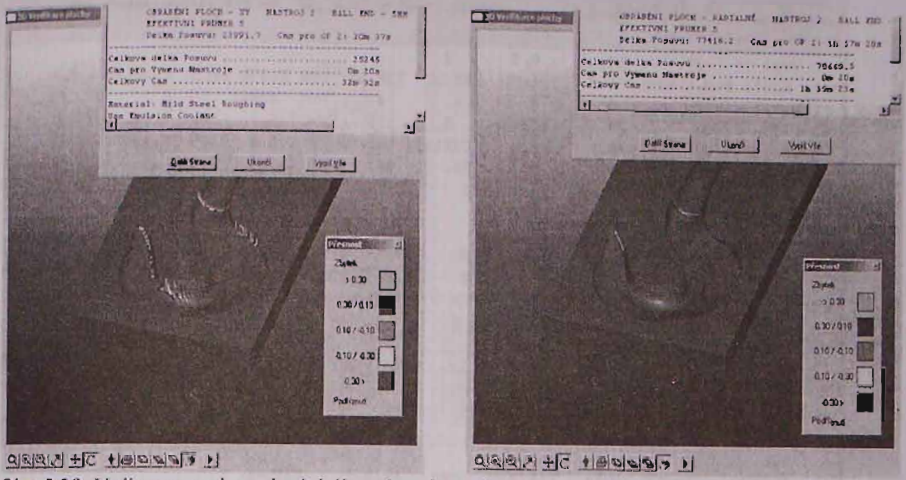
Obr. 5.35. Přenos 3D dat s využitím formátu IGES



Obr. 5.36. Přenos 3D dat s využitím formátu STEP



Obr. 5.39. Modifikace procesoru



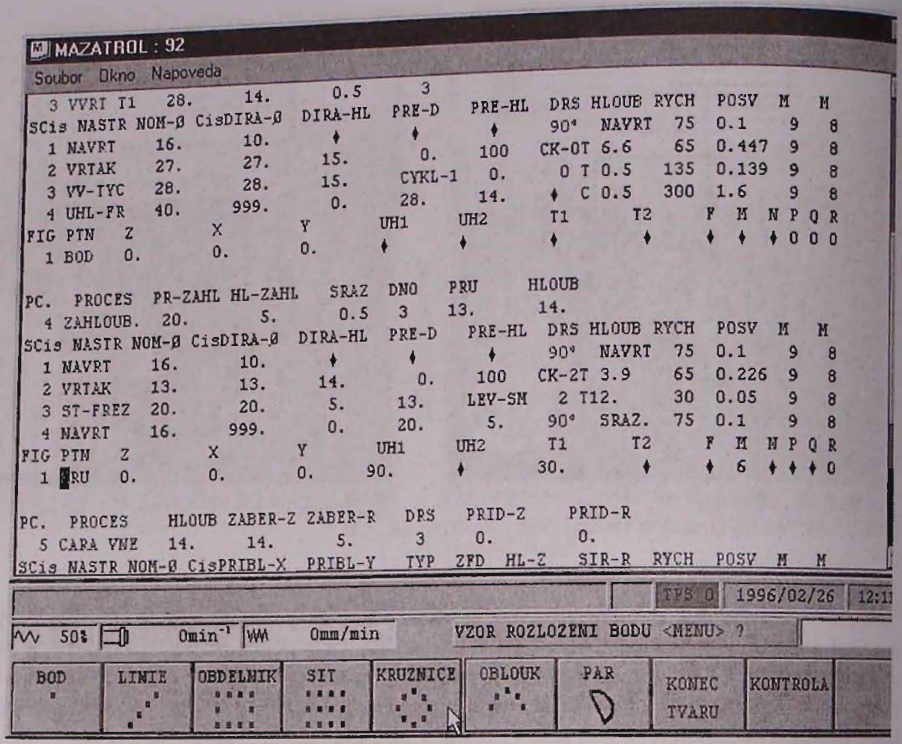
Obr. 5.38. Volba strategie vedení dráhy nástroje na čisto

Na obr. 5.39. je vidět rozhraní pro umožňující uživatelské úpravy procesoru CAMu. Vždyť například dodavatelé nástrojů nabízejí stále výkonnější a při použití efektivnější nástroje viz obr. 5.12., 5.14. a 5.15. Na tuto nabídku je třeba co nejrychleji reagovat. Pak je otázkou, zda platit pravidelně inovace verze CAMu, nebo jen jednou za čas a v mezidobí využít vlastních úprav. Ostatně ty rychleji reagují a lépe vyhovují v uživatelově provozu.

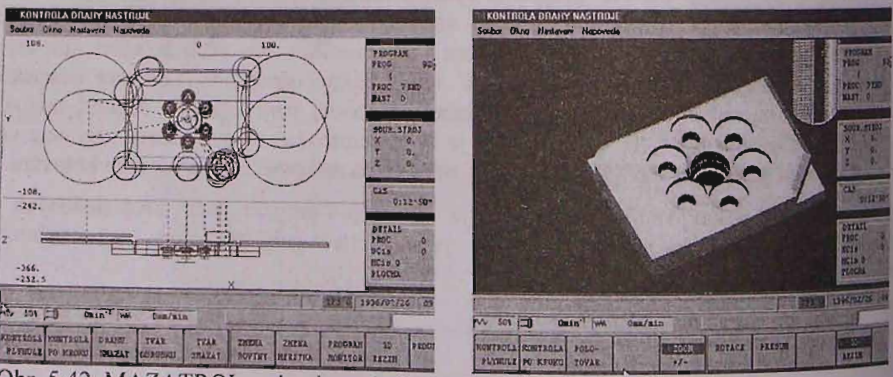
5.1.6.3. Dílenské programování

Tento způsob generování NC programu využívá řídicí systém a v multitaskingu (současně s obráběním dle jiného programu) spouští speciální CAM program tzv. RAP (Resident Assistant Programmer) nebo SFP (Shop Floor Programming). Pro větší komfort obsluhy je možné pořídit kopii tohoto software na PC nebo zvláštní simulátor. Software dílenského programování na základě dialogu vede obsluhu k sestavení partprogramu. Příklad takového partprogramu uvádí obr. 5.40. Na obr. 5.41. je vidět obrazovka software, který uživatele vede při sestavování partprogramu. Konstruktér by na výkrese měl použít stejný systém kótování.

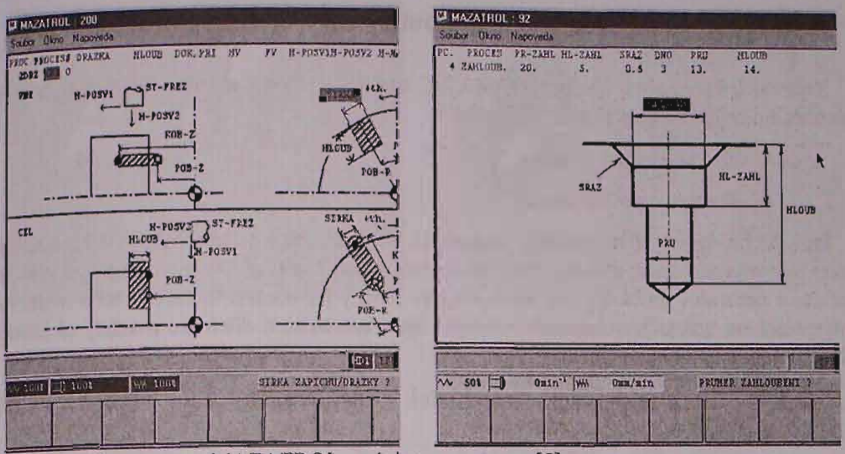
Tento způsob sestavování NC programů je vhodný pro programování dílců složených ze standardních konstrukčně technologických prvků, které jsou obráběny na rotačních i nerotačních strojích [24, 25].



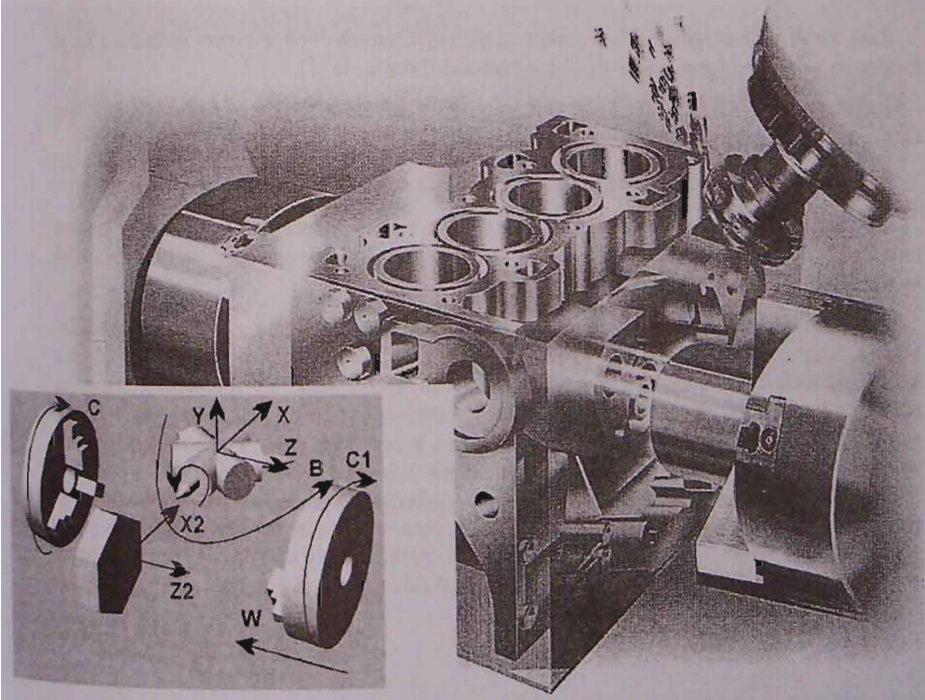
Obr. 5.40. Partprogram MAZATROL – zápis obrábění otvorů na roztečné kružnici [5]



Obr. 5.42. MAZATROL – simulace obrábění [5]



Obr. 5.41. Partprogram MAZATROL – zápis tvaru otvoru [5]



Obr. 5.43. Obrábění bloku motoru s válcovaného polotovaru [3]

5.2. Příklady technologičnosti konstrukčně technologických prvků

Technologičnost dílců obráběných na CNC strojích je účelné rozdělit dle základního typu obráběcího centra na kterém se bude obrábět:

- dílce pro rotační centra a
- dílce pro nerotační centra.

Díky technologickým možnostem současných CNC obráběcích center, a to zvláště rotačních, které velmi produktivně zvládají obrábění i nerotačních dílců, je členění technologičnosti pro rotační a nerotační součástky nepřesné. Rotační plochy lze obrábět kruhovou nebo šroubovou interpolací na nerotačních strojích a naopak řadu nerotačních dílců lze mnohdy efektivněji obrábět na rotačních strojích viz obr. 5.43.

5.2.1. Technologičnost součástek obráběných na rotačních CNC řízených strojích

Rotační stroje s CNC řízením se staví v neuvěřitelně širokém sortimentu od poloautomatů s jedním suportem přes centra se dvěma suporty v různých konstrukčních provedení a s protivřetenem, svislé stroje a to i s visícím obrobkem až po vícevřetenové a dlouhotočné automaty pro velkosériovou výrobu. Pochopitelně technologické možnosti těchto strojů jsou velmi rozdílné a tedy i technologičnost konstrukce součástek na nich obráběných bude tomu odpovídat.

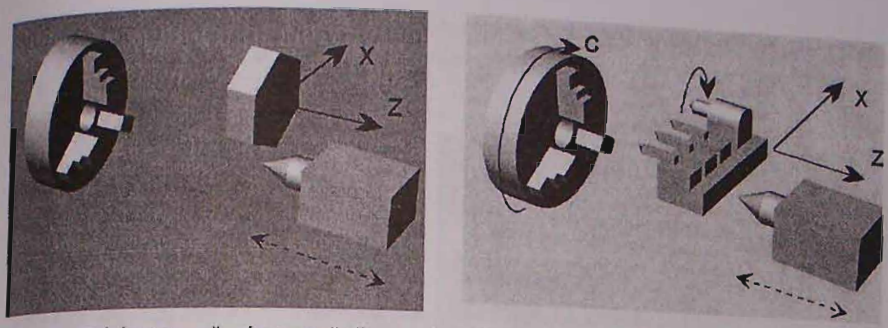
Řada zásad technologičnosti konstrukce na nich obráběných dílců je ovšem společná a lze je rozčlenit a popsat podobně jako u dílců pro konvenční stroje viz [1].

Technologické možnosti těchto strojů souvisejí s počtem NC řízených os, kterými stroj disponuje. Proto využijeme tohoto kriteria.

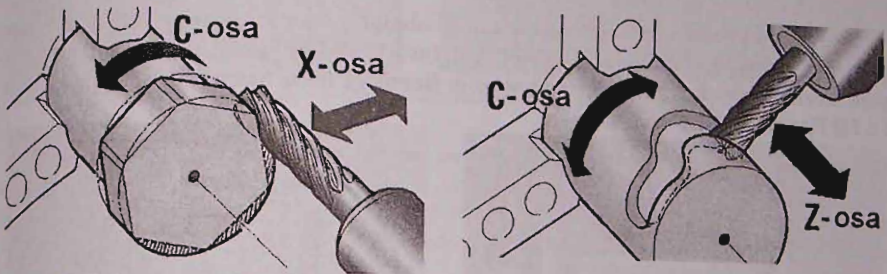
5.2.1.1. Soustružnické stroje s vodorovnou osou

Pro řízení rotačního stroje postačí dvě osy 2D a to X – průměr a Z – délka, respektive přesněji 2,25D neb na vřeteni (osa C) je vždy odměřován „nulový" bod pro řezání závitů nožem.

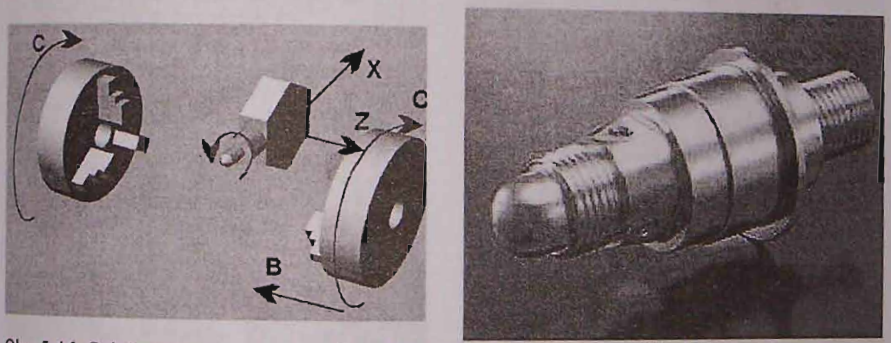
Toto řízení umožní soustružit vedle běžných rotačních ploch (válce, kužele, koule, rotační paraboloidy atd.) zápichy a závity. Nožem lze řezat závity levé či pravé, na válci či na kuželi a to i vícechodé. Nástroje jsou upínány do nožového držáku nebo do revolverové hlavy na suportu s řízením 2D viz obr. 5.44. Je-li možné zabrždění vřetene, lze obrážet jednu drážku například pro pero a to rovnoběžnou nebo kolmou k ose. Tyto stroje mohou mít i ovládání vysouvání pinoly koníku a to obvykle pneumatické nebo hydraulické řízené NC systémem. V nejmodernějších variantách jsou i tyto stroje vybaveny NC programovatelným koníkem tj. **třetí osou.** Tu lze využít například pro vrtací cykly.



Obr.5.44. Schéma označení os rotačního stroje s řízením dvou os a s osou „C" na vřeteni

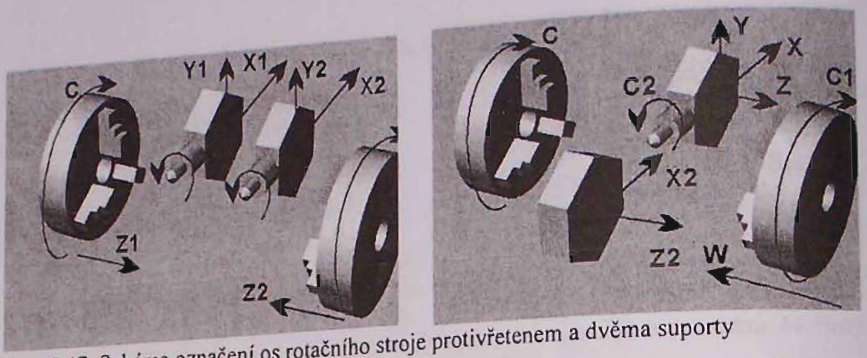


Obr. 5.45. Frézování ve 2D s využitím osy C



Obr. 5.46. Schéma označení os rotačního stroje protivřetenem a příklad dílce

Nástroje mohou být i poháněné a je-li stroj vybaven osou „C", tj. indexováním po určitém úhlu nebo dokonce plynule řízenou, viz obr. 5.44. lze na něm vrtat a frézovat drážky po úhlech určených indexováním respektive přesností odměřování. Je-li možnost upnout hnaný nástroj kolmo na osu, lze frézovat nejen drážky na čele a hrany na přilehlé válcové ploše, ale s využitím „C" osy, prostorové plochy viz obr. 5.45.



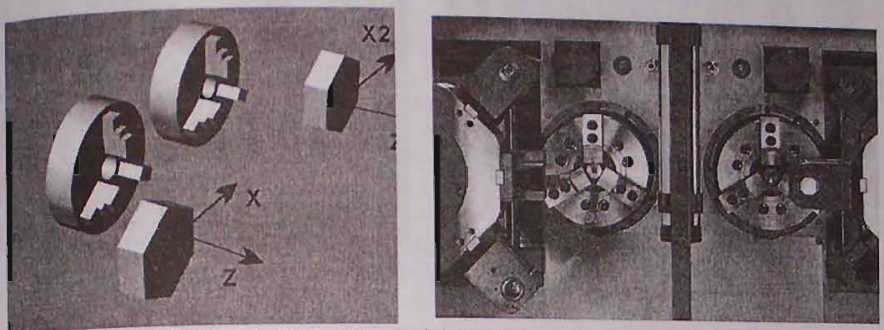
Obr. 5.47. Schéma označení os rotačního stroje protivřetenem a dvěma suporty

Je-li pak stroj vybaven protivřetenem lze dílec obrobit z obou stran, tedy celý dílec v jedné operaci. Přínosem je vedle zkrácení výrobního času i zvýšení přesnosti obrobených ploch a úspora mezioperačních činností. Protivřeteno je řízeno ve dvou osách (rotace a posuv), takže jde o **5D řízení** viz obr. 5.46.

Obr. 5.48. Dílce pro osu „Y"

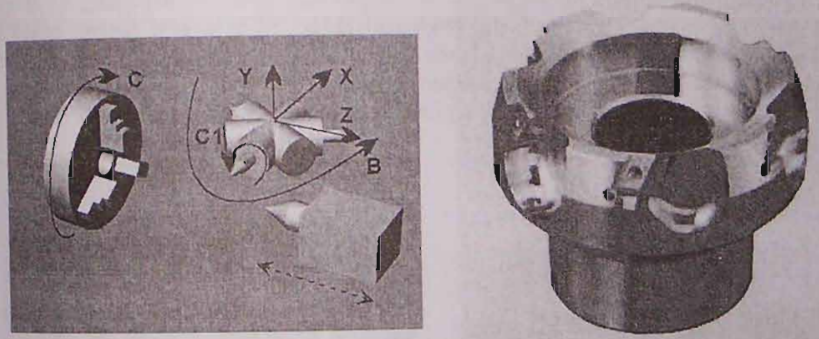
O **5D řízení** se jedná i v případě přidání dalších dvou os k 3D soustruhu pro řízení druhého suportu, který pak může pracovat současně s prvním. Toto řešení vede zejména k podstatnému zvýšení produktivity ve variantě se dvěma suporty vedle sebe viz obr.5.47. Tento obrázek také demonstruje současné obrábění oběma suporty umístěnými proti sobě, to vedle znásobení produktivity umožní i práci lunety. Jeden nebo i oba suporty mohou být vybaveny poháněným nástrojem v jedné nebo i více nástrojových polohách. Tyto rotační nástroje se pak využívají pro vrtání mimo osu rotace stroje nebo kolmo na ni a pro frézování ve dvou či třech (osa C) osách současně. Supotry mohou být vybaveny i osou „Y", která umožňuje frézovat a vrtat viz obr. 5.48.

Varianta se dvěma paralelními vřeteny obsluhovanými současně dvěma suporty (4D) hlavně přináší zvýšení produktivity viz obr. 5.49. Přenos obrobku a jeho otáčení mezi vřeteny může být svěřeno manipulátoru.

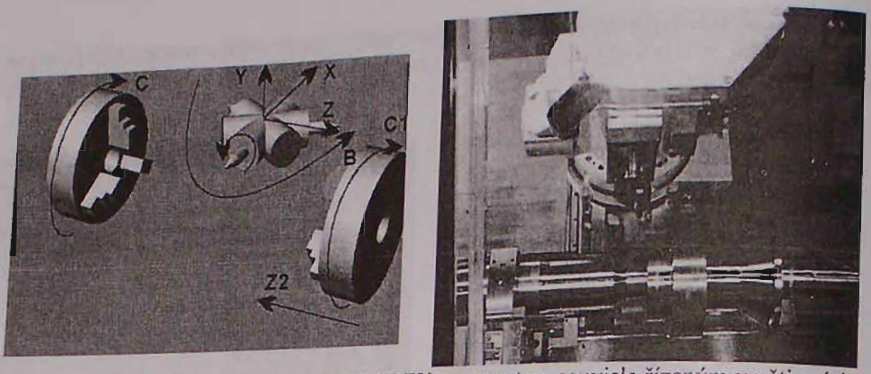


Obr. 5.49. MORI SEIKI RL-203 – dvě paralelní vřetena a dva suporty (4D) [9]

Jeden suport může však mít řízeno i až pět os (tři přímočaré na sebe kolmé a jeden rotační pohyb plus řízení rotačního pohybu nástroje) viz obr. 5.50. Tímto suportem s automatickou výměnou nástrojů můžeme frézovat tvarové plochy ve více osách současně, frézovat ozubení odvalovacím způsobem nebo obrážet ozubení odvalovacím způsobem kotoučovým nožem a to i se sklonem k ose stroje viz obr. 5.52.



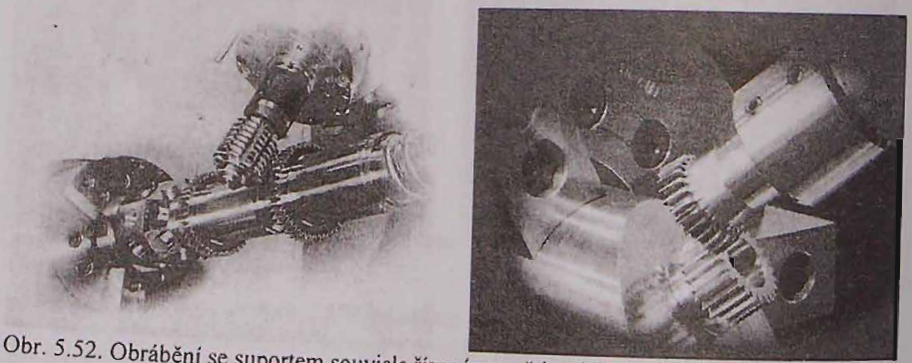
Obr. 5.50. Schéma stroje se suportem souvisle řízeným v pěti osách s poháněným nástrojem (6D) [5, 9]



Obr. 5.51. Schéma stroje MAZAK INTEGREX se suportem souvisle řízeným v pěti osách s poháněným nástrojem a protivřetenem (8D) [5]

Osu „Y" suportu lze využít i pro frézování a vrtání jinak na rotačním stroji neřešitelných úloh viz obr. 5.48. „B" osa poskytuje celou řadu technologických možností pro soustružení, frézování, vrtání, ale i obrážení viz například obr. 5.52.

„C" osa u těchto suportů má buď indexování nebo je řízena souvisle. Indexování po 90° se používá pro práci s nožovým držákem, který je osazen čtyřmi různými výměnnými břitovými destičkami pro různé práce. Výměna nástroje je pak zredukována na jeho pouhé pootočení v ose „C" suportu, aby se do řezu dostal určený břit či eventuálně i pohyb v ose „B" pro ovlivnění úhlu nastavení ostří. Podobně je možno využít i integrovaný držák nástrojů viz obr. 5.53. Ten pochopitelně umožní podstatně zkrátit cyklový čas, neboť výměna nástroje se opět redukuje na pouhé pootočení a eventuální naklopení držáku. Vše ovšem funguje pouze za předpokladu, že jsou na dílci plochy obrobitelné touto nástrojovou sestavou. Nástrojový držák v pravé části obrázku obr. 5.53. dokáže nahradit dvanáct komunálních nástrojů viz obr 5.15. Souvislé řízení osy „C" je využíváno pro odval ozubení viz obr. 5.52.



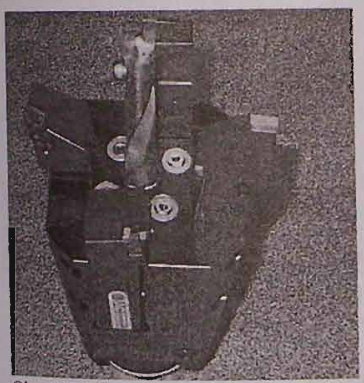
Obr. 5.52. Obrábění se suportem souvisle řízeným v pěti osách s poháněným nástrojem [5]

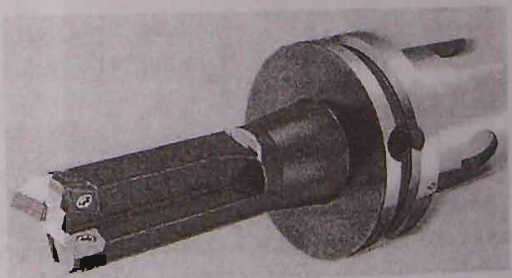
Přidání dalších dvou os řízení, může ale znamenat řízení druhého protiběžného vřeteníku. Tento pak přebírá dílec po jeho obrobení z první strany a v jeho vřeteni pak probíhá obrábění z druhé stany. Nebo je dílec obráběn mezi oběma vřeteny, s tím, že je v nich postupně „posouván" na místo použití lunety. Takto je řešeno například měření respektive snímání tvaru a obrábění tyčí palivových článků pro atomové reaktory.

Pochopitelně se staví stroje s různou kombinací vřeten a suportů a tím jsou pak dány technologické možnosti konkrétního stroje. Například rotační centra se dvěma suporty a protiběžným vřetenem. Horní suport má souvisle řízeno pět os a dolní dvě. Oba mohou být vybavené hnanými nástroji. Tato centra jsou určena pro obrábění těch nejfantastičtějších dílců, při kterých je těžké uvěřit, že byly obrobeny z vývalku na „soustruhu", a to navíc s mimořádnou produktivitou viz například [5].

Staví se i stroje souměrné podle osy kolmé na osu stroje viz obr. 5.47. a 5.49. I tyto stroje umožňují obrobení dílce na jedno upnutí a navíc pracují souběžně. Pak je vhodné, aby čas práce obou suportů byl co možná stejný. Soustružnické centrum MULTIPLEX od firmy YAMAZAKI MAZAK je centrum s dvěma horizontálními proti sobě uloženými vřeteny, které svým uspořádáním ukazuje novou cestu k metodám obrábění v jednadvacátém století. Díky ose Y umožňuje obrábět ještě složitější tvary obrobků. Pohybem poháněného nástroje ve směru osy Y lze např. vrtat otvory nebo řezat závity mimo osu obrobku nebo frézovat šestihran nebo různá zahloubení. Také přesné obrobení drážky pro pero nástrojem menším než je šířka drážky už není problémem. Obě 12ti polohové revolverové hlavy mohou být libovolně osazeny nástroji na soustružení, vrtání či frézování (poháněné nástroje) a zajišťují jisté a pevné upnutí nástrojů pro výkonné obrábění.

Pro bezobslužný provoz stroje jsou k dispozici četná příslušenství průmyslové automatizace například podavače tyčí, přetěžovací detektory a portálové roboty. Produktivitu obrábění zajišťují dvě nezávislá vřetena a dvě nezávislé revolverové hlavy. Revolverové hlavy se pohybují pouze ve směru osy X . Pohyb v ose Z zajišťují vřeteníky. Pojíždění obou vřeteníků ve směru osy Z může být synchronizované nebo na sobě nezávislé. Rotaci obou vřeten lze pro soustružnické práce synchronizovat. K nesrovnatelné produktivitě tohoto stroje přispívá především možnost současného obrábění stejných součástí v obou vřetenech, možnost simultánně probíhajících prací a průběžné obrábění pravé a levé strany obrobku pomocí automatického přímého předání z levého do pravého vřeteníku pro dokončení obrábění součásti. Navíc, stroj MULTIPLEX umožňuje používat v libovolné poloze obou revolverových hlav poháněné nástroje pro vrtání, závitování a frézování. Tím se docílí výrazného snížení výrobního času.





Obr. 5.53. Integrace nástrojů využívající osu C 5D řízeného suportu

5.2.1.2. Soustružnické stroje pro velkosériovou výrobu

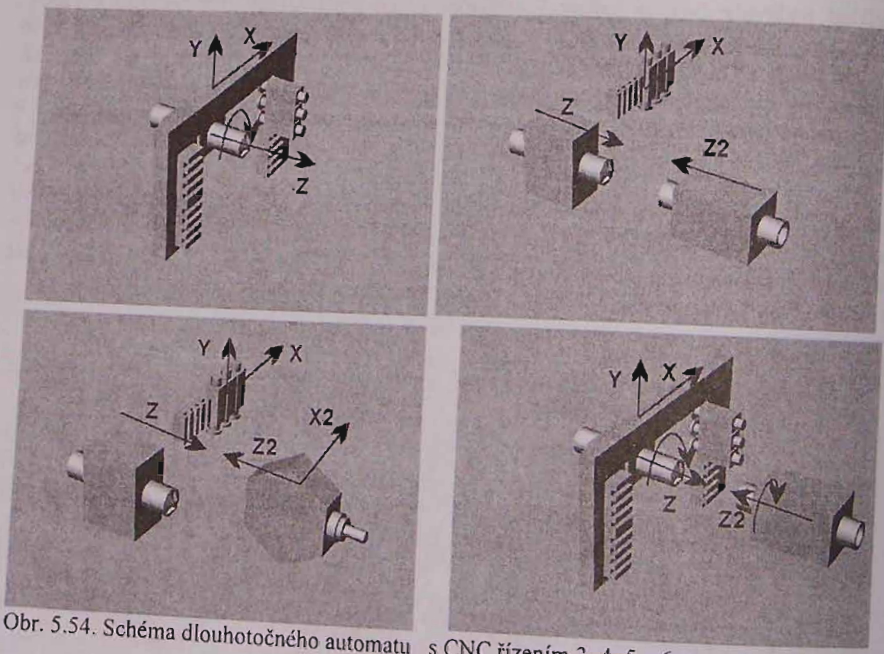
Stroje pro velkosériovou výrobu, které svou koncepcí vycházející z v této výrobě osvědčených tvarových, podélných, vícevřetenových a dalších vačkově či narážkově řízených

automatů mívají v CNC verzi až několik desítek NC řízených os, které umožňují současné obrábění několika nástroji i několika dílců současně. Příklad schématu dlouhotočného CNC řízeného automatu viz obr. 5.54. a 5.55. Tyto stroje se staví s minimálně čtyřmi souvisle řízenými osami. Dle potřeb zákazníka pak je nabízeno řízení i dalších pohybů tj. 5, 6, 7 os atd. Zajímavé řešení stroje pro složitější dílce s potřebou mnoha nástrojů a to včetně poháněných nabízí fa MORI SEIKI viz obr. 5.55. Nástrojové držáky jsou upevněny na suportu ve tvaru U rámu kolem osy rotace obrobku.

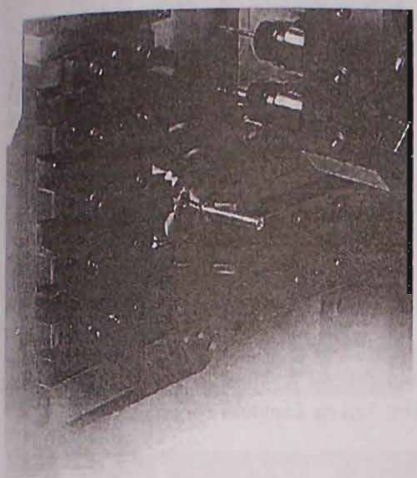
Dlouhotočné stroje umožňují ve variantách s řízením více os souběžné obrábění díky protivřetenu, které může být i umístěno spolu s nástroji v revolverové hlavě nebo suportu proti hlavnímu vřeteníku viz obr. 5.56., 5.58. a 5.59. Cílem je opět zvýšení produktivity a přesnosti.

Obr.5.58. představuje schéma dlouhotočného stroje s protivřetenem, které se může pohybovat ve dvou osách. Dílec s druhé strany je pak obráběn souběžně s obráběním v hlavním vřeteni, přičemž lze využít i nástrojů pevně upnutých na rámu stroje.

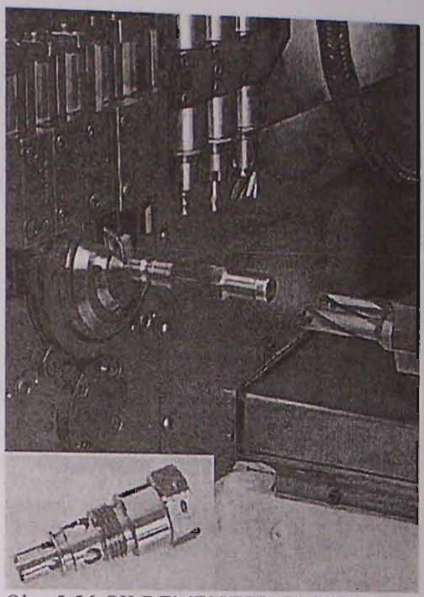
Příklad konstrukčních řešení dlouhotočného CNC řízeného automatu uvádí obr. 5.56., 5.58. a 5.59. Na obr. 5.57. jsou pak příklady obrobků vhodných pro takto řešené stroje.



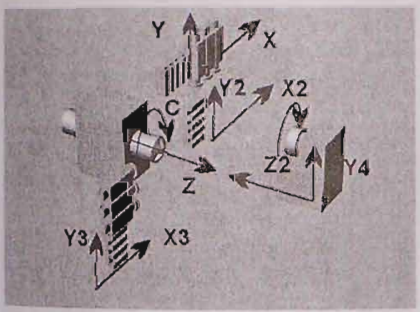
Obr. 5.54. Schéma dlouhotočného automatu s CNC řízením 3, 4, 5 a 6 os



Obr. 5.55. Dlouhotočný automat s CNC řízením 4 a 5 os – stroje TSUGAMI MORI [9]

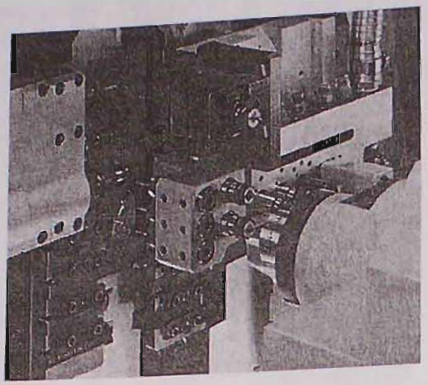


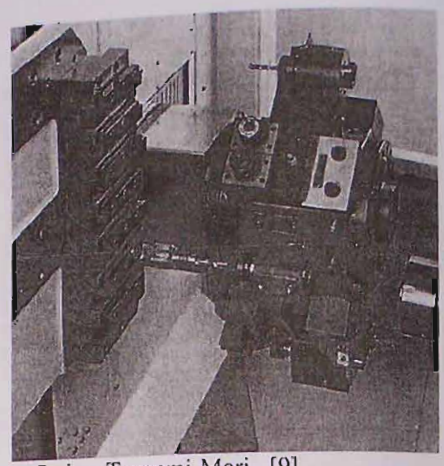
Obr. 5.56.GILDEMEISTER GLD 25-5 linear [16]



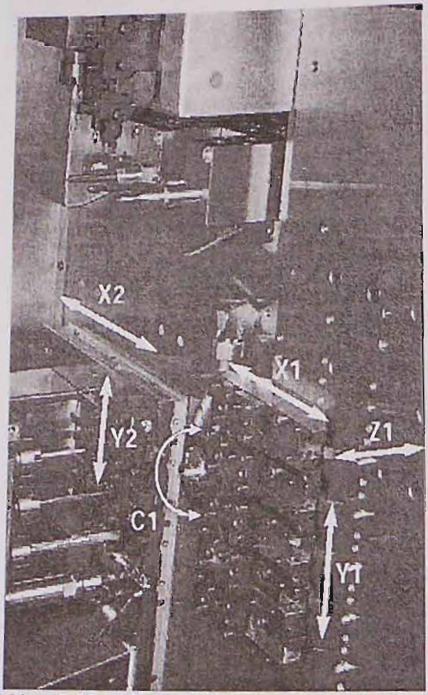
Obr. 5.57. Dlouhotočný automat s CNC řízením 10ti os

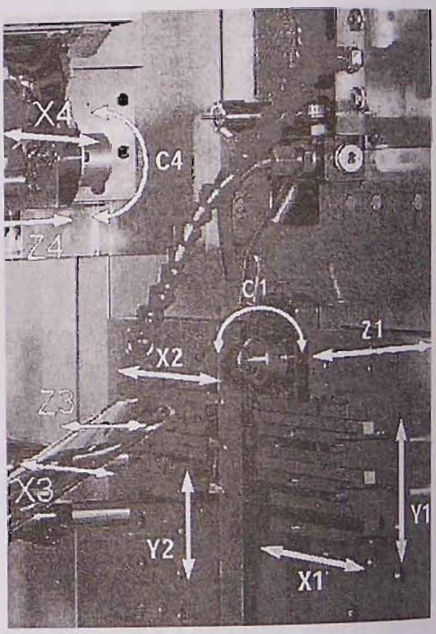
Firma TORNOS-BECHLER nabízí tyto stroje ve variantách s řízením 6, 8, 9 a nebo 11 os. Dvě osy využívá na řízení vyjmutí obrobku z pracovního prostoru stroje viz obr.5.59. osa X3 a Z3. Stroje TORNOS DECO mohou mít řízeno až 19 os. To jim umožňuje obrábět i čtyřmi nástroji současně. Pozoruhodné je i řešení software CNC řídicího systému Fanuc, který vypočítané souřadnice drah jednotlivých os v závislosti na čase zapíše do paměti a při obrábění v cyklu pak tuto funkční závislost využívá místo NC programu. Obě tato řešení slouží k snížení času cyklu, u vedlejších časů až o 20% [18].





Obr. 5.58. Dlouhotočné automaty s CNC řízením 7mi os Tsugami-Mori [9]

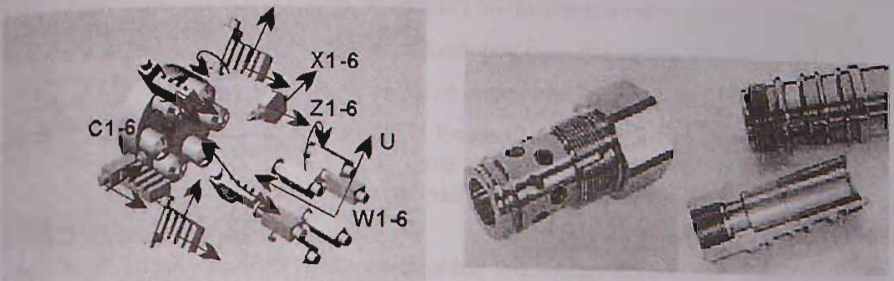




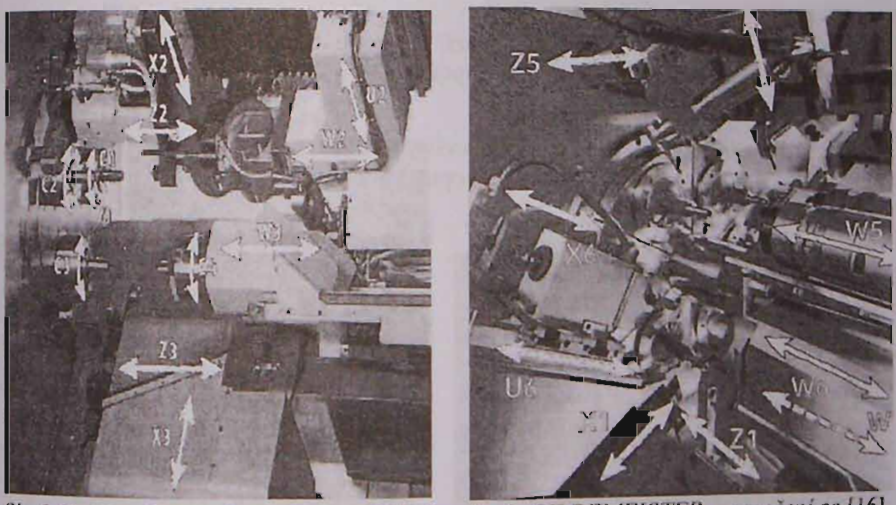
Obr. 5.59. Dlouhotočné automaty s CNC řízením 6ti a 11cti os DECO 2000 fy TORNOS-BECHLER

I vícevřetenové soustružnické automaty, jsou dnes nabízeny s CNC řízením. Jejich řešením produktivity je souběžné obrábění ve třech, ale častěji šesti nebo i osmi vřetenech. Časy obrábění v jednotlivých vřetenech by měly být co možná stejné. Po té co proběhne nejdelší z cyklů jednotlivých vřeten, pootočí se nosič vřeten o část kruhu a tím vřetena přemístí před další suporty. Schéma šestivřetenového soustružnického stroje s CNC řízením a vhodné dílce

pro něj uvádí obr. 5.60. Na obr. 5.61. je pak pohled do pracovních prostorů tří a šestivřetenového stroje.



Obr.5.60. Vícevřetenové automaty s CNC řízením



Obr.5.61. Vícevřetenové automaty s CNC řízením fy GILDEMEISTER – označení os [16]

CNC řízení strojů typu dlouhotočných či vícevřetenových automatů přináší vedle zvýšení produktivity hlavně snížení velikosti mezní dávky, tj. tedy minimálního počtu kusů kdy je jejich použití ekonomicky výhodné. Tak lze využít osvědčená konstrukční řešení strojů a technologie velkosériové výroby i v malosériové výrobě.

5.2.1.3. Soustružnické stroje se svislou osou

Pochopitelně i svislé soustruhy se staví s CNC řízením. Koncepčně opět tyto stroje vychází z osvědčených konstrukcí konvenčních strojů - jedno nebo dvoustojanového karuselu. I v této kategorii je nabízena celá řada konstrukčních řešení těchto strojů s různým vybavením a podle toho i technologickými možnostmi. Jednostojanová i dvoustojanová provedení svislých soustruhů sestávají obvykle ze stavebnicově řešených hlavních skupin a zařízení, což umožňuje vytvářet vedle normálních i zvláštní provedení strojů podle specifických požadavků zákazníka.

Stroje mohou mít řízenou C osu (indexování, polohování a nebo souvislé řízení otáčení vřetene) či dokonce mohou být vybaveny i řízenou osou poháněného nástroje. Pak lze mimo běžných soustružnických prací na těchto stojích provádět:

- výkonné vrtání a řezání závitů i mimo osu rotace upínací desky,
- frézování obecných tvarů vodorovně nebo kolmo na upínací desku,
- broušení obecných tvarů kolmo na upínací desku.

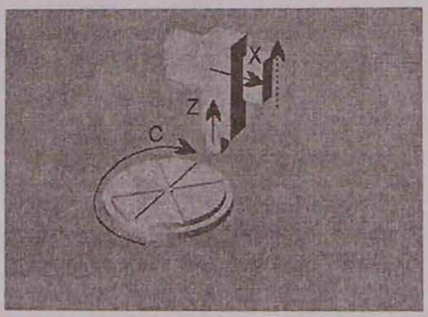
Suporty stroje lze vybavit úhlovou frézovací hlavou a pak lze frézovat, vrtat a řezat závity pod různými úhly vzhledem k upínací desce. Stroje lze vybavit i brousicím zařízením a pak na nich lze aplikovat čelní nebo obvodové broušení čelních i válcových vnitřních nebo vnějších ploch.

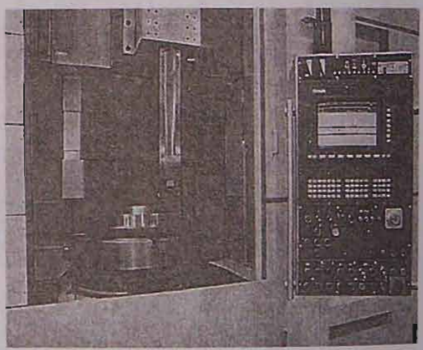
Nejjednodušší konstrukční provedení jednostojanového karuselu nabízí řízení jednoho suportu ve dvou osách. Tuto koncepci pak je možno doplnit o řízení pohybu vřetene (upínací desky) – osa C. Dalším nabízeným rozšířením je pak možnost doplnění další – boční suport.

Suport se pohybuje po příčníku, který je výškově přestavitelný na stojanu stroje viz obr. 5.62.

Rám jednostojanové koncepce stroje nejtěžší kategorie je tvořen vodorovně přestavitelným stojanem a svisle přestavitelným příčníkem s příčníkovým suportem a v rozšířeném vybavení i s bočním suportem viz obr. 5.64.

Tato provedení karuselů jsou vhodná především pro soustružení obrobků ve tvaru prstenců, které při velkém vnějším průměru nevyžadují opracování ve středu.

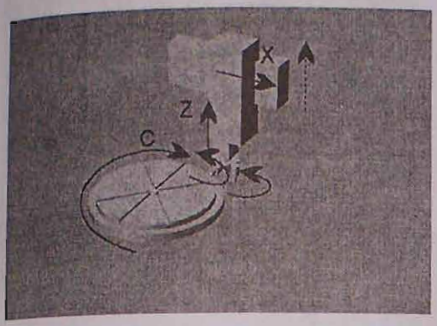


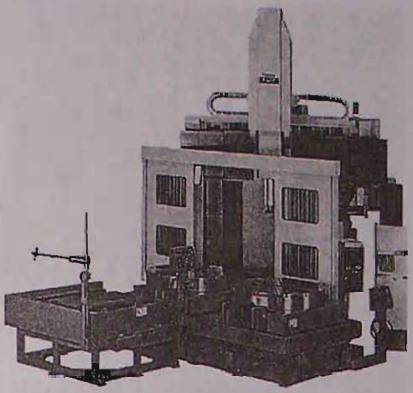


Obr. 5.62. Svislý soustruh jednostojanový fy TOS Hulín s CNC řízením 3 os [12]

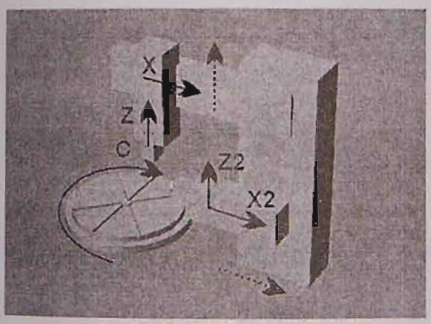
Dvoustojanové karusely jsou konstruovány s přestavitelným příčníkem pravým a v rozšířené výbavě i levým suportem. Uzavřený portálový rám těchto strojů se vyznačuje velkou tuhostí, která zajišťuje dosažení vysokého výkonu i přesnosti obrábění.

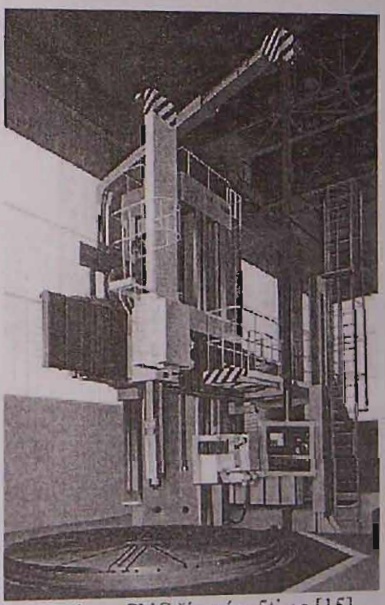
Rám této koncepce stroje má tvar portálu, který je tvořen pravým a levým stojanem s nahoře pevným spojem rozpěrnou příčkou a výškově přestavitelného příčníku po vedeních na stojanech viz obr.5.63. a 5.65.



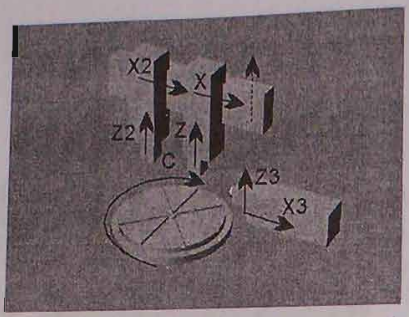


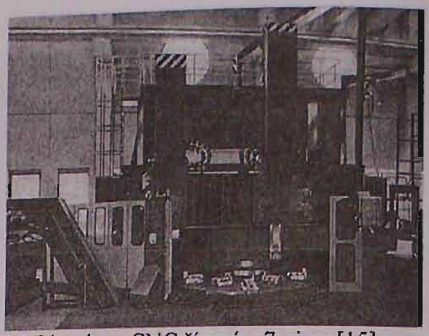
Obr. 5.63. Svislý soustruh dvoustojanový MEGA TURN A-12NM/C fy MAZAK s CNC řízením 3 os a možností frézovat [5]





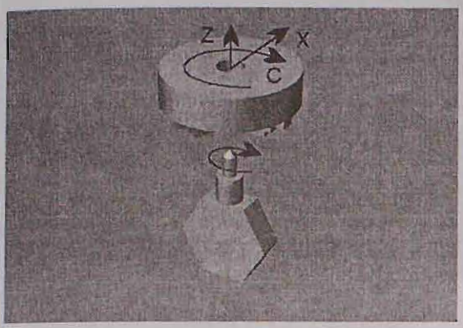
Obr. 5.64. Svislý soustruh jednostojanový fy ČKD Blansko s CNC řízením 5ti os [15]

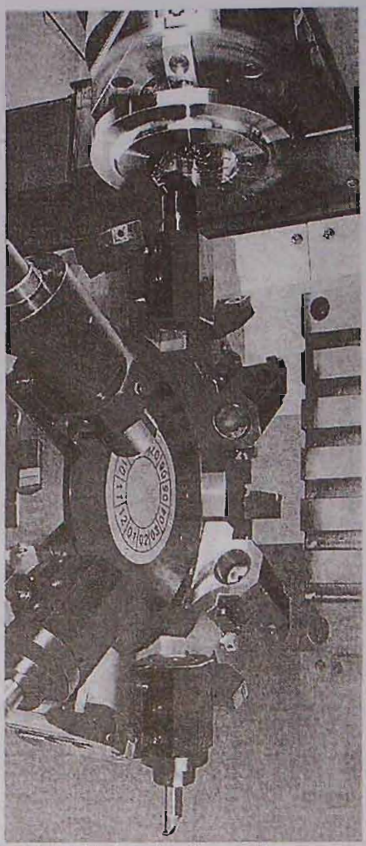




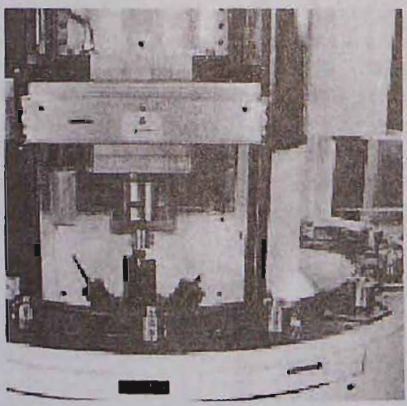
Obr. 5.65. Svislý soustruh dvoustojanový fy ČKD Blansko s CNC řízením 7mi os [15]

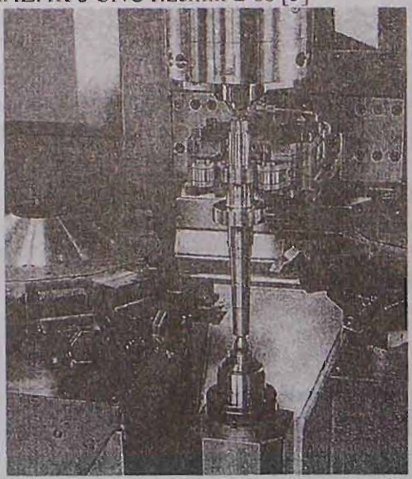
Jsou ovšem nabízeny i zcela neobvyklé konstrukce rotačních strojů se svislou osou vřetene, které mají zajistit největší produktivitu a přesnost při výhodných ekonomických parametrech. Tyto stroje jsou určené pro hromadnou velmi produktivní výrobu přírubových nebo i hřídelových dílců při využití progresivních nástrojů [6, 28] i technologie HSC (High-Speed Cutting), neboť umožňují velmi snadný a rychlý odvod třísek obr. 5.66. Svislý soustruh EMAG VL fy HARDINGE viz obr. 5.67. lze vybavit i poháněnými nástroji s osou jak rovnoběžnou tak i kolmou na osu rotace vřetene. Vřeteník sám nabírá polotovary a odkládá obrobky na dopravník.



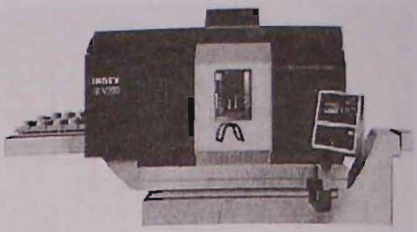


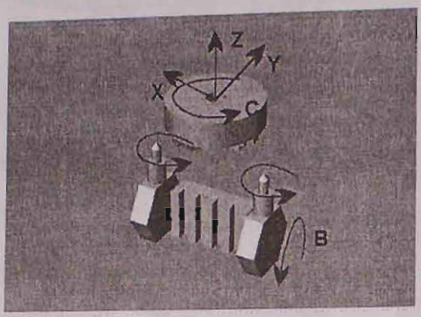
Obr. 5.66. Svislý soustruh speciální IVS 200 fy MAZAK s CNC řízením 2 os [5]

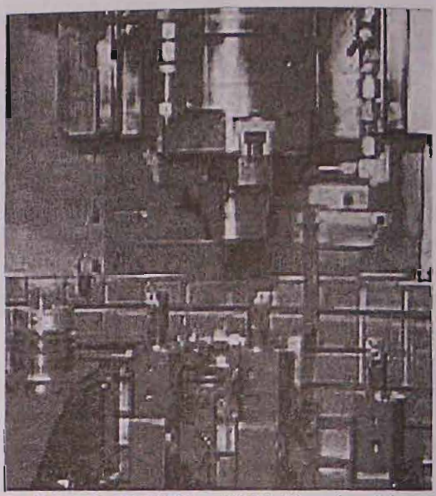




Obr. 5.67. Svislý soustruh speciální EMAG VL fy HARDINGE s CNC řízením 3 os [18]





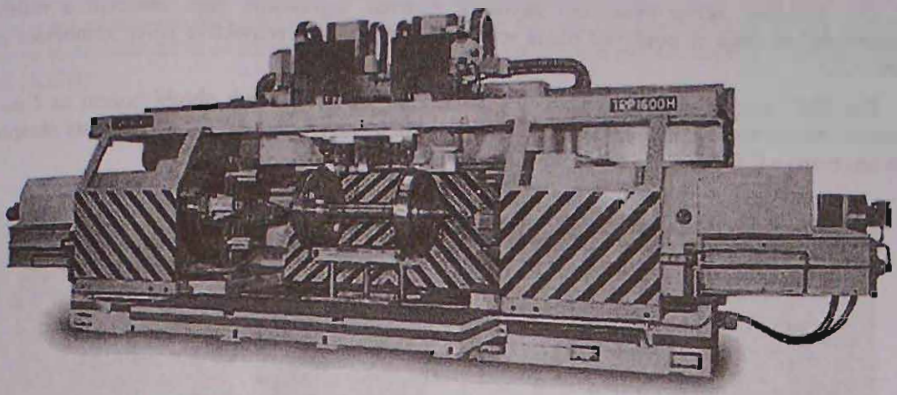


Obr. 5.68. Svislý soustruh specielní řady VerticalLine fy INDEX s CNC řízením 5ti os [17]

Například fa INDEX nabízí různé varianty těchto strojů a to s nástrojovou deskou, s jednou nebo dvěma revolverovými hlavami i obracečem či manipulátorem dílců. Svislý vřeteník s integrovaným motorem je řízen v osách X, Y, Z a C. Osy X a Z jsou využívány nejen při vlastním obrábění, ale i pro manipulaci a upínání polotovarů a obrobků typu přírub. Osy Z a C se uplatňují při použití poháněných nástrojů. Pro obrábění sítě otvorů se využívají i vícevřetenové vrtací hlavy. Další možnosti je vybavení stroje osou B viz obr. 5.68. Ta slouží k naklápění revolverové hlavy při práci s rotačními nástroji. Vyjímatelnou nástrojovou desku lze vybavit i protivřetenem pro dokončení dílce jednoduššími technologickými pracemi z druhé strany. Nástrojová hlava s omezeným počtem nástrojů je pak spojena s vřeteníkem stroje. Hlavní vřeteno po obrobení z druhé strany dílec vyjme z protivřetene a odloží na paletový zásobník.

Fa INDEX nabízí tento typ stroje i v dalších variantách, například s osmi vřeteny (MV 200 MultiLine Production Center).

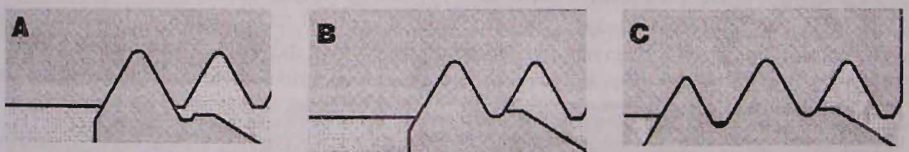
Pochopitelně se staví i stroje speciální. Na obr. 5.70. je pro příklad uveden soustruh na obrábění železničních dvojkolí.



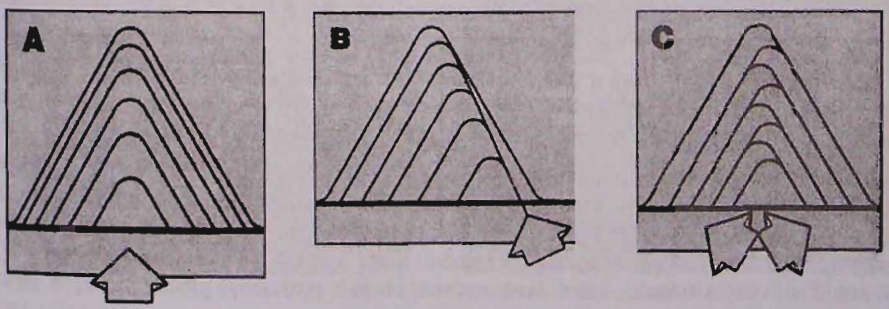
Obr. 5.70. Soustruh na obrábění železničních dvojkolí s CNC řízením 4 os fy BOST ES [21]

5.2.1.4. Soustružení závitů a zápichů

Při soustružení na CNC strojích často řežeme závity nožem. Používají se závitořezné nože s VBD nejčastěji z povlakovaných SK. Ty jsou vyráběny s plným profilem, částečným profilem a jako víceprofilové viz obr.5.71. VBD s plným profilem obrábí kompletní tvar závitu. Její poloměr špičky odpovídá stoupání. Závit odpovídá normě. Jedna VBD je použitelná pro jedno stoupání. VBD s částečným profilem je určena vždy pro určitý rozsah stoupání. Poloměr její špičky odpovídá nejmenšímu stoupání a proto je její trvanlivost kratší. Hřebenová VBD snižuje počet nutných záběrů o polovinu, její trvanlivost je delší. Je třeba, ale delší výběh závitu a použití velmi stabilních podmínek pro obrábění, neboť ostří je delší.



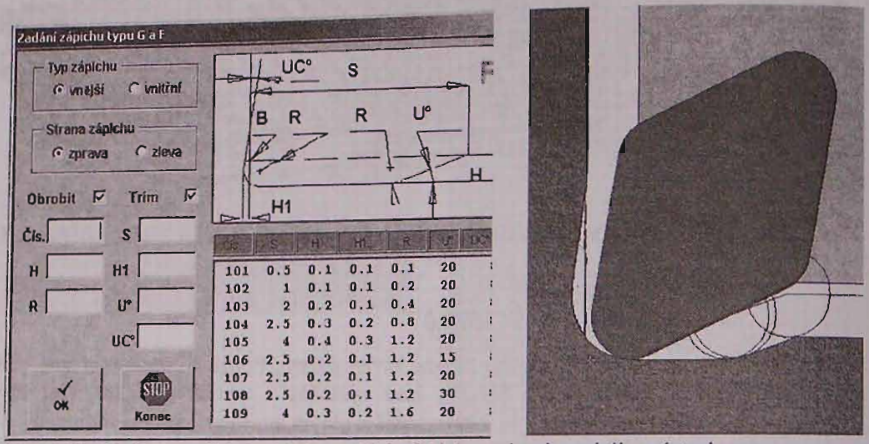
Obr. 5.71. Profily závitovacích VBD (A-částečný profil, B-plný profil, C-víceprofilová)



Obr. 5.72. Schémata úběru

Pro dosažení velmi kvalitního závitu a zároveň nejkratšího času obrábění a malého opotřebení nástroje se používají různá schémata úběru třísky, respektive jejich kombinace viz obr. 5.72.

Pro CNC stroje používáme zápichy F a G, které CNC soustruh obrobí nožem na čisto a nemusí použít tvarový nůž jak je nutno u konvenční techniky viz obr. 5.73. Zadávání obrábění těchto tvarů v CAMech je pochopitelně též zjednodušeno.



Obr. 5.73. Zadání obrábění zápichu v AlphaCAMu a simulace dráhy nástroje

5.2.2. Technologičnost součástek obráběných na nerotačních CNC řízených strojích

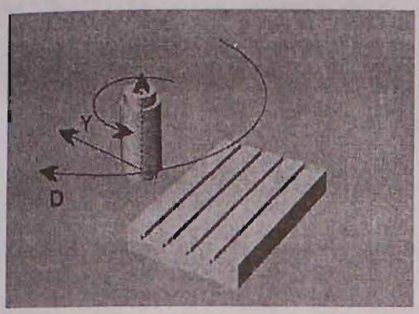
Tyto stroje vycházejí koncepčně z frézek a vyvrtávaček. Jejich rozmanitost není taková jako u rotačních strojů. Ovšem i tady sledujeme snahy o posílení technologických možností stroje rozšiřováním počtu NC řízených os, automatizací výměn nástrojů a eventuálně i palet s obrobky a hlavně trend slučování výrobních technologií, aplikace technologií nových a také jejich doplnění o kontrolu dílců i nástrojů.

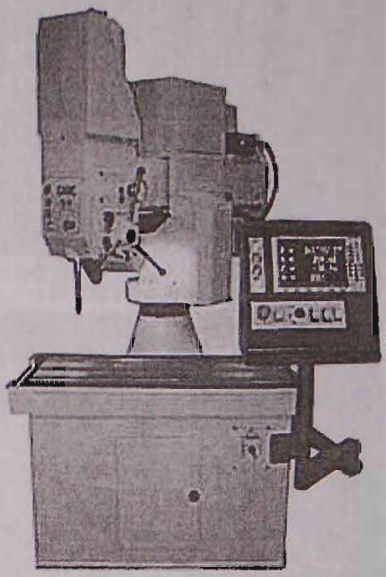
Měřicí sondy se uplatňují při ustavování polotovaru do pracovního prostoru stroje i pro kontrolu obrobku. Využívají se pro seřizování nástrojů a jejich kontrolu během pracovního cyklu, eliminaci opotřebení dokončovacího nástroje tak jako u rotačních strojů, ale navíc také pro snímání 3D dat modelu budoucího obrobku.

Řízení dvou os se používá u vrtaček pro najíždění souřadnic sítě vrtaných otvorů. Hloubka vrtání všech děr je stejná. Příkladem je vrtačka G34 NC fy GOOS, spol. s r.o. Osa Z je řízena narážkami. V tomto případě by měl konstruktér pracovat v polárních souřadnicích.

Řízení tří os je u frézek standardem. Dříve se jednalo o řízení pravoúhlé, tj. pohyb se konal vždy pouze v jedné ose. To umožnilo obrábění ploch rovnoběžných s některou os pohybu. Některé starší stroje a zejména pak vyvrtávačky či vrtačky mohou pracovat souvisle ve dvou osách **(2,5D)**. Toto řízení umožňuje obrábění tvarů v rovině. Dnešní stroje disponují již výhradně souvislým řízením, které dává možnost obrábět prostorové plochy přístupné nástroji z jednoho směru.

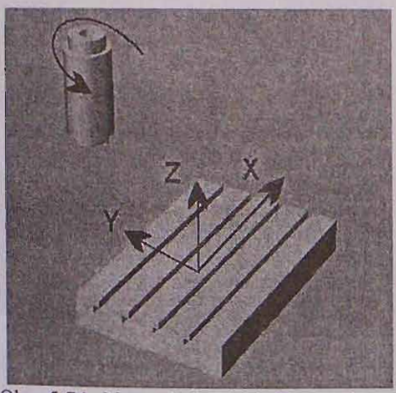
Pro zajištění automatické výměny nástroje je třeba odměřování nulového bodu na vřeteni, tak, aby byl nástroj nasazen přesně na unášecí kameny, a stejně tak pro zajíždění vyvrtávacího nástroje se zapichovacím nebo zpětným nožem do otvoru je třeba zafixování osy C v nulovém bodě **(3,25D)**.

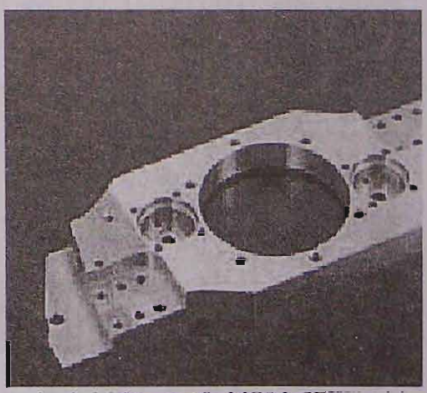




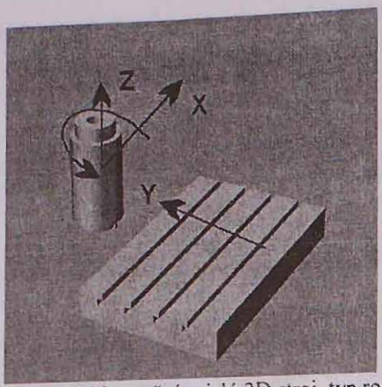
Obr. 5.73. Souřadnicová 2D stroj vrtačka – např. G34 NC fy GOOS [13]

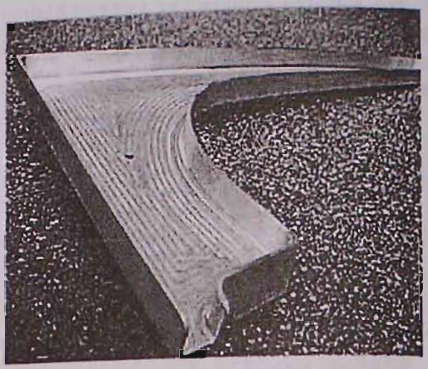
Koncepce těchto strojů a jejich technologické využití odpovídají konvenčním typům frézek a vyvrtávaček. Snad jen typ stolová frézka se uplatňuje u NC strojů častěji. Na obrázcích 5.74. až 5.81. jsou dokumentována nejobvyklejší řešení.



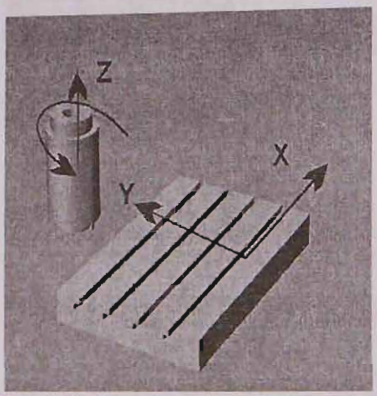


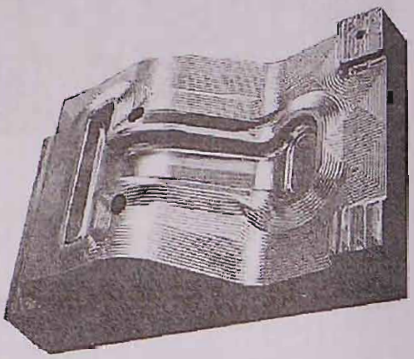
Obr. 5.74. Nerotační svislý 3D stroj typ konzolová frézka– např. MORI SEIKI série ACCUMILL [19]



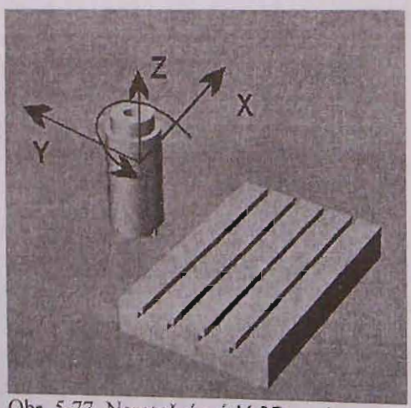


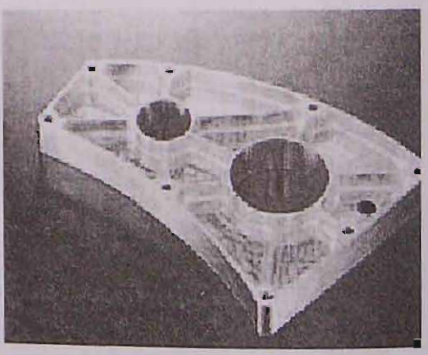
Obr. 5.75. Nerotační svislý 3D stroj typ rovinná frézka– např. MORI SEIKI série GV [19]



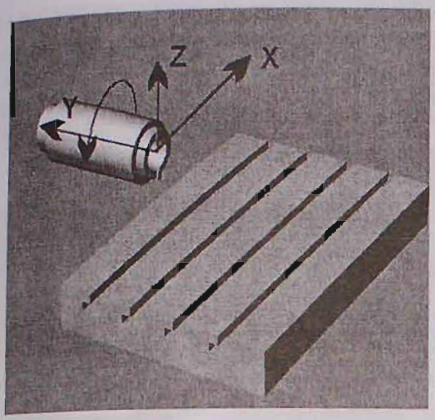


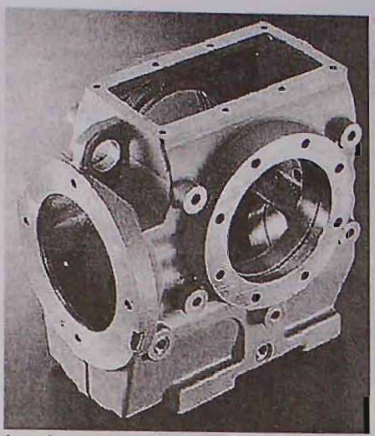
Obr. 5.76. Nerotační svislý 3D stroj typ stolová frézka– např. MORI SEIKI série NV [19]



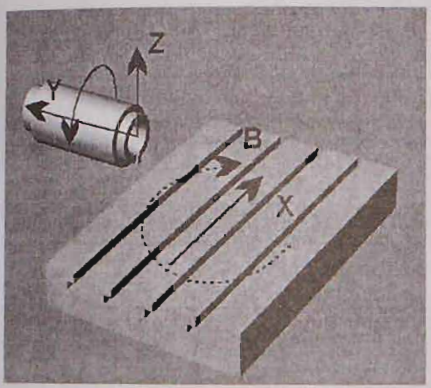


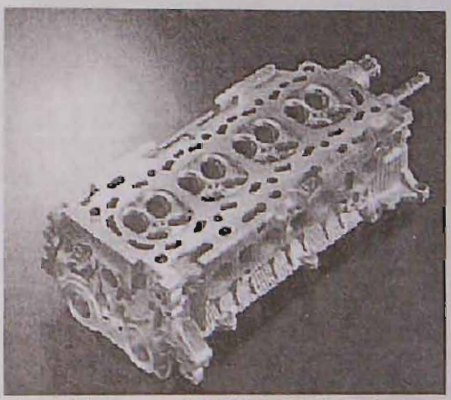
Obr. 5.77. Nerotační svislý 3D stroj typ s pevným stolem – např. MORI SEIKI série SVL



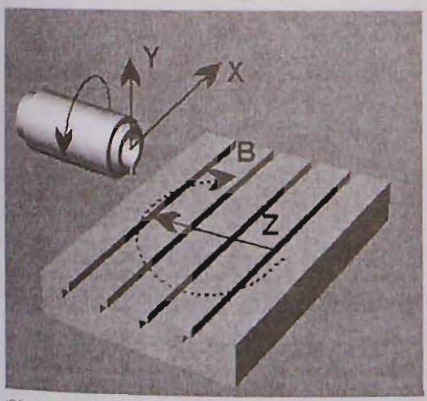


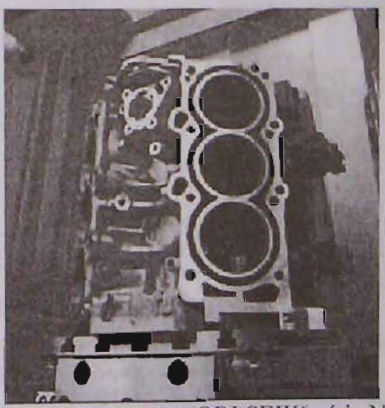
Obr. 5.78. Nerotační vodorovný 3D stroj typ desková vyvrtávačka– např. MORI SEIKI série HVM [19]





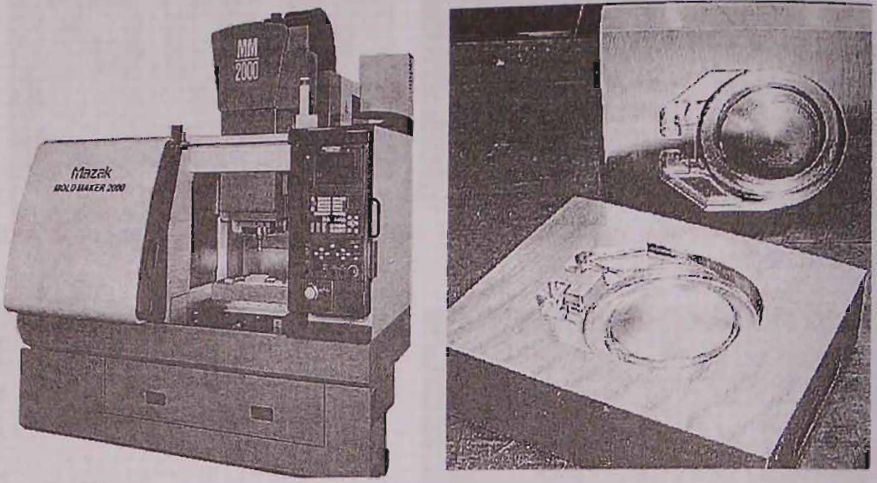
Obr. 5.79. Nerotační vodorovný 3D stroj typ rovinná frézka– např. MORI SEIKI série MH



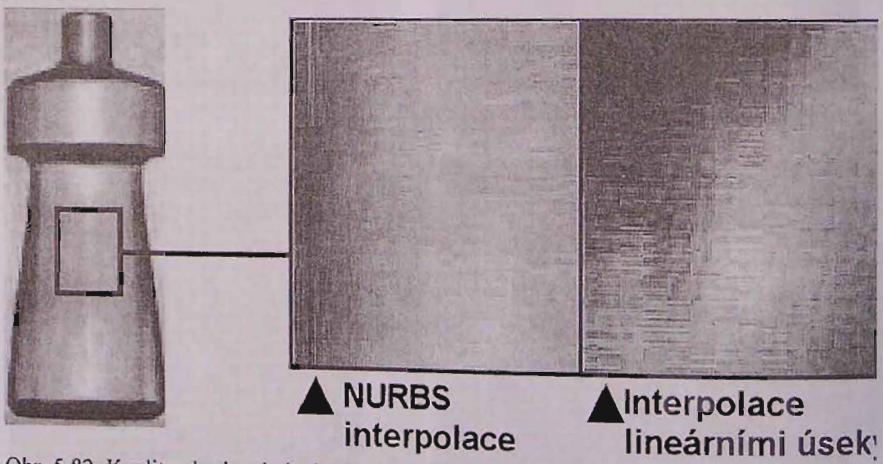


Obr. 5.80. Nerotační vodorovný 4D stroj typ rovinná frézka– např. MORI SEIKI série NH

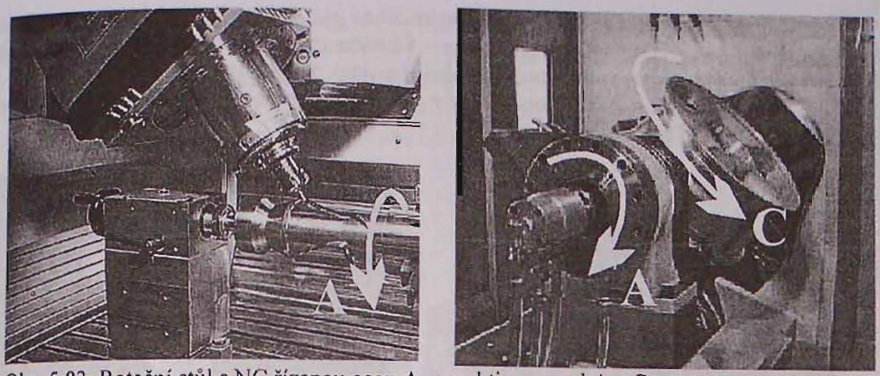
Pro jejich efektivní využití opět platí – nejkratší cyklus s vyloučením ručních zásahů. Konstruktér by proto měl využívat takové konstrukčně technologické prvky a takových parametrů, které tento trend podporují viz například kapitola 5.2.2.1. Také přístupnost, poloha a tvar obráběných ploch musí být ve vazbě na technologické možnosti obráběcího stroje. Pochopitelně i u nerotačních strojů platí, že čím jsou jednodušší, tím mají méně technologických možností, ale jsou levnější a často i spolehlivější.



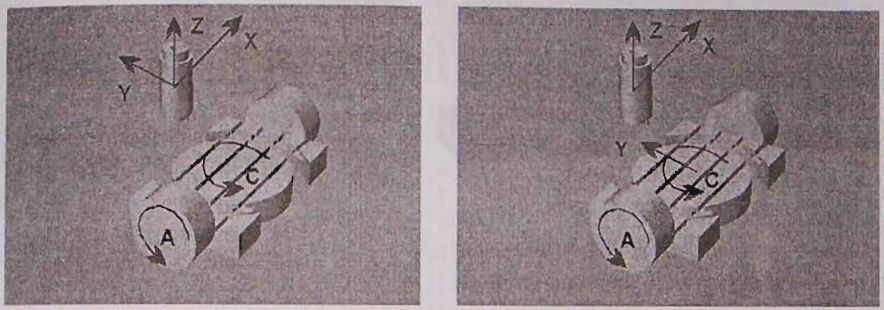
Obr. 5.81. Svislé dvoustojanové obráběcí centrum pro vysokorychlostní obrábění forem MOLD MAKER 2000 [5]



Obr. 5.82. Kvalita obrobené plochy v závislosti na typu interpolace dráhy nástroje [5]



Obr. 5.83. Rotační stůl s NC řízenou osou A respektive osami A a C



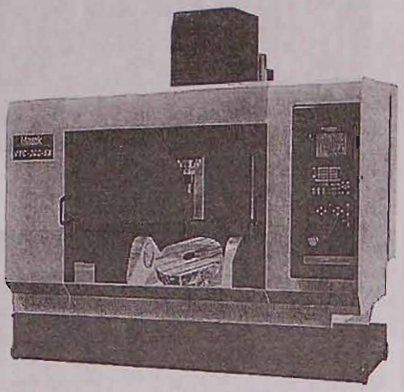
Obr. 5.84. Pětiosé stroje s otočným stolem-MAZAK VARIAXIS resp. MORI SEIKI GV-503/5AX

Na obrábění složitých a přesných tvarů zejména modelů a dutin zápustek, forem pro vstřikovací lisy, pro výrobu skla a hlavně forem na zpracování plastů jsou nabízeny speciálně k tomuto účelu určené stroje. Příklad viz obr.5.81. Tyto stroje jsou vybavovány vysokootáčkovými vřeteny s většími výkony, velkými posuvovými rychlostmi, zvýšenou přesností odměřování, ale také řídicími systémy specielně harwarově i softwarově vybavenými. Takže například interpolují dráhu nástroje NURBS křivkami místo obvyklými přímkami, zpracovávají i více než stovku bloků NC programu najednou, vládnou funkcemi pro vyhlazování interpolací, funkcemi vyhlazování obrysů a dalšími viz obr.5.82. To vede na získání nejvyšší možné kvality obrobené plochy bez viditelných stop. Umožňují i využití nových technologií jako například HSC obrábění.

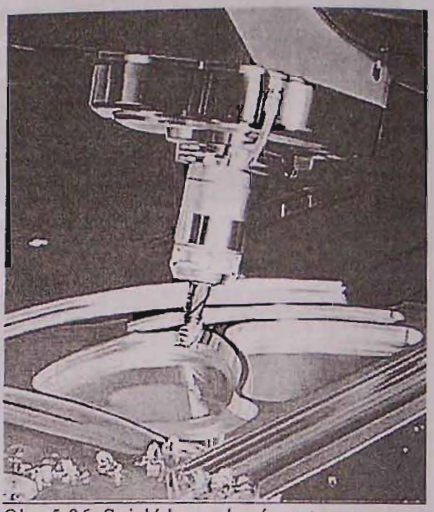
K příslušenství těchto strojů patří i možnost vnitřního chlazení nástrojů a chlazení studeným vzduchem. Pro kontrolu polohování polotovaru, ale i obrobené plochy a to včetně jejího skenování je určena vřetenová sonda. Nástrojová sonda se využívá nejen k seřizování nástrojů, ale i k získání jejich aktuálních rozměrů před konečnou třískou.

Pro rozšíření technologických možností lze použít i otočného stolu s NC řízením čtvrté osy nebo stolu se dvěmi NC řízenými osami viz obr. 5.83. Pohyb stolu je řízen indexováním po 1 stupni nebo jako plně řízená čtvrtá osa po 0,001°. **4D řízení** u frézek je ovšem souvislé řízení pouze ve třech osách, neboť lineární osa kolmá na osu rotace se obvykle nevyužívá. Jde tedy o souvislé řízení lineárních os X a Z a rotační osy kolem osy X, nebo lineárních os Y a Z a rotační osy kolem osy Y.

Nerotační stroje standardně vybavené řízením 5ti os jsou dnes ovšem také nabízeny viz obr. 5.84. Používají se varianty s natáčením stolu, i s natáčením vřeteníku ve dvou osách viz obr. 5.85. a 5.86. **5D řízení** frézování umožňuje obrábění jinak neobrobitelných tvarů, ale i efektivní obrábění dílce s více stran čímž se omezí nutnost přepínání obrobku. To přinese nejen zkrácení času výroby, ale i zvýšení přesnosti obrobku.



Obr. 5.85. MAZAK VARIAXIS 5D centrum s otočným stolem v osách C a A [5]

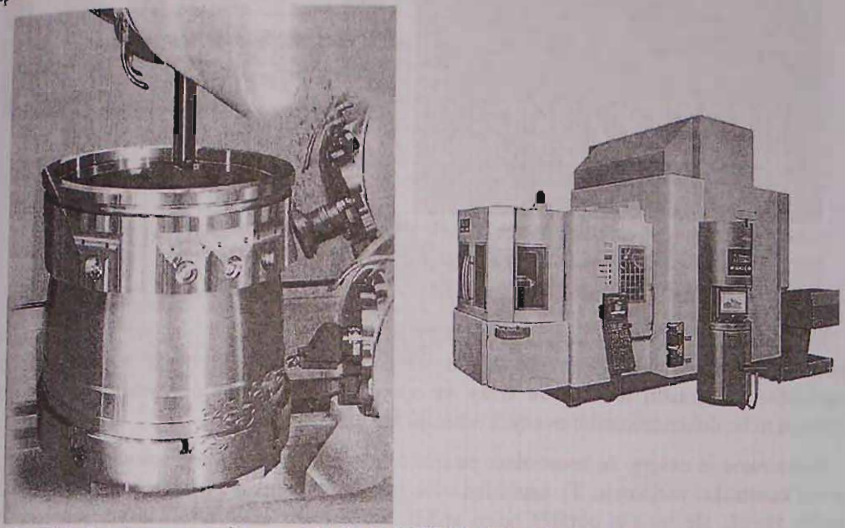


Obr. 5.86. Svislé konzolové centrum MAZAK VORTEX 815 s naklápěním vřeteníku ve dvou osách (5os) [5]

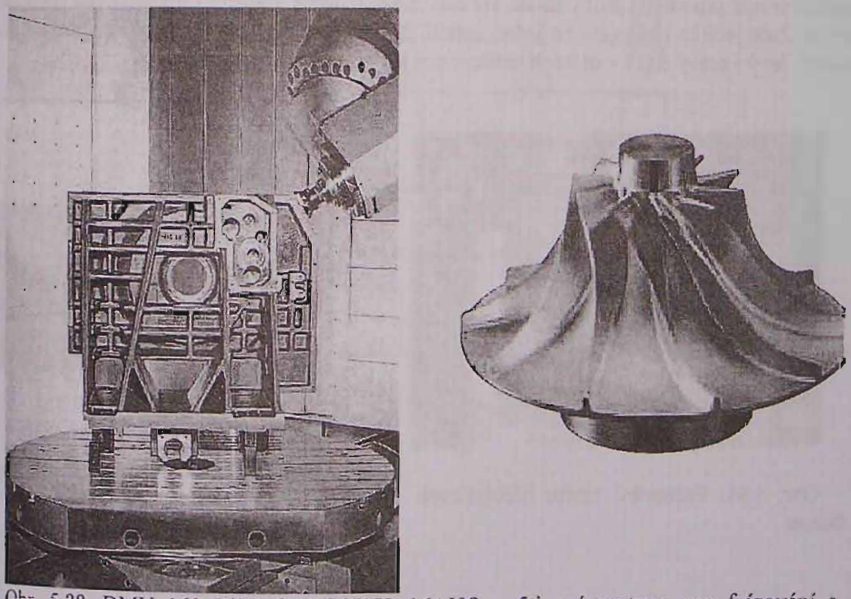
Těchto strojů se využívá zvláště v leteckém průmyslu pro výrobu rovinných dílců s úkosy stěn. Příkladem je VORTEX 815/80 viz obr. 5.86. Tento stroj je vybaven osami X, Y, Z, A (naklápění vřetena dopředu a dozadu) a B (naklápění vřetene vlevo a vpravo). Výbornou kvalitu obráběného povrchu zajišťuje jak integrovaný motor vřetene tak i nano interpolace řídicího systému.

Pro integraci frézařských prací se soustružením jsou nabízena centra, která zvládají obě tyto technologie. Opět cílem je nejvyšší možná produktivita a přesnost při obrábění těžších obrobků (cca do 4000kg). Centra jsou určena pro nasazení do kusové či malosériové výroby. Uplatňují se především ve výrobě strojů a nástrojů či forem, ale také v leteckém a vesmírném průmyslu. Obrábí z pěti stran a v pěti osách. Příklad těchto strojů viz obr.5.87. Toto centrum umožňuje soustružení, frézování, vrtání a řezání závitů provádět na jednom stroji, na jedno upnutí. Tuhost osy C, kterou je stroj standardně vybaven, umožňuje využití vysokého výkonu frézovacího vřetene při obrábění velmi komplikovaných součástek jako jsou například formy. Stroj je standardně vybaven osou Y. Ta umožňuje snadno obrábět komplikované tvary mimo osu, jako např. kompletní opracování klínové drážky nebo obrábění otvorů mimo střed. Stroj je vybaven i osou B. Poháněný nástroj může být naklápěn vůči ose Z v rozsahu úhlu 150 stupňů po krocích 0,0001 stupně. Díky tomu lze obrábět skloněné plochy a šikmé otvory. Pro kompletní obrábění této kategorie dílců je určeno i pětiosé centrum DMU 160 P/FD fy DECKEL MAHO viz obr. 5.88.

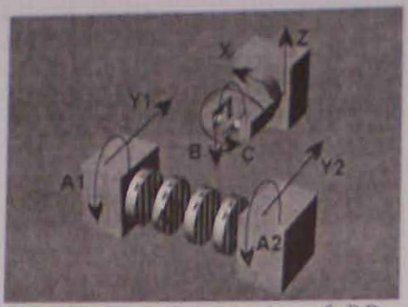
Pro obrábění dřeva a plastů jsou pak vyráběna CNC víceosá nerotační centra. Příkladem může být výrobní program italské fy P.Bacci. Tyto stroje jsou určeny pro vrtání, dlabání, čepování, frézování rybin (ozubování), drážkování, obrysové frézování ve 4 nebo 5ti osách, profilování a vyřezávání dřeva, plastů a slitin hliníku. Nacházejí využití například při výrobě replik starožitného a ohýbaného nábytku viz obr.5.89.



Obr. 5.87. Soustružení na frézce - MAZAK INTEGREX e 1060V [5]



Obr. 5.88. DMU 160 P/FD fy DECKEL MAHO – 5ti osé centrum pro frézování a soustružení

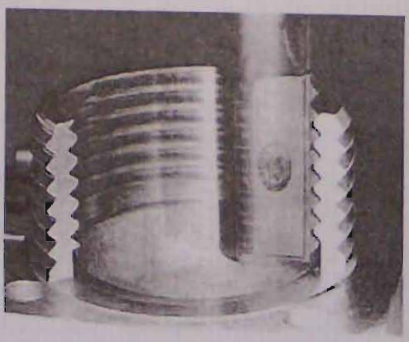


Obr. 5.89. Osmiosé centrum Avant fy P.Bacci z Casciny u Pisy [20]

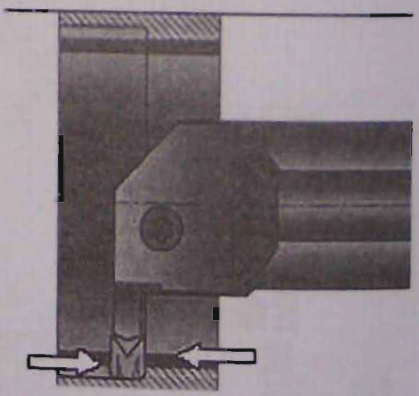
5.2.2.1. Frézování závitů

Nežádoucí ruční zásahy do cyklu stroje bývají nutné při obrábění malých průměrů otvorů (pod 4mm) a zejména při výrobě závitů v nich. Pro výrobu závitů je na CNC strojích nejefektivnější použití hřebínkové frézy ve spojení s příslušnými pevnými cykly či CAM rutinami nebo dokonce kombinovaných nástrojů viz např. obr. 5.90.

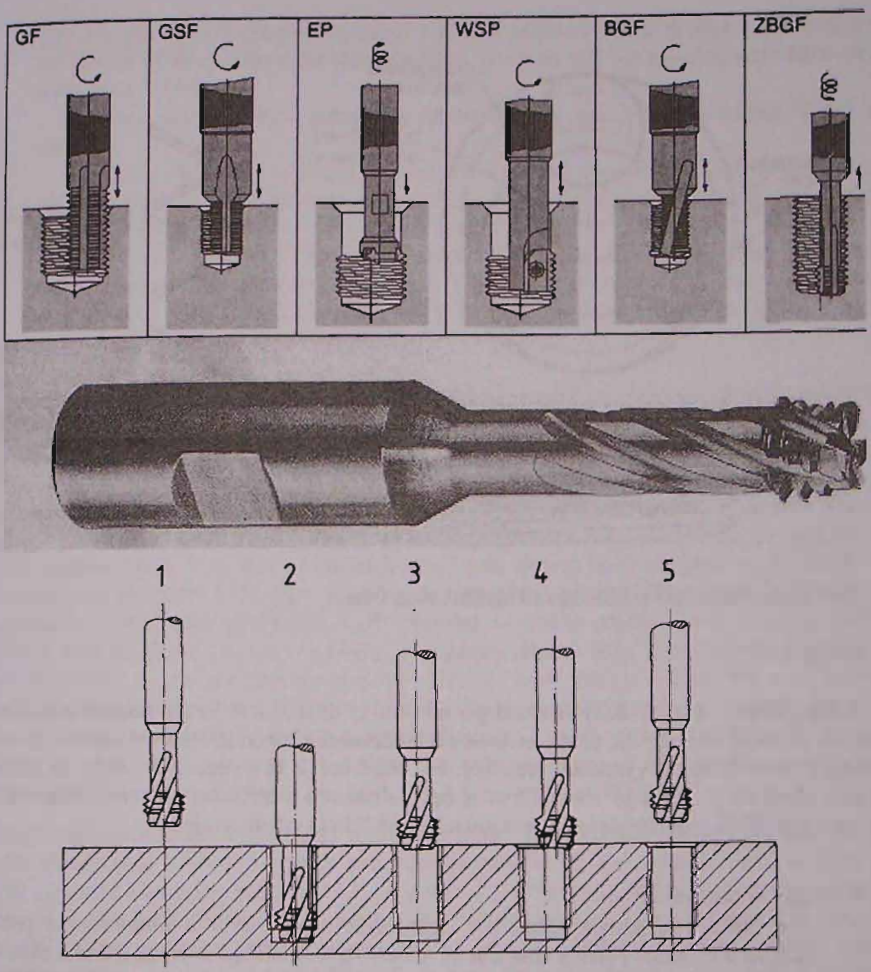
Podmínkou je ovšem, že konstruktér použití těchto progresivních technologických možností na své konstrukci podporuje. Tj. například výše zmíněná hřebínková fréza je použitelná na malé profily závitů, ale lze s ní obrábět nejen vnější, ale i vnitřní závit a to s levým nebo pravým stoupáním, ovšem za předpokladu, že průměr závitu je dostatečně velký, aby se do něj nástroj svým průměrem „vešel" viz obr. 5.91. a 5.92. pro vnitřní závit, respektive, aby se nedeformoval pro vnější profil závitu viz obr. 5.92. Je třeba umožnit i minimalizaci podřezání závitu. Zato jedním nástrojem na jedno upnutí můžeme frézovat závit daného stoupání vnější i vnitřní, levý i pravý a to i v délkách větších, než je délka řezné části nástroje.



Obr. 5.91. Frézování závitu hřebínkovou frézou

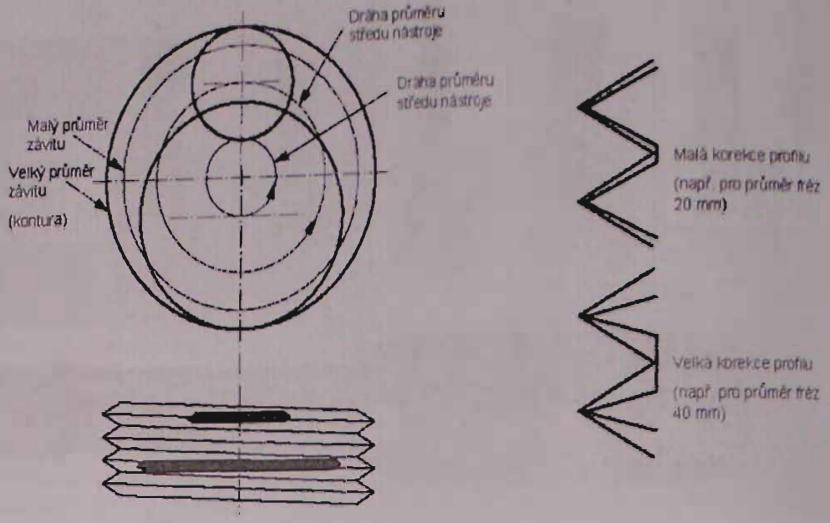


Obr. 5.93. Vyvrtávací tyč pro CNC stroje



Obr. 5.90. Cykly obrábění závitů hřebínkovou frézou a příklad nástroje [23]

Kombinované nástroje spolu s CNC řízením ovšem umožňují i využití technologie okružního či planetového frézování pro obrábění rotačních tvarů na těchto nerotačních strojích viz například obr. 5.93.



Obr. 5.92. Podřezání profilu závitu hřebínkovou frézou

Závěr

Zohledněním výše uvedených zásad při konstrukci dílců, které budou obráběny na CNC strojích zvýšíme produktivitu práce technologů, dosáhneme ekonomičtějšího využívání výrobní techniky, ale i moderní výpočetní techniky. Pochopitelně, a to v neposlední řadě, se zvýší i kvalita obrobků. K tomu je vhodné využít optimalizační a verifikační software. Napsaný či vygenerovaný NC program se ověřuje simulací mimo řídicí systém stroje.

Konstruktér tedy zejména:

- musí respektovat požadavky technologie výroby, zvláště minimalizovat počet, velikost a členitost ploch s ohledem na minimalizaci potřebného počtu a druhů nástrojů a strojního času. Vytvářet předpoklady pro možnost obrábění všech ploch nejlépe na jedno upnutí. Unifikovat konstrukčně technologické prvky i v rámci jedné součásti opět s hlavním cílem snížení počtu potřebných nástrojů. V případě rotačních součástí vyskytne-li se více drážek pro pera na dílci, je vhodné volit je se stejnou šířkou. V případě závitů volit jemná stoupání, vyrobitelná např. hřebínkovou frézou nebo nožem s částečným profilem. Je třeba, aby konstruktér omezil používání konstrukčně technologických prvků, které se na CNC strojích zhotovují obtížně. Jsou to zejména otvory menšího průměru než 6mm a závity v nich,
- musí oddělovat válcové plochy stejného jmenovitého průměru avšak s jinou tolerancím zápichy typu D. Volit tvary zápichů tak, aby byly vyrobitelné jedním nožem – nožem na čisto,
- musí potlačit používání těch konstrukčně technologických prvků, které vyžadují ruční zásah do automatického cyklu stroje. Pro obrábění nerotačních dílů musí mít na paměti, že CNC stroje obrábí jen letmo upnutými nástroji. Tomu je nutno přizpůsobit odstupňování otvorů s cílem vyloučit ruční zásahy. Šikmé otvory nebo otvory do

šikmých stěn prodražují výrobu, neboť vyžadují přípravu vrtané plochy a eventuálně i polohování dílce. Konstrukčně technologický prvek by měl být na místě dostupném pro komunální nástroj,

- musí mít na zřeteli požadavek na co nejtužší soustavu stroj-nástroj-upínač a obrobek,
- lidský faktor má na rozdíl od konvenční techniky, minimální vliv na výslednou přesnost dílce. Konstruktér se proto nemusí jistit předepisováním užších tolerancí, aby ovlivnil obsluhu stroje,
- je tedy nezbytné, aby se konstruktér detailně seznámil s technologickými možnostmi výrobní techniky. Právě pro její převratný vývoj lze dnes těžko určit vyčerpávající zásady technologičnosti. Ty je třeba stále upřesňovat tak jak se vyvíjí výrobní technika pro kterou mají platit.

Příklady obrobků u schémat jednotlivých strojů mají naznačit technologické možnosti toho kterého řešení. Ovšem počet řízených os obráběcího stroje nelze z technologického hlediska posuzovat bez návaznosti na konstrukční řešení dalších komponent, zejména řídicího systému a jeho softwaru, ale také systému CAM respektive CADCAM. Jen proto je každoročně nabízena řada nově koncipovaných strojů, které se ve svém řešení snaží sladit konstrukci všech komponentů ve snaze nabídnout stroj pro co nejproduktivnější a nejkomplexnější obrábění v nejlepší cenové relaci. V oblasti nerotačních strojů pak narůstá podíl obrábění kontinuálně v pěti osách nebo alespoň v 3+2 osách. Uvádí se, že toto řešení pokryje 73% případů. K výhodám kontinuálního řízení patří především vyšší přesnost obrobené plochy, lepší povrch, delší životnost nástroje (lepší záběrové poměry) a zkrácení času cyklu. Úspory času a zvýšení přesnosti přináší i omezení nutnosti přepínat dílec. Je lepší přístup k podřezaným místům. Nevýhodou je, že nelze zatím použít metodu HSC. Pohyb v rotačních osách je pomalý. Poziční řešení 3+2 přináší vedle vyšší přesnosti obrobené plochy, lepšího povrchu a delší životnosti nástroje a úspor při přepínání jednodušší programování a možnost použití moderních technologií (HSC). Proto se tyto techniky používají dnes i při výrobě forem.

Dalším faktorem je pak využití „3D korekcí nástroje". Tyto korekce musí podporovat řídicí systém a používaný CAM a to včetně použitého postprocesoru. Pak můžeme obrábět plochy s větší přesností a to podle jednoho NC programu i přeostřeným nástrojem, neboť můžeme definovat rozdíly mezi pohybem programovaného bodu nástroje a dráhou bodu kterým nástroj řeže. NC program v tomto případě obsahuje o tři rozměrová slova více tedy vlastně o tři hodnoty souřadnic. Tato pak zajistí definování úchylek obrobené plochy a ekvidistantní plochy pohybu seřizovacího bodu nástroje. Nejde tedy o data pro řízení dalších tří os, ale pouze pro korigování os stávajících. 3D korekce jsou dnes při obrábění prostorových ploch velmi žádané pro ekonomické i kvalitativní aspekty.

Literatura

[1]. MÁDL Jan; KAFKA Jindřich; VRABEC Martin; DVOŘÁK Rudolf. *Technologie obrábění a montáží.* ČVUT Praha 2000.

[2]. SVOBODA Karel. *Technologičnost konstrukce součástí vhodných pro obrábění na NC strojích.* SVNM Praha 1992.

[3]. KOLÁŘ, Josef. *Revoluce v CNC programování.* http://www.misan.cz/mazak/sortiment/mazak_programovani/mazatrol.htm

[4]. KAFKA, Jindřich; VRABEC, Matrin. *Technologie obrábění.*2. vyd. Praha : ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02327-3

[5]. http://www.misan.cz

[6]. http://www .iscar.cz

[7]. http://www .heidenhain.de

[8]. http://www.mikronex.cz

[9]. http://www.newtech.cz

[10]. http://www.kovosvit.cz

[11]. http://www.tajmac.cz

[12]. www.toshulin.cz

[13]. http://www.goos.cz/g34_nc.asp

[14]. http://www.bensoneng.ie

[15]. http://www.ckdblansko.cz

[16]. http://www.gildemeister.com

[17]. http://www.index-werke.de

[18]. http://www.hardinge.com

[19]. http://www.delcam.cz

[20]. http://www.bacci.com

[21]. http://www.bost.es

[22]. http://www.renishaw.cz

[23]. http://www.emugefranken.de

[24]. VRABEC Martin, MÁDL Jan. *NC programování v obrábění.* ČVUT Praha 2004.

[25]. JANDEČKA Karel, ČESÁNEK Jiří, KOŽMÍN Pavel. *Programování NC strojů - skripta pro výuku NC programování.* ZČU Plzeň 2000, ISBN 80-7082-694-4.

[26]. BILÍK Oldřich; VRABEC Martin. *Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů.* VŠB-TU Ostrava 2002.

[27]. POPPEOVÁ Viera. Vývoj sústružníckych centier pre komplexnú výrobu rotačných súčiastok. NSVI Prešov 2002.

[28]. VALČUHA, Štefan; MRŠKA, A. Diamond Coated Tools in Slovak Republic. Sborník. 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLEXIBLE TECHNOLOGIES, Novi Sad 2000

6 Význam technologičnosti konstrukce pro montážní proces

6.1. Úvod

Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají nejen vytvořit optimální podmínky z hlediska funkce, spolehlivosti a životnosti výrobku a jeho jednotlivých prvků (součástí, montážních celků), ale měly by také v plné míře respektovat hledisko efektivnosti výroby, tj. dosáhnout minimální spotřeby všech hmotných zdrojů a živé práce.

Technologičnost konstrukce musíme vždy chápat jako relativní vlastnost výrobku, montážních celků i jednotlivých součástí, která je mimo jiné ovlivněna také konkrétními podmínkami výrobního procesu. Přestože konstruktér při návrhu výrobku vychází z mnoha objektivních podmínek, zůstává mu jistá míra volnosti, zejména v otázkách:

- návrhu konstrukčně technologické koncepce výrobku a montážního celku
- výběru vhodných materiálů pro jednotlivé součásti se zřetelem na funkci, spolehlivost, životnost, hmotnost atd.
- stanovení optimálních požadavků na přesnost tvarů, rozměrů a drsnosti ploch ve vztahu ke spolehlivosti, životnosti, ale také vyměnitelnosti součástí apod.

Pro každou z uvedených otázek lze navrhnout několik variant řešení, a to nejen z hlediska konstrukce, ale při snaze o optimalizaci daného úkolu musíme brát v úvahu i požadavky výrobního procesu.

Montáž je závěrečná a ve většině případů nejsložitější etapa výrobního procesu. Tato etapa také rozhodujícím způsobem ovlivňuje nejen jakost a spolehlivost výrobků, ale také průběžnou dobu výroby, produktivitu práce i efektivnost celého systému.

Při výrobě strojírenských výrobků činí pracnost montážních procesů v průměru 38% (obráběcí stroje, textilní stroje, automaty, atd.) a z celkového počtu pracovníků ve výrobním procesu je na montáži zaměstnáno cca 32%.

Uvedené hodnoty jsou především závislé na konstrukčně-technologické koncepci výrobků, na použité, technologii montáže, stupni mechanizace a na technicko-organizační formě montáže.

U sériových a hromadných výrob se podíl pracnosti montáže snižuje především vlivem vyššího stupně "propracovanosti", konstrukčně technologické koncepce výrobků a možností zvýšení stupně specializace a automatizace montážních pracovišť. Z rozborů [1, 2] montážních procesů (MP) ve velkosériové. i hromadné výrobě vyplývá, že podíl automatizace montáže je poměrně malý - cca 5%, mechanizováno cca 20-25%, ale většina až 70% činností je realizována pouze ručně.

Jako příčiny nízkého stupně mechanizace a automatizace montážních procesů se uvádí (% četnost příčin):

- nízká sériovost výroby (cca 30%)
- velký stupeň konstrukční variantnosti (cca 25%) (nevyužívá se plně forem standardizace)
- problémy kvality (cca 10%) otázky přesnosti, drsnosti a opakované shodnosti
- komplikované konstrukční řešení (cca 10%)
- obtížná orientace součásti při montáži (cca 10%)

Montáž nelze chápat jako pouhé sestavování, seřizování polohy a spojování součástí v montážní celek (dále jen MC) nebo výrobek, ale do montážního procesu je nutné zařadit také dopravu, manipulaci a kontrolu. V kusové výrobě jsou často do montáže zahrnuty (někdy neoprávněně) práce přizpůsobovacího charakteru (např. dolícování; svrtávání apod.).

V tabulce 6.1 je uvedena struktura montážních činností v kusové a malosériové montáži. Se zvyšováním sériovosti výroby se zvyšuje především podíl činnosti manipulace a spojování na úkor činností typu "seřizování polohy" "demontáž a opětovná montáž".

Činnosti v montážním procesu	% podíl	Montážní činnost v operaci	% podíl
1. doprava	4		
2. přizpůsobovací práce	43		
3. příprava montáže	13		
4. montáž	27	ruční manipulace	11
		spojování	37
		kontrola	26
		seřizování polohy	15
		demontáž a opětná montáž	11
5. skladování (prodleva)	13		
	Σ 100%		Σ 100%

Tabulka 6.1 - Struktura činností v kusové a maloseriové montáži [7]

Z dosavadních poznatků vyplývá, že technicko-organizační úroveň montážního procesu bude především ovlivněna:

a) konstrukčně-technologickou koncepcí výrobku, tj. zejména:
- stupněm stavebnicovosti (modularity), rozdělením výrobku do relativně samostatných konstrukčně a technologicky uzavřených montážních celků
- složitostí a počtem součástí montážních celků
- vhodnými metodami "vyměnitelnosti" (absolutní, částečná, výběrová, atd.)
- použitými způsoby spojení a jištění součástí i MC.

Konstrukčně-technologická koncepce výrobku ovlivňuje nejen velikost pracoviště, stupeň mechanizace a automatizace, ale také průběžnou dobu montáže, dekompozici montážního procesu do časově návazných fází (etap) - předmontáž, montáž hlavních MC a konečná montáž.

b) technologií a organizací - např. pořadím a obsahem montážních operací, použitím progresivních technologií, zvolenou formou organizace, velikostí dávek a způsobem jejich zadávání do montáže atd. Tyto podmínky především ovlivňují časovou a prostorovou strukturu montáže.

c) pracovní silou a pracovními podmínkami, tj.:
- kvalitou, odborností a aktivitou pracovní síly, ale také odměňováním a prémiováním
- charakterem pracovního prostředí (osvětlení, hlučnost, režim práce)

d) vybaveností pracovišť, např. nářadím, přípravky, manipulačním zařízením (manipulátory, roboty, dopravníky atd.)

V současné době se ukazuje, že rozhodující etapou montážního procesu je konečná montáž. V konečné montáži je více než o 50 % menší vytížení ploch v (Nh/m^2), montážní celky vstupující do výrobku tvoří 30-60% ceny výrobku a podíl průběžné doby této etapy montáže činí cca 40-70%.

Z hlediska možných úspor jsou tedy určité rezervy v konečné montáži, avšak řešení tohoto problému má svůj počátek především v konstrukčně-technologické koncepci výrobků, možností jejich rozčlenění do relativně samostatných montážních celků, v metodách vyměnitelnosti atd.

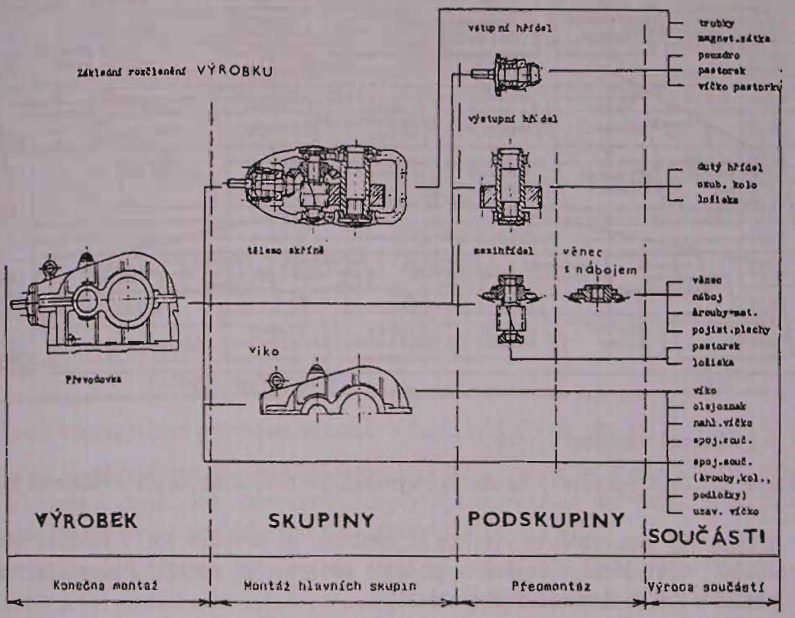
6.2. Význam konstrukčně-technologické koncepce výrobků pro projektování montážních procesů (MP)

Strojírenské výrobky jako konečný produkt výrobního procesu se většinou vyznačují značnou složitostí a členitostí jak z hlediska jednotlivých druhů a tvarů součástí, tak montážních celků, požadavků na jakost atd.

S ohledem na racionální průběh MP a zvýšení technicko-organizační úrovně montáže je žádoucí snížit počet možných konstrukčně-technologických variant na minimum.

Jedním z předpokladů splnění této podmínky je dokonalá spolupráce mezi konstrukcí, technologií a organizací výroby. Tato spolupráce by měla mimo jiné vycházet z vymezení základních všeobecně platných pojmů, které charakterizují strojírenský výrobek se zřetelem na požadavky jak výrobního, tak zejména montážního procesu.

Jakýkoliv strojírenský výrobek lze rozdělit s přihlédnutím k podmínkám výrobního a montážního procesu následovně - viz. Obr. 6.1.



Obr. 6.1 Základní rozčlenění výrobku

Uvedené členění součást-podskupina-skupina-výrobek lze stručně charakterizovat:

Součást je základním prvkem výrobku zhotoveným zpravidla z jednoho materiálu tvářením, litím, obráběním apod.

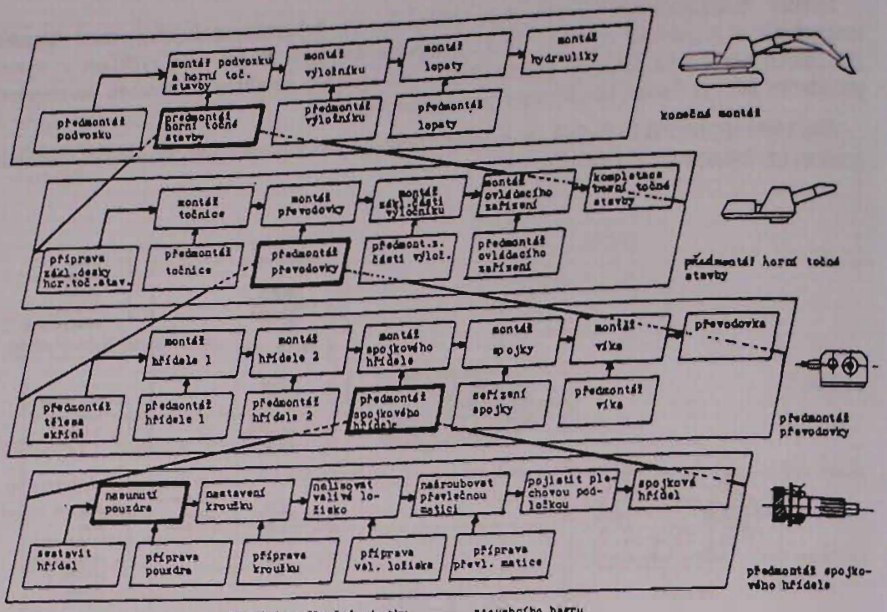
Podskupina je funkčně nebo konstrukčně neuzavřená základní část výrobku, kterou tvoří rozebíratelné nebo nerozebíratelné spojení dvou nebo více součástí.

Skupina je funkčně a konstrukčně uzavřená část výrobku, která vzniká spojením součástí a podskupin rozebíratelným nebo nerozebíratelným spojením.

Výrobek je konečný hmotný produkt funkčně a technologicky uzavřený, vytvořený ze součástí, podskupin a skupin spojených rozebíratelným nebo nerozebíratelným spojením.

Rozdělení výrobků do montážních skupin a podskupin by mělo respektovat konstrukčně-technologické požadavky. Při respektování pouze konstrukčních požadavků mohou vznikat MC, které sice splňují předepsanou funkci, ale tyto MC nelze smontovat předem (v předmontáži). Jsou montovány zpravidla až v konečné montáži a většinou vyžadují dodatečných úprav, např. dolícování, seřizování apod.

U složitějších výrobků nebo MC je rozčlenění do jednodušších celků nezbytné - viz. Obr. 6.2 zejména z hlediska srozumitelnosti konstrukčních podkladů, kvality a komplexnosti navazující montážní dokumentace.



Obr. 6.2 Základní rozdělení výrobku

Uvedené zásady a požadavky na členění výrobků lze realizovat již při sestavování kusovníků např.:

- *strukturního* kde rozdělení výrobku je zaměřeno na strukturu MC z hlediska montážních stupňů (řádů), které vyznačují v podstatě posloupnost montáže (0-konečná montáž, 1-montáž hlavních skupin, 2-9 předmontáž)
- *stavebnicového* který obsahuje kromě struktury výrobku také údaje o četnosti součástí pro montáž konkrétního MC.

Za základní konstrukční dokument, který má mnohostranné použití v přípravě výroby, můžeme považovat konstrukčně-technologický kusovník (v podstatě seznam součástí), který poskytuje informace:

- o konstrukci pro kontrolu úplnosti součástí daného výrobku pro případné změny v konstrukci, normalizaci atd.
- o technologii pro zpracování např. montážního schématu, montážních postupů a návodek, pro kontrolu výrobního procesu
- o plánování, organizaci a řízení např. pro nákup materiálu, přípravu materiálu a součástí ve skladu, předvýrobní a výrobní kalkulaci; zpracování katalogu náhradních dílů, kontrolu a řízení výrobního procesu atd.

Lze jej tedy využít nejen v konstrukci, technologii, ale také v útvarech organizačních a ekonomických.

Tento dokument obsahuje všechny potřebné technicko-ekonomické informace o výrobku, jednotlivých montážních celcích a součástkách, které jsou uspořádané ve vzájemném vztahu podle montážního schématu - viz. tabulka 6.2.

Tř. zn. přísl.	Poz.	Název	Rozměr	Kód pol.	Číslo výkresu nebo norma	Tříd. znak	Materiál	Celk. hmotnost	ks
301 003	2	Ozubené kolo	průměr 416		3-90-3365	510	14 220.2	107,90	1
301 003	1	Dutý hřídel	0		3-90-3020-000	300	12 051.1	33,50	1
301 003	2	Pouzdro pr.			3-90-1564-000	322	42 2420	6,58	1
301 003	3	Pouzdro pr.			3-90-1564-010	322	42 2420	6,57	1
301 003	4	Gufero	140 180 15		ČSN 02 9410			0,09	1
301 003	5	Kroužek	0		ČSN 02 9281.2		622446,07	0,01	2
301 003	7	Ložisko	23 028		ČSN 02 4703			6,72	2
0	8	Víčko	P12-230 230		4-90-1510-000		750 11 371.1	3,10	1
301 003	9	Těsnění	D22/D180 1		ČSN 02 9021		07	0,10	1
301 003	10	Str. kroužek	D 120 65		4-90-1710-000		311 11 500.0	2,65	1
301 003	11	Šroub	M 30 65		ČSN 02 1103		50	0,59	1
301 003	12	Podložka	30,5		ČSN 02 1740.02			0,03	1
301 003	13	Šroub	M8 22		ČSN 02 1103.12		50	0,02	8
301 003	14	Podložka	8,2		ČSN 02 1740.02			0,01	8
301 003	15	Pojist. kroužek	105		ČSN 02 2931			0,05	1
Celková hmotnost MC:							181,61		

Tabulka 6.2 - Seznam částí pro montážní celek "vstupní hřídel" (viz. obr. 6.3)

Tato široká upotřebitelnost konstrukčně-technologického kusovníku klade značné nároky na obsahovou i formální stránku jeho provedení (jednotnost, komplexnost, univerzálnost atd.) zejména s ohledem na budoucí možné použití prostředků výpočetní techniky v TPV[1].

Čím složitější bude výrobek nebo montážní celek, tím méně přehledné jsou ve většině případů výkresy sestav a tím je také těžší zpracovat podle těchto podkladů úkoly z oblasti technologické přípravy montáže.

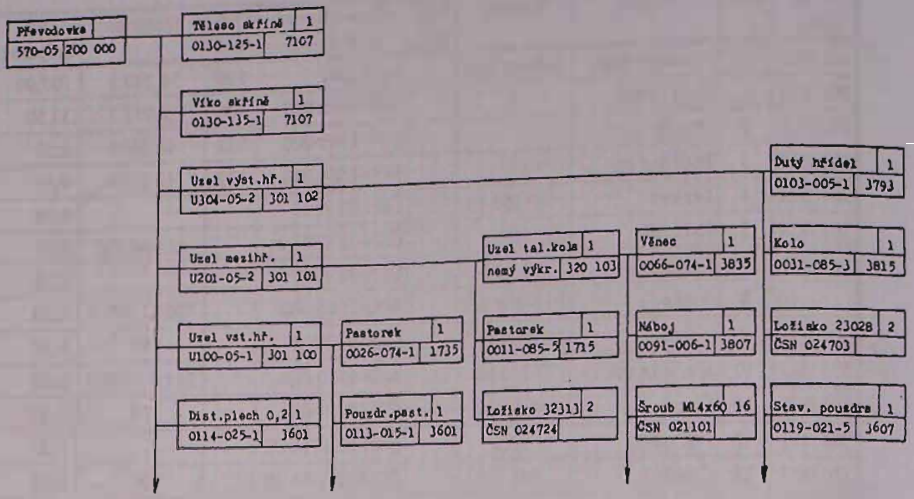
V těchto případech je účelné sestavit montážní schéma, které grafickým způsobem zobrazuje rozdělení výrobků do montážních celků až jednotlivých součástí. Kromě toho montážní schéma nám umožní (přehledně ukazuje) rozčlenění výrobků podle "montážních stupňů" (řádů). Dává nám přehled nejen o struktuře a složitosti výrobků a MC, ale ukazuje možnosti současné (paralelní) práce u jednotlivých montážních celků, rozčlenění montáží do jednotlivých fází (etap) z hlediska organizačního uspořádání (předmontáž, montáž hlavních skupin, konečná montáž).

Montážní schéma je tedy nejen podkladem pro řešení vlastní technologie montáže, ale také podkladem pro organizaci a řízení montážního procesu.

Ukázka montážního schématu je na obr. 6.3. U složitějších výrobků je možné zpracovat montážní schéma i pro jednotlivé montážní celky.

Dekompozice výrobku musí být především založena na systematickém třídění a výběru konstrukčně-technologických skupin výrobků tak, aby byla zaručena jejich minimální různorodost, aby byly maximálně využity všechny pracovní prostředky, aby montáž mohla být uskutečněna s minimálním počtem druhů montážních činností a realizována ve třech základních etapách.

[1] TPV - technická příprava výroby



Obr. 6.3 - Montážní schéma převodovky

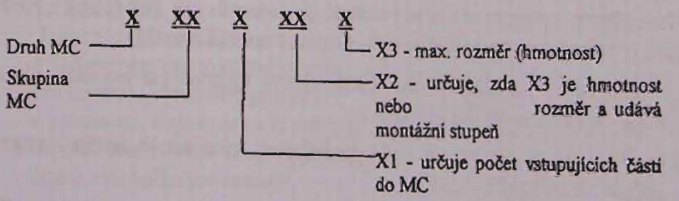
Při rozboru je možno využít třídících systémů montážních celků. Např. pro oblasti interních montáží byl zpracován ve VÚMA Nové Město nad Váhom, pracoviště Praha "Systém třídění montážních celků v technické přípravě montáže". [8]

Třídník z hlediska obsahu a formy zpracování umožňuje:

1. Hrubé třídění montážních celků podle třímístného znaku, který je možné využít při projektové přípravě montážních provozů, pro shromažďování výrobků a jejich unifikaci.
2. Podrobnější zatřídění montážních celků podle doplňovacího znaku, což je důležité např. pro typizaci, skupinovou montáž, pro zkvalitnění časových normativních údajů atd.

Klasifikace obsahuje kritéria pro označování MC především podle jejich funkce. Funkce MC je většinou dána jeho konstrukcí, která dále nepřímo určuje technologii montáže. Tato funkční a konstrukčně-technologická hlediska jsou zahrnuta do základního třímístného znaku MC.

Složení základního a doplňujícího znaku MC a jeho významu popisuje obr. 6.4



Obr. 6.4 - Třídící znak montážních celků (MC)

Význam doplňujícího znaku je následující:

Kód X1 - zde je zakódován počet všech vstupujících částí, tzn. jak součásti nakupované, tak vyráběné, a MC nižšího řádu. Bylo vytvořeno 10 skupin označení kódem 0-9, které umožní vytřídit základní skupiny MC v rámci souborů o určitém přibližně stejném počtu vstupujících částí.

Kód X2 - jeho pomocí jsou zakódovány dva údaje, které určují význam následujícího kódu X3:

a) - sudé hodnoty, tj. 0, 2, 4, ...=> X3 znamená maximální rozměr MC
   - liché hodnoty, tj. 1, 3, 5, ... => X3 znamená hmotnost MC
b) určuje složitost (montážní stupeň - řád) MC viz. tabulka 6.3.

kód / význam	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
počet částí vstupujících do MC	<2	2-5	5-9	9-15	15-40	40-70	70-120	120-250	250-500	>500
hmotnost (kg)	<0,5	0,5-3	3-12	12-23	23-50	50-100	100-500	500-10^3	10^3-5.10^3	>5.10^3
max. rozměr (mm)	<40	40-100	100-200	200-350	350-500	500-800	800-1200	1200-2500	2500-5000	>5000

Tabulka 6.3

Montážní stupně (řády) umožňují rozdělit montáž výrobků do tří základních etap montáže (viz. tabulka 6.4), které jsou z hlediska projektování montážních systémů rozdělené podle uspořádaní a vybavenosti pracovišť, organizace materiálových toků, nároků na montážní plochy atd.

Kód montážního stupně (řádu)	Charakter montáže základní etapy MP	Charakter MC
0	Konečná montáž	Finální výrobek
1	Montáž hlavních skupin	MC funkčně a technologicky uzavřené
2-9	Předmontáž	MC konstrukčně uzavřené, funkčně uzavřené pouze částečně

Tabulka 6.4

Kód X3 - pod tímto kódem je zachycen maximální rozměr nebo hmotnost. Tyto údaje slouží jako další jemnější dotřídění v rámci skupin (podle počtu vstupujících části, je zbytečné užívat obou údajů. Proto je vlastní systém jednoho či druhého navržen takto:

a) do hmotnosti 23 kg je pro výběr podobných MC rozhodující hmotnost. Maximální rozměr do této hmotnosti není rozhodující.

b) při hmotnosti větší než 23 kg je pro dotřídění rozhodující maximální rozměr (pro manipulační zařízení).

Způsob zakódování doplňujícího znaku udává tabulka 6.3.

Třídění výrobků v této etapě propracování projektu MS především umožňuje:

a) zvýšení stupně standardizace a to jak konstrukční, tak technologické, např. umožňuje:

- vyhledat stejné nebo funkčně podobné MC (konstrukčně-technologická hlediska)
- roztřídit výrobky nebo montážní celky do váhově a rozměrově stejných skupin
- vytvářet skupiny podobných konstrukčně-technologických celků s přibližně stejným počtem montovaných součástí

b) zaměřit rozborovou etapu také na požadavky technologického projektování, tj. na vybavenost pracovišť nářadím a pomůckami, stanovit podmínky pro optimální rozčlenění MC do etap a organizačních forem montáže atd.

Třídění má rovněž značný význam pro oblast konstrukčně technologického výzkumu a vývoje, např.:

- pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce,

- pro rozvoj mechanizačních prostředků používaných na montáži,
- pro specializaci a integraci montážních pracovních míst atd.

Výrobky podle [8] a uvedeného třídníku, lze např. rozčlenit na:

- MC prvního řádu, lze zařadit do III. stupně. Jde o hlavní sestavy, které zpravidla vstupuji do konečné montáže (převodovky, vřeteníky, ovládací nebo kontrolní systémy apod.) a plní ve výrobku více funkcí. Jsou složeny z MC vyšších řádů (2 až 9) a jednotlivých součástí;
- MC druhého řádu, které vstupují do MC prvního řádu nebo přímo do konečné montáže (např. spojky, čerpadla spod.). Většinou tyto MC plní jednu z důležitých funkcí ve výrobku. Montáž probíhá ve II. stupni, tj. v předmontáži a často je realizována na specializovaných nebo vícepředmětných montážních místech.

Další členění těchto MC do nižších řádů je závislé na konstrukci, sériovosti výroby a složitosti montáže.

Zpravidla není další členění nutné, jestliže:

- pracnost MC je nižší než 5 min,
- MC nevyžaduje přípravek, jímž je vybaveno jiné montážní místo,
- MC lze zařadit do souboru MC, pro něž je možné zřídit specializované pracoviště,
- MC třetího řádu s počtem vstupujících součástí 2 až 15. Jde např. o hřídel s ozubenými koly; těleso s ložisky a systémem mazání atd. Montáž MC je realizována v předmontáži (I. stupeň) a zde také vstupují do další montáže,
- MC čtvrtého řádu a vyšších - jde o jednoduché MC s počtem součásti 2 až 8 ks, k jejichž montáži je použito jedné nebo pouze dvou až tři technologií.

Do této skupiny lze zařadit např. hřídel s perem, víko s valivým ložiskem, ovládací páky apod.

Montáž I. stupně, tj. realizovaná v předmontáži a v této fázi také vstupují tyto MC do další montáže.

Rozdělení složitých MC do vyšších řádů dává určité předpoklady k vytvoření funkčně a konstrukčně technologicky shodných nebo podobných souborů MC. Například MC druhého a vyššího řádu je asi 5x více než MC řádu prvního. Je také zřejmě, že čím menší je MC (počet součástí), tím méně vyžaduje rozličných montážních činností.

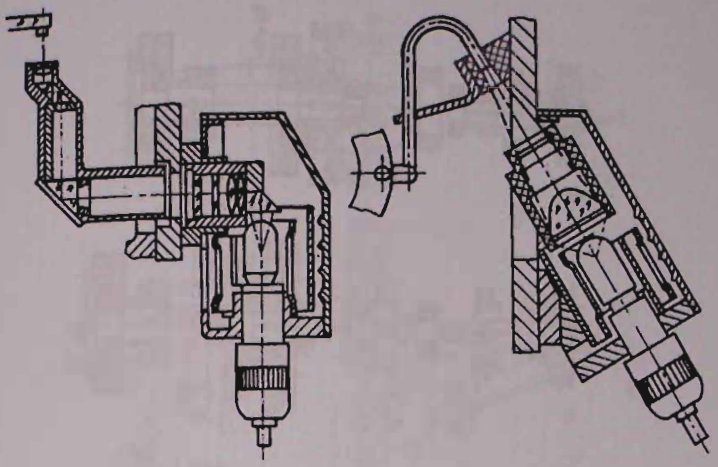
6.3. Vliv koncepce konstrukčního řešení

Při stanovení koncepce budoucího výrobku ve fázi konstruování je řešen nejen pracovní princip stroje nebo zařízení, kinematické schéma, otázky funkčních a provozních vlastností, ale je také nepřímo rozhodováno o základních technologických otázkách výroby i montáže.

Celá tato problematika je značně složitá a nelze ji v rámci rozsahu této publikace detailně probírat, a proto se zaměříme pouze na několik příkladů, které pomohou danou problematiku přiblížit.

Kromě podmínek, které byly uvedeny v kapitole 6.2 je nezbytné zaměřit se na maximální zjednodušení konstrukčního řešení, které však splňuje všechny funkční a provozní požadavky včetně otázek spolehlivosti a životnosti.

Například na obr. 6.5 je uveden systém osvětlování optické dělicí hlavy. Varianta a) je značně komplikovaná jednak z hlediska prostorového uspořádání součástí, jednak z hlediska počtu součástí (asi 30). Varianta b), která používá světlovodu z vláknové optiky; umožnila snížit počet součástí asi na 1/3, nehledě k zjednodušení celé montáže.



Obr. 6.5 Konstrukční varianty osvětlení optické dělící hlavy [12]

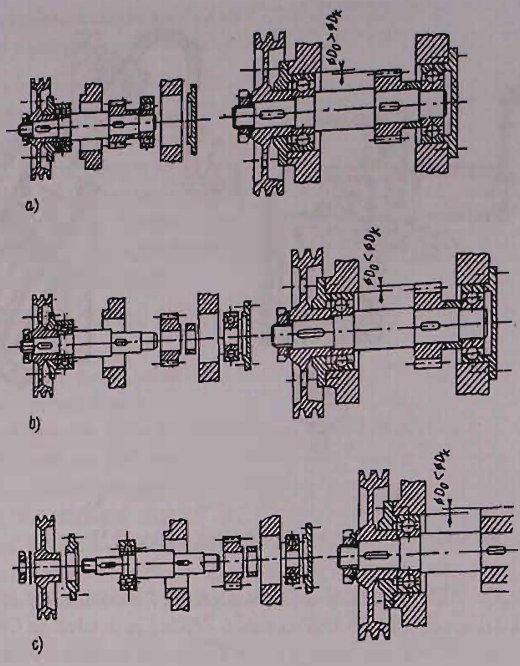
Konstrukční koncepce může podstatně ovlivnit nejen sled montáže, ale také rozčlenění výrobku nebo montážního celku do jednotlivých fází montáže. Příklad je uveden na Obr. 6.6, řešení a. až c.

Provedení a), kde $\varnothing D_0 > \varnothing D_K$, umožňuje téměř kompletní montáž výstupního hřídele, časově a prostorově nezávislou na montáži převodovky, a tím i zkrácení průběžné doby montáže.

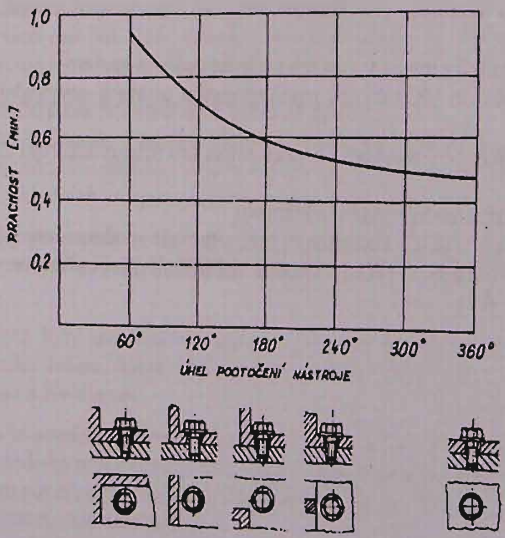
Provedení b), c) neumožňuje montáž vstupního hřídele mimo vlastní převodovku, což komplikuje jak technologické, tak organizační podmínky montáže.

Kromě uvedených hledisek pro konstruování MC je rovněž nutné zaměřit pozornost na následující požadavky:

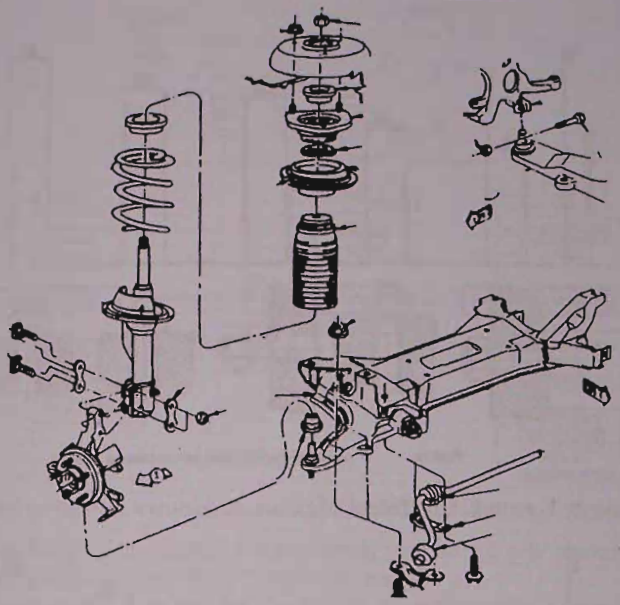
- rozčlenění obrobků provést v místech nejjednoduššího spojení
- rozdělit výrobek do MC tak, aby jejich spojení a ustavení nevyžádalo dodatečné dolícování na montáži
- v místech spojení MC musí být dostatek místa pro přístup nástrojů a pracovníků při montáži (viz. obr. 6.7)
- konstrukce musí umožnit snadnou kontrolu
- členění výrobků a jejich konstrukce musí umožnit snadnou manipulaci, např. sestavování jednotlivých součástí v MC je vhodné uskutečnit především ve dvou směrech na sebe kolmých (obr. 6.8).



Obr. 6.6 – Vliv konstrukčně technologické koncepce montážního celku na složitost montáže [12]

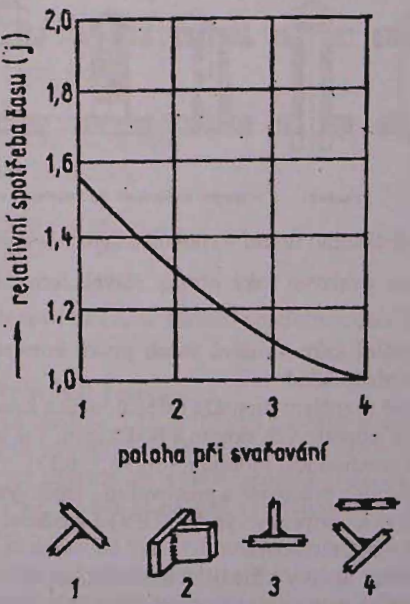


Obr. 6.7 – Vliv přístupnosti k místu spojení na pracnost

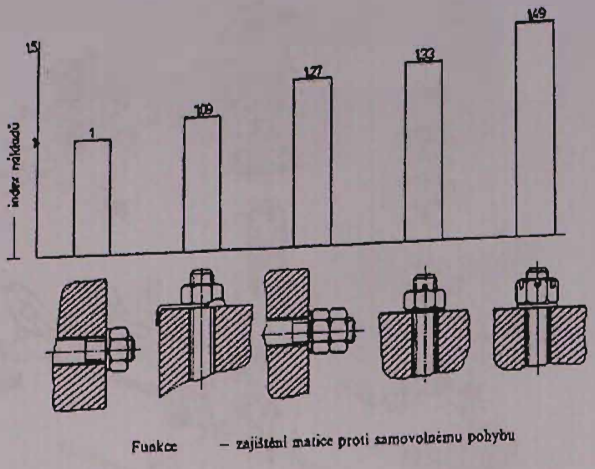


Obr. 6.8 – Konstrukčně technologická koncepce montážního celku osobního automobilu

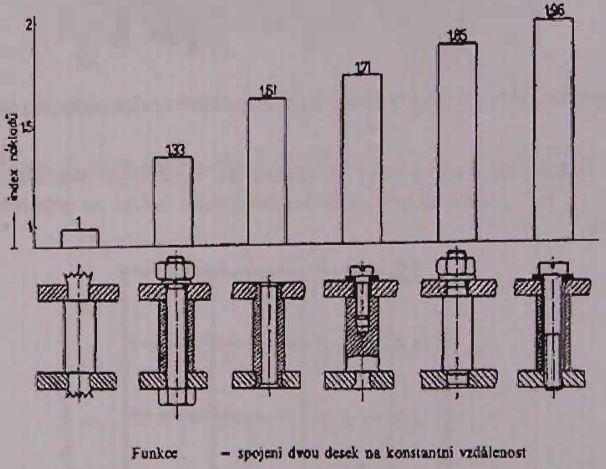
Konstrukce ovlivňuje montážní proces i v oblasti tzv. konečných montážních prvků. Příklady jsou na obr. 6.9 až 6.11, které ukazují vliv konstrukčního řešení na relativní růst pracnosti a výrobních nákladů.



Obr. 6.9 – Vliv polohy při svařování na velikosti pracnosti



Obr. 6.10 – Varianty konstrukčního řešení

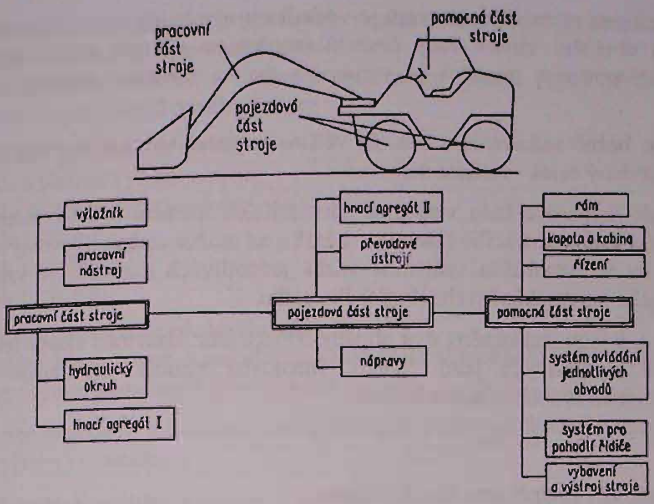


Obr. 6.11 – Varianty konstrukčního řešení – spojení a zajištění montážních celků

V této souvislosti musíme uvažovat také otázky stavebnicového nebo skupinového způsobu řešení.

Koncepce, která v maximální míře využívá všech prvků konstrukční standardizace (typizace, unifikace, normalizace) dává předpoklad:

- pro časové a prostorové rozdělení montáže (předmontáž a konečná montáž viz. obr. 6.1)
- pro současnou montáž jednotlivých skupin a podskupin; což umožní zkrátit průběžnou dobu montáže, resp. zvýšit průchodnost montáže, (obr. 6.2, 6.12)
- pro specializaci montážních pracovišť a pracovníků - lepší využití kvalifikace
- pro zjednodušení technické přípravy výroby (TPV) a možnost její automatizace
- pro lepší kompenzaci výrobních chyb
- pro snadnější konstrukční úpravy z hlediska modernizace výrobku
- pro zlepšení kooperačních vztahů mezi jednotlivými závody apod.



Obr. 6.12 – Základní rozčlenění výrobků do montážních celků

Technologičnost konstrukce výrobků lze posuzovat také na základě ukazatelů porovnáním staré a nové konstrukce vzájemně srovnatelných výrobků, např.:

a) ukazatelem snížení pracnosti jak v technické přípravě výroby, tak ve výrobě samotné
b) ukazatelem snížení spotřeby materiálu
c) ukazatelem snížení vlastních nákladů výroby

V případě, že nejsou k dispozici vypracované výrobní postupy a normy času, je možné posuzovat technologičnost konstrukce nepřímo, např.:

- ukazatelem dědičnosti konstrukce

$$U_d = \frac{počet_převzatých_součástí_ze_stávajícího_stroje}{celkový_počet_součástí_u_nové_konstrukce}$$

- ukazatelem unifikace konstrukce

$$U_u = \frac{počet_druhu_unifikovaných_(stálých)_součástí}{celkový_počet_druhů_součástí_ve_výrobku}$$

- ukazatelem normalizace konstrukce

$$U_n = \frac{počet_druhů_normalizovaných_součástí}{počet_druhů_vyráběných_součástí_celkem}$$

Podobným způsobem lze hodnotit i ukazatel snížení spotřeby materiálu, počtu druhů materiálů apod.

6.3.1. Metody řešení rozměrových řetězců

Výrobní náklady vynaložené na zhotovení jednotlivých součástí a jejich montáž jsou mimo jiné také závislé na požadavcích jakosti výroby. Je třeba si uvědomit, že zvyšováním požadavků např. na rozměrovou přesnost snižují se náklady na vlastní montáž (odpadá řada montážních prací k vzájemnému dolícování součástí), ale zvyšují se naopak výrobní náklady při obrábění.

Má-li být výroba hospodárná je nezbytné vytvořit podmínky, které umožní montáž jednotlivých součástí nebo konstrukčně-technologických celků vyměnitelným způsobem, tj. s minimálními nároky na dodatečné přizpůsobování rozměrů a vzájemné dolícování součásti.

Rozměry a úchylky jednotlivých rozměrů musí být určeny tak, aby byly splněny nejen požadavky funkční, ale také výroba i montáž musí být co nejefektivnější.

Stupeň nepřesnosti rozměrů nebo tvarů je výsledkem výrobních, chyb (úchylek), které vznikají během procesu obráběni vlivem řady činitelů (nepřesnost seřízení stroje, nepřesnost měřidel, nástrojů atd.). Nepřesnost rozměrů je vymezena dvěma mezními rozměry, jejichž rozdíl je tolerance.

V montáži se běžně setkáváme s tím, že většina rozměrů součásti je vzájemně spojena mezi sebou a tvoří uzavřený celek - řetězec měr.

Řetězcem měr rozumíme řadu vzájemně souvisejících rozměrů a jejich tolerancí, které tvoří uzavřený celek (včetně uzavíracího článku), v němž není možné změnit libovolný rozměr nebo jeho toleranci; aniž by se neporušila vzájemná vazba jednotlivých rozměrů, ve vztahu k funkčním vlastnostem daného konstrukčně technologického celku.

Na obr. 6.13 a, b jsou znázorněny dva případy řetězce měr. Uzavírací článek řetězce A_y je určen jako výslednice jednotlivých jeho článků. Jmenovitý rozměr uzavíracího článku je dán algebraickým součtem rozměrů článku řetězce:

$$A_y = A_1 - A_2 - \ldots - A_i - \ldots - A_{m-1}$$

kde A_y je jmenovitý rozměr uzavíracího článku,

$A_1 \div A_{m-1}$ - jmenovitý rozměr článků řetězce měr,

m - celkový počet článků řetězce, včetně uzavíracího.

Pro sestavení výchozí rovnice v konkrétním případě je nutné vždy stanovit výchozí bod (nulový) a určit kladný a záporný směr (polohu) jednotlivých článků řetězce měr.

Pro případ na obr.13a platí:

$$A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_y = 0$$

z toho:

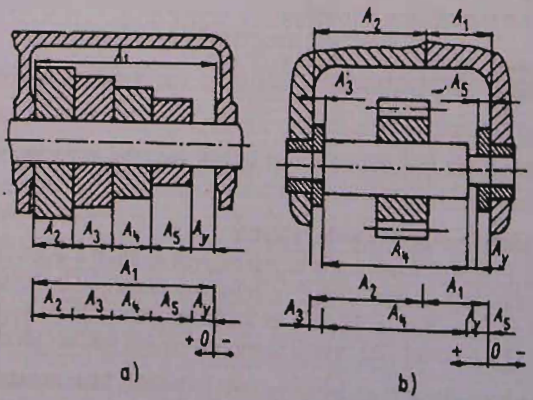
$$A_y = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5$$

Pro případ na Obr. 6.13b platí:

$$(A_5 + A_y + + A_4 + A_3) - (A_2 + A_1) = 0$$

z toho

$$A_y = (A_2 + A_1) - (A_5 + A_4 + A_3)$$



Obr. 6.13 - Řetězce měr

Při výpočtu tolerancí rozměrového řetězce musí konstruktér obvykle řešit jednu z těchto úloh:

1. Při stanovení tolerancí jednotlivých článků řetězce měr je nutné určit jmenovitý rozměr a toleranci uzavíracího článku
2. Při stanovení velikostí a tolerancí uzavíracího článku vypočítat hodnoty tolerancí jednotlivých článků daného řetězce

Tyto úlohy lze řešit podle těchto metod:
- metoda absolutní vyměnitelnosti,
- metoda, částečné vyměnitelnosti,
- metoda výběrová,
- metoda licování,
- metoda regulační.

Volba jednotlivých metod bude především závislá:
- na funkčních a provozních požadavcích konstrukčně technologických celků,
- na technicko-organizačních podmínkách montáže.

Na správné volbě metody vyměnitelnosti za uvedených podmínek bude do značné míry závislá také efektivnost výroby i montáže.

6.3.1.1. Metoda absolutní vyměnitelnosti

Tato metoda umožňuje montáž všech součástí, které tvoří jednotlivé články řetězce měr, zhotovených v předepsaných rozměrech a tolerancích, bez předchozího výběru, přizpůsobení nebo dolicování, a zabezpečuje plně přesnost uzavíracích členů rozměrových řetězců.

Výhody absolutní vyměnitelnosti:
- jednoduchá technologická příprava montáže (členění, mechanizace montážních prací, normování práce na montáži),
- jednoduchá a hospodárná montáž (montáž součástí bez výběru a přizpůsobování, možnost využít pracovníky s nižší kvalifikací atd.).

Při této metodě musí být splněny tyto předpoklady:
tolerance uzavíracího článku je rovna součtu absolutních hodnot lineární řady dílčích tolerancí,

$$\delta A_y = \delta A_1 + \delta A_2 + \ldots + \delta A_{m-1}$$

přesnost zhotovených článků musí být uvnitř tolerančního pole uzavíracího článku, tzn., že

$$\delta_{A_y} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i \qquad \text{nebo} \quad \delta_{sr1} = \frac{\delta_{A_y}}{m-1}$$

resp. musí platit:

$$\delta A_1 = A_{1\max} - A_{1\min}$$

$$\delta A_i = A_{i\max} - A_{i\min}$$

Z předcházejících rovnic vyplývají určité nevýhody metody absolutní vyměnitelnosti:
- při větším počtu článků vzrůstá hodnota tolerance uzavíracího článku (při konstantním m je nutné zmenšit tolerance u jednotlivých článků řetězce, tzn. přesnější výroba, zvýšené náklady),
- stejnoměrné rozdělení tolerance uzavíracího článku se doporučuje pouze tehdy, když všechny články řetězce jsou stejné hodnoty a kladou přibližně stejné nároky na výrobu.

U této metody je nezbytné, zejména při větším počtu článků v řetězci měr uvážit přínos zúžení tolerancí jednotlivých článků v nákladech na montáž proti zvýšeným nákladům při výrobě součásti, a naopak.

Jelikož značná část strojírenských výrobků vyžaduje v montáži dodržení značné přesnosti a konstrukčně technologické skupiny jsou složeny z relativně velkého počtu součástí, je tato metoda neracionální zejména v malosériové výrobě. Hospodárné použití metody úplné vyměnitelnosti je

tedy možné v těch případech, kdy řetězec má malý počet článků, resp. kdy při větším počtu článků je přípustná velká tolerance uzavíracího článku.

6.3.1.2. Metoda částečné vyměnitelnosti

Tato metoda vychází z předpokladu, že čím větší je počet navzájem sestavených rozměrů (článků) ve vztahu ke konečnému rozměru, tím méně pravděpodobné bude „setkání" extrémních rozměrů jednotlivých dílů. Uvedené předpoklady plynou z teorie pravděpodobnosti. Lze dokázat, že skládáním neustále většího počtu nezávislých veličin se blížíme k rozdělení, jehož tvar je asymptoticky normální. Tuto skutečnost potvrzuje tzv. centrální limitní věta z počtu pravděpodobnosti (součtem mnoha nezávislých náhodných veličin obdržíme novou náhodnou veličinu, která je asymptoticky normální).

Skutečné rozměry každého článku řetězce i uzavíracího vlivem nahodilých chyb jsou rozloženy v celé šíři tolerančního pole, ale s rozdílnou četností výskytu. Pravděpodobnost vzájemného „setkání" extrémních rozměrů klesá se zvětšujícím se počtem článků v řetězci,

Z toho vyplývá také určitá možnost rozšíření tolerancí jednotlivých článků řetězce měr (viz tab. 6.5), ovšem při určitém, předem vypočteném činiteli rizika, tj. může se vyskytnout určité procento uzavíracích článků, u nichž hodnota tolerance překročí stanovené meze.

Předpokládáme-li normální rozdělení u všech rozměrů a stejné procento zmetků jak u jednotlivých dílů, tak u celkové tolerance uzavíracího článku, potom:

$$\delta A_y = \sqrt{\delta^2 A_1 + \delta^2 A_2 + \ldots + \delta^2 A_{m-1}} = \sqrt{\sum \delta^2 A_i}$$

Činitel rizika (t)	Procento zmetků (%)
3,89	0,01
3,29	0,10
3,00	0,27
2,58	1,00
2,00	4,55
1,65	10,00

Tabulka 6.5 – Činitelé rizika

Čím je větší počet dílčích rozměrů, tím širší tolerance si můžeme dovolit. Tak např. pro 9 dílů vyráběných ve stejné třídě přesnosti (při stejné toleranci dílčích rozměrů, které jsou normálně rozděleny) vyjde tolerance uzavíracího článku:

- při absolutní vyměnitelnosti:

$$\delta A_y = \sum_{i=1}^{10-1} \delta A_i$$

- při částečné vyměnitelnosti

$$\delta A_y = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta^2 A_i} = 3\delta A_i$$

Z uvedeného je zřejmé, že při částečné vyměnitelnosti je tolerance uzavíracího článku v tomto případě 3krát menší a lze tedy např. při zachování stejné tolerance uzavíracího článku rozšířit 3krát tolerance jednotlivých článků řetězce. Musíme však neustále kontrolovat, zda všechny dílčí rozměry podléhají normálnímu rozdělení.

Budeme-li brát zřetel na tvar rozdělení dílčích rozměrů, získáme ještě větší možnost k rozšíření tolerancí dílčích rozměrů nebo užší toleranci uzavíracího článku. Toleranci uzavíracího článku lze pro tento případ vypočítat ze vztahu:

$$\delta A_y = t\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} c_{A_i}\delta A_i}$$

kde t je činitel rizika. (viz tab. 6.5)

c_{A_i} - součinitel poměrného rozptylu (viz tab. 6.6).

Průměrné zvýšení tolerance jednotlivých článků řetězce lze stanovit ze vztahu:

$$R = \frac{\delta A_i}{t\sqrt{c_{Ai}^{m-1}}} : \frac{\delta A_y}{m-1} \text{ pak:}$$

$$R = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{m-1}{c_{Ai}}}$$

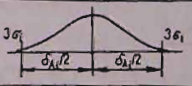
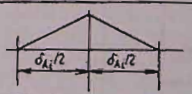
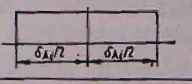
Z rovnice je zřejmé, že průměrné zvýšení tolerance jednotlivých článků řetězce je závislé na počtu článků m, na součiniteli poměrného rozptylu c_{Ai}, a na zvýšení činitele rizika t.

Tak např. při m = 7, A = 0,05 mm, t = 3, tj. předpokládané procento zmetků 0,27 % bude pro

$c_{Ai} = 1/9 \ldots R = \frac{1}{3}\sqrt{6*9} = 2{,}45$

$c_{Ai} = 1/6 \ldots R = \frac{1}{3}\sqrt{6*6} = 2{,}0$

$c_{Ai} = 1/3 \ldots R = \frac{1}{3}\sqrt{6*3} = 1{,}41$

Charakteristika rozdělení	Schéma	c_{Ai}
Normální rozdělení		1/9
Trojúhelníkové rozdělení		1/6
Rovnoměrné rozdělení		1/3

Tabulka 6.6 - Součinitele poměrného rozptylu

Jestliže zvýšíme procento zmetků 0,27% na 1,0 %, pak pro c_{Ai} = 1/9, R = 2,85. Předcházející text a příklad ukazují výhody metody neúplné vyměnitelnosti, která dává předpoklady k rozšíření tolerančních polí jednotlivých článků řetězce měr při zachování výsledné přesnosti uzavíracího článku při určitém předem výpočtem stanoveném činiteli rizika. V řadě případů umožní tato metoda snížit náklady na výrobu při zachování funkčních i provozních vlastností strojírenských výrobků.

6.3.1.3. Metoda výběrová

Výrobní náklady jsou značně ovlivněny velikostí tolerance. Nelze-li z funkčních důvodů od úzkých tolerancí upustit (valivá ložiska, vstřikovací čerpadla) a máme-li se vyhnout značnému zvýšení nákladů na výrobu, přistupujeme k výběrové metodě.

Princip výběrové metody je patrný z obr. 6.14. Například při montáži hřídele do náboje požadujeme dodržení vůle v určitém rozsahu (e_{min}, e_{max})

Aby bylo možné vyhovět danému požadavku, bylo by nutné, velmi přesně vyrobit jak hřídel, tak pouzdro (např. přesné broušení apod.).

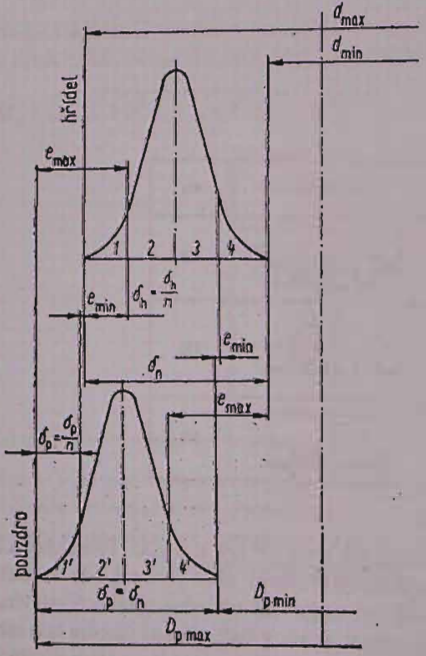
Tento požadavek lze však splnit při výrobě hřídele a pouzdra v hospodárných tolerancích $\delta_h = \delta_p$ tak, že roztřídíme vyrobené součásti podle dílčích tolerančních polí do n-skupin - 1, 2, ... n a 1', 2', ..., n',

$$n = \frac{\delta_h}{\delta_h}$$

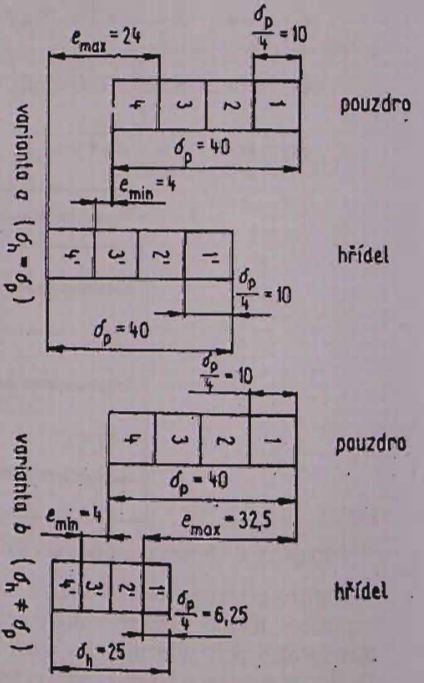
Hodnota n se volí podle požadované vůle nebo přesahu v rozmezí 3 až 50 (na obr. 6.14 je n = 4).

Při montáži kombinujeme vždy dvojice součástí, které mají stejné číselné označení dílčích tolerančních polí (1-1', 2-2' atd.). Součásti tedy nebudou navzájem vyměnitelné, např. nelze kombinovat 1-3' apod.

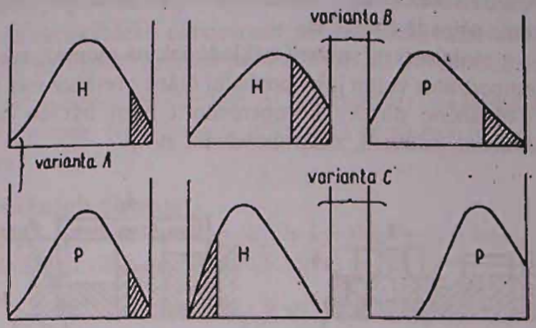
Jak je vidět z dalšího příkladu, je nutné aby $\delta h = \delta p$. Připustíme-li $\delta h \neq \delta p$ (viz obr. 6.15) např. při $\delta h = 25\mu m; \delta p = 40\mu m; e_{min} = 4\mu m$, pak při porovnání případů vyrábíme hřídel 1,6krát přesněji (40/25), ale tolerance uzavíracího článku se změnila pouze 1,42krát, je tedy případ ekonomicky nevýhodný.



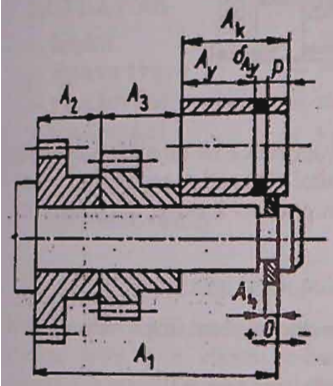
Obr. 6.14 Princip výběrové metody

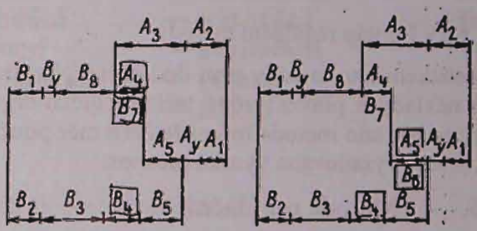


Obr. 6.15 Výběrová metoda vyměnitelnost – porovnání variant



Obr. 6.16 Možné případy symetričnosti rozdělení H – hřídel, P – pouzdro





Obr. 6.17 Princip metody lícování

Obr. 6.18 Výběr kompenzátoru

Při výběrové metodě je důležité zachovávat symetričnost rozdělení. Například podle obr. 6.16A - jsou-li obě křivky četnosti stejné; lze vždy nalézt správnou dvojici k montáži. Tam, kde tvar křivek četnosti je různě deformován (viz obr. 6.16 B, C), nelze mnohdy nalézt stejný počet dvojic k montáži. Někdy pomůže regulace tvaru křivky.

6.3.1.4. Metoda lícování

Předepsané velikostí tolerance uzavíracího článku řetězce měr (tj. také vůle nebo přesahu) se dosáhne dodatečnou úpravou (přizpůsobení rozměrů, dolícování) tzv. kompenzátoru.

Princip metody lícování ukazuje obr. 6.17. Velikost kompenzátoru je dána

$$A_K = (A_y + \delta A_y) + p$$

kde A_y je jmenovitý rozměr kompenzátoru,

δA_y tolerance jmenovitého rozměru kompenzátoru,

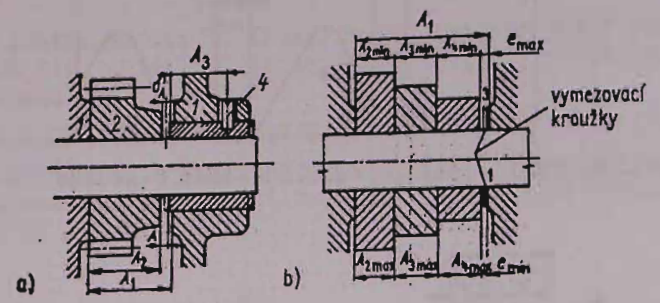
p - přídavek na obrábění.

Pokud jde o volbu kompenzátoru, je nutné uvažovat, že:

- jako kompenzátor nemůže být zvolen ten článek z řetězce měr, který vytváří paralelní spojení v řetězci měr (viz např. Obr. 6.18). Pokud bude zvolen jako kompenzátor článek $A_5 = B_6$, pak jakákoliv úprava článku se přenáší do

řetězců A i B. Totéž platí o článku $A_4 = B_7$. Jako kompenzátor může být použit např. v tomto případě článek B_4

- v závislosti na snížení nákladů jak na montáž; tak zejména na demontáž má být kompenzátor volen jako poslední článek řetězce měr (viz Obr. 6.17, 6.18)
- obráběné plochy kompenzátoru mají být co nejmenší (zejména při ručním obrábění, pilování, zaškrabovávání atd.).



Obr. 6.19 Princip regulační metody

Nedostatkem této metody jsou dodatečné přizpůsobovací práce na montáži, které zvyšují výrobní náklady a působí určité technologicko-organizační těžkostí v montážním procesu. Proto může být tato metoda řešení řetězce měr používána pouze v kusové, resp. malosériové výrobě, kde je vyžadována vysoká přesnost.

6.3.1.5. Metoda regulační

Princip metody je zřejmý z obr. 6.19 a, b. Požadovaného uložení, např. velikostí osové vůle, lze dosáhnout:

- změnou polohy předem určeného článku řetězce měr - viz obr. 6.19a,
- vložením určitého počtu kompenzačních prvků do řetězce měr - viz obr. 6.19b.

V prvním případě lze pomocí pohyblivého kompenzátoru nastavit příslušnou hodnotu např. osové vůle. Používá se zejména ve výrobě kusové a malosériové, kde přizpůsobovací práce na montáži by byly značně nákladné.

V druhém případě požadované uložení lze dosáhnout výběrem a kombinací kompenzačních prvků (např. plechů) tak, aby bylo dosažení jmenovitého rozměru uzavíracího článku včetně přípustné tolerance.

Vycházíme-li z dané tolerance uzavíracího článku δA_y a z přípustné vůle e_{min} není nutné vymezovat celý rozsah tolerance, ale jen rozsah:

$$k = \delta_{Ay} - e_{min}$$

Potřebný počet vymezovacích kompenzátorů např. o tloušťce l_k vyrobených v toleranci δ_K dostaneme:

$$x = \frac{k}{(l_K - \delta_K)}$$

po dosazení dostaneme:

$$x = \frac{\delta A_y - e_{min}}{l_k - \delta_K} - 1$$

Z předcházející rovnice je patrné, že počet kroužků je funkcí tolerance δ_K. Z dosavadních zkušeností se ukazuje, že ekonomická efektivnost použití kompenzátorů vyžaduje především více používat konstrukční unifikace rozměrů jednotlivých článků řetězce měr.

Výhoda této metody spočívá především v odstranění: dodatečného přizpůsobování uzavíracích článků řetězce měr. Nevýhoda v některých případech.řešení řetězce spočívá ve zvýšení počtu jeho členů.

6.3.2. Přehled montážních činností

V současné době se při montáži strojírenských výrobků setkáváme s řadou montážních činností, které lze v podstatě rozdělit do následujících skupin.

MONTÁŽNÍ ČINNOSTI

PŘÍPRAVNÉ	MANIPULAČNÍ	SPOJOVACÍ	KONTROLNÍ
– čištění	— vkládání	— šroubování	— měření
– úprava tvarů	— vyjímání	— lisování	— zkoušení funkce
– vyvažování	— nasouvání	— nýtování	
– značkování	— ustavení	— svařování	
– paletizace (orientovaná nebo neorientovaná)	— přemísťování	— pájení	
		— lepení	

Podrobnější členění např. manipulačních činností uvádí tab. 6.7

V maloséríové až kusové montáži jsou především rozhodující (viz [3]) přizpůsobovací a přípravné práce a z vlastní montáže má značný podíl kontrola a seřizování včetně demontážních prací. Tyto činnosti tvoří asi 80 % pracnosti montáže.

V sériové a hromadné montáži se bude zvyšovat podíl typických montážních činností, tj. spojování a manipulace (rozuměj vkládání, ustavení, zasouvání atd.), protože v montáži odpadne řada prací (např. dolícování, seřizování apod.).

Manipulační činnost	Označení	Stručná charakteristika
Neuspořádaná neorientovaná paletizace		objekty (součásti, MC, polotovary) v paletě uloženy volně — bez orientace
Uspořádaná orientovaná paletizace		objekty jsou v paletě uloženy orientovaně ve vztahu k další manipulaci
Přeprava objektu, materiálu		změna polohy místa objektu nebo materiálu
Rozdělení toku objektů, materiálu		manipulační činnost, kterou se odděluje přepravovaný objekt z dosavadního toku a směru
Sloučení toku objektů, materiálu		manipulační činnost, kterou se soustřeďuje přepravovaný objekt do jednoho směru a toku
Dávkování		dávkování objektů z jednoho toku do více toků
Otáčení		změna polohy objektu rotačním pohybem
Orientace		změna libovolné polohy objektu na předem definovanou
Vyjímání		vyjmutí objektu z předem určeného místa nebo polohy
Upnutí		zabezpečení polohy objektu v pracovní poloze
Uvolnění		uvolnění objektu z pracovní polohy
Polohování		realizace přesně stanovené polohy objektu při upínání
Kontrola polohy		kontrola skutečné polohy objektů

Tabulka 6.7 - Členění a označení manipulačních činností

Pro zvýšení efektivnosti montážního procesu je nutné věnovat větší pozornost výběru vhodných montážních činností především z hlediska:

- snížení podílu ručních prací na minimum,
- snížení pracnosti montáže a zvýšení produktivity práce a kvality práce,
- zvýšení stupně mechanizace a automatizace montážních činnosti,
- zvýšení stupně standardizace a specializace ve vybavení montážních míst pracovními prostředky a pomůckami (unifikovat a typizovat jak použití montážních technologií pro montáž různých MC, tak sjednocovat a zjednodušovat vybavenost pracovišť) atd.

6.3.2.1. Nářadí a pomůcky pro paletizaci, přepravu a orientaci součástí na montáži

Paletizací se rozumí orientované nebo neorientované uložení součásti v místě montáže, tj. zásobníku, paletě různých druhů nebo volně ložené.

Přeprava je spojená s přemístěním součásti nebo MC ze zásobníku do místa montáže

Orientací rozumíme přemístění součásti z libovolné polohy v prostoru do polohy a směru přesně definovaného.

V tab. 6.8 je uveden přehled četnosti výskytu jednotlivých technologických metod používaných na montáži pro rozebíratelné nebo nerozebíratelné spojení součástí nebo MC.

Z tabulky je zřejmé, že asi 75 % všech technologií spojování na montáži se realizuje lisováním, šroubováním, nýtováním, pájením a svařováním. Z uvedeného přehledu činností vyplývají rovněž požadavky na pomůcky a nářadí s ohledem na konstrukčně technologické řešení výrobku, montážních technologií, sériovosti a opakovatelnosti apod.

Skupina montážních činností	montážní činnost	průměrná četnost výskytu	
lisování	podélné ohýbání válcování	11 % 8 % 6 %	Σ 25 %
nýtování	nýtování na lisu nýtování kladivem	9 % 6 %	Σ 15 %
šroubování			33 %
svařování			5 %
pájení			7 %
lepení			4 %
ostatní			11 %

Tabulka 6.8 – Přehled spojovacích činností užívaných při montáži

Vše co bylo až dosud řečeno, směřuje k důležitým zásadám pro zvyšování úrovně technologičnosti konstrukce z hlediska výrobního procesu a jeho technologické přípravy, které je možné stručně shrnout takto:

1) při návrhu konstrukčně technologické koncepce výrobků a jeho jednotlivých částí maximálně využívat všech forem standardizace (simplifikace, typizace, unifikace a normalizace), která dává předpoklady zejména pro:
   - zjednodušení technické přípravy výroby a možnosti její automatizace
   - zjednodušení vnitropodnikových informačních toků zejména s ohledem na spolupráci jednotlivých technickoorganizačních útvarů v závodě
   - zlepšení časového, výkonového i funkčního využití strojů a zařízení v důsledku vyššího stupně specializace, koncentrace a kooperace výroby
   - zvýšení sériovosti atd.

2) využívat maximálně principu „stavebnicovosti", tj. „sestavovat" různé finální výrobky z komponentů (součástí a montážních celků), (např. spojky, převodovky, ovládací a řídící prvky, spojovací součásti apod.) získaných od různých specializovaných výrobců. U průměrné složitosti výrobků je možné dosáhnout asi 40-50% „stavebnicovosti" formou kooperace se specializovanými výrobci (např. na principu MAKE OR BUY[2]

3) členit výrobky z hlediska požadavků nejen konstrukčních, ale také výrobních a provozních. (viz. příklady uvedené v kap. 6.2 a 6.3, odst. 6.3.1 a 6.3.2)

Uplatnění těchto požadavků v technologičnosti konstrukce umožní:
- sjednotit a „provázat" konstrukční a technologickou dokumentaci
- vytvořit podmínky pro časovou souběžnost v jednotlivých fázích výroby a montáže, a tím zkrátit průběžné doby výroby

[2] MAKE or BUY - forma kooperace založený na principu ;,Udělej nebo nakup". Finální výrobek je společný produkt finalisty a subdodavatelů a vychází z předpokladů „Specializace-Kooperace-Důvěra". Tento princip vzájemné spolupráce je realizován zpravidla troji formou: MAKE of STOCK (výroba na sklad), MAKE or ORDER (výroba na zakázku) a ASSEMBLY to ORDER (montáž na zakázku).

- zlepšit podmínky organizace, plánování a řízení výroby ve vztahu k montážním procesům.

Uvedené požadavky nevyčerpají plně možnosti zvyšování technologičnosti konstrukce, ale naznačují základní směry možného zjednodušení technické přípravy výroby a montáže při zachování funkčnosti a účelnosti, spolehlivosti a životnosti výrobků, při současně možném zvýšení produktivity a efektivnosti výrobního procesu. Další informace [5].

6.3.3. Členění montáží - technicko-organizační formy

Každý montážní systém lze charakterizovat především jeho časovou a prostorovou strukturou, tj. rozčleněním montáže z hlediska její časové a technologické návaznosti (např. předmontáž, konečná montáž), časovým a výkonovým využitím pracovních sil, pracovních prostředků a energie, prostorovým uspořádáním jednotlivých objektů a pracovních míst atd. Časová a prostorová struktura každého montážního systému vychází v podstatě ze složitosti, velikosti a množství montovaných výrobků a je dána vždy určitou technicko-organizační formou.

Nejčastěji jsou rozděleny montáže z hlediska technicko-organizačních forem na (obr. 6.20):

- stacionární
- pohyblivé

Volba technicko-organizační formy montáže bude hlavně závislá na sériovosti výroby, složitosti, rozměrech a hmotnosti výrobků.

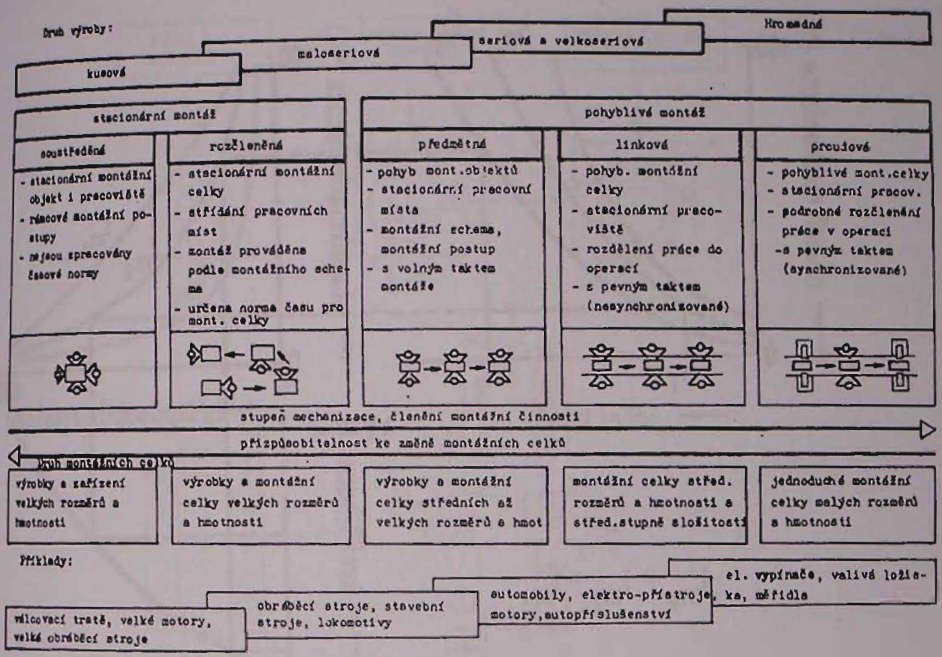
Rámcové podmínky pro volbu jednotlivých technicko-organizačních forem montáže jsou uvedeny na Obr. 6.20. Vzhledem k tomu, že přechod k vyšší formě umožňuje:

- rytmickou práci bez hromadění součástí mezi pracovišti, snížit rozpracovanou výrobu,
- specializaci pracovišť a pracovníků,
- dosažení vysoké produktivity práce při menším nároku na kvalifikaci pracovníků,
- zkrácení průběžné doby montáže,
- lepší časové a výkonové využití pracovních prostředků,
- zlepšit přehled o průběhu montážních celků na montáži atd.; mělo by být snahou projektantů volit co nejvyšší přípustné (technicko-ekonomicky) formy montáže.

V těchto případech, kdy sériovost výroby neumožní zvolit některou z vyšších technicko-organizačních forem (řadová, linková), je možné vytvářet určité předpoklady, zejména z hlediska technologické standardizace, např.:

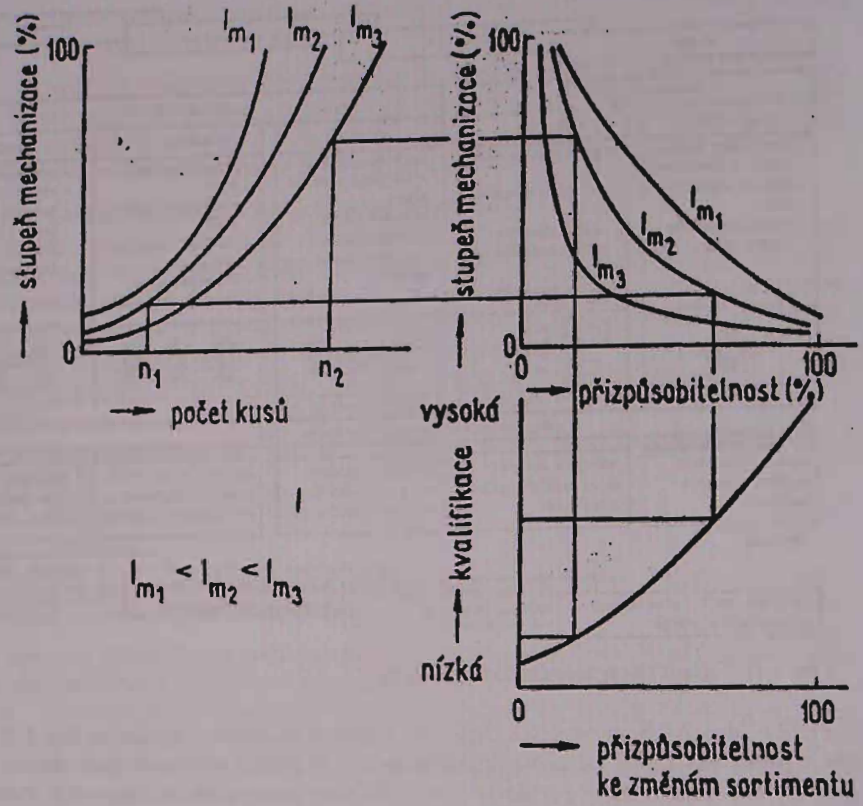
- slučování montážních celků se stejným nebo obdobným průběhem montáže, tj. podle konstrukčně technologické podobnosti
- slučování montážních činností stejného charakteru pro realizaci typových montážních míst.

Při projektování montáží pro určité zadané výchozí a cílové údaje v rámci dané technicko-organizační formy je také nezbytné řešit vzájemné vztahy především mezi sériovostí, stupněm mechanizace montážních míst, kvalifikací pracovníků, přizpůsobitelností montážního systému ke změnám sortimentu výroby apod.



Obr. 6.20 Technicko-organizační formy montáže

Průběh jednotlivých jmenovaných činitelů ve vzájemné závislosti je uveden na Obr. 6.21, kde je patrný vliv změny jednoho z činitelů na ostatní. Například čím menší bude sériovost výroby, tím větší budou požadavky na kvalifikaci pracovníků a tím větší bude přizpůsobitelnost montážního systému ke změnám sortimentu výroby. (I_m – velikost investičních nákladů)



Obr. 6.21 Vliv jednotlivých činitelů na přizpůsobitelnost ke změnám sortimentu

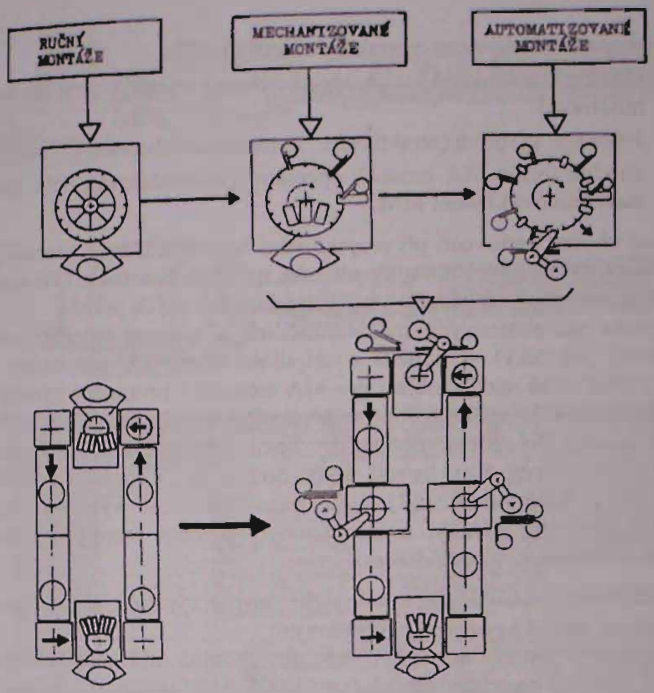
6.3.4. Předpoklady pro mechanizaci a automatizaci montážních procesů a systémů

V současné době můžeme realizované i projektované montážní systémy (MS) v podstatě rozdělit do tří základních forem: (viz. obr. 6.22)

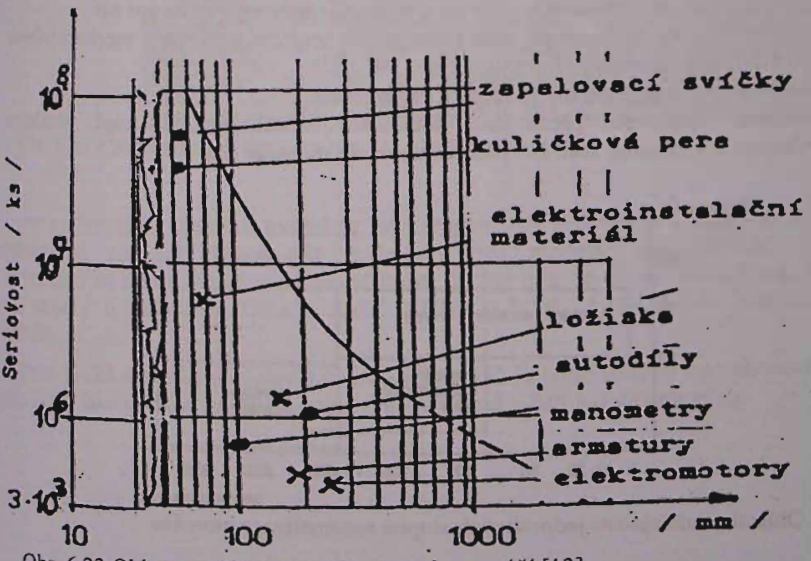
- ruční MS,
- mechanizované MS,
- automatizované MS.

Je třeba si uvědomit, ruční MS budou mít i v budoucnosti svoje uplatnění při projektování montážních pracovišť. Společně s mechanizovanými (flexibilními) MS budou mít ruční MS rozhodující podíl v montážním procesu jako celku. Značný význam pro projektování má také možnost kombinace ručních a automatických montážních míst. Tam, kde budou montážní operace složité a automatizace tohoto úseku by byla technicky a ekonomicky těžko řešitelná, můžeme kombinovat ruční a automatická montážní místa (MM)

Plně automatické MS se uplatňují především v hromadné výrobě malých výrobků s nízkou variantností.



Obr. 6.22 Základní formy montáže



Obr. 6.23 Oblast použití automatizovaných montáží [13]

Základními předpoklady pro mechanizaci a automatizaci (dále jen MA) montáže jsou pravidla:

a) dostatečná sériovost a opakovatelnost výroby
b) vhodné konstrukčně-technologické charakteristiky výrobků (složitost, velikost, hmotnost)
c) životnost výrobků (atraktivnost, konkurenceschopnost)
d) vhodná forma MA montáží speciální (jednoúčelová), nebo pružná (flexibilní, stavebnicová) řešení MM.

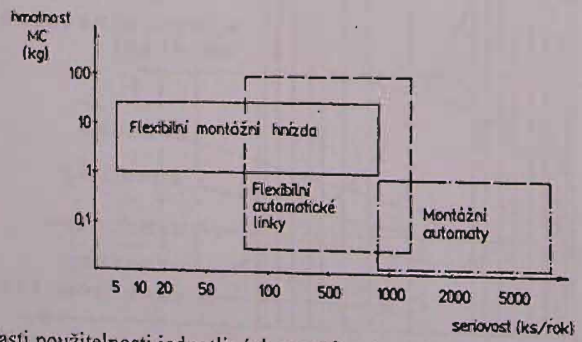
add a) Určení vhodné sériovosti při projektování MA, montážních procesů je závislé nejen na samotném množství výrobků (ks/rok), ale také na jejich hmotnosti, velikosti, složitosti, na vhodné formě automatizace (např. při využití standardizovaných prvků).

Vývoj a výroba stavebnicových mechanizačních a automatizačních prvků (šroubovací, nýtovací, lisovací jednotky) a použití manipulátorů, robotů, zásobníků, podavačů atd. umožňují v současné době rozšířit oblast pro MA montáží z hromadné výroby také do výroby sériové a středněsériové. V nedávné době se předpokládalo, že optimální velikost série je cca. 300 až 500 tis. ks/rok. V současné době, díky flexibilním montážním systémům, se uvádí v [13] minimální sériovost cca. 5000 ks/rok při hmotnosti MC v rozmezí 1 až 40 kg.

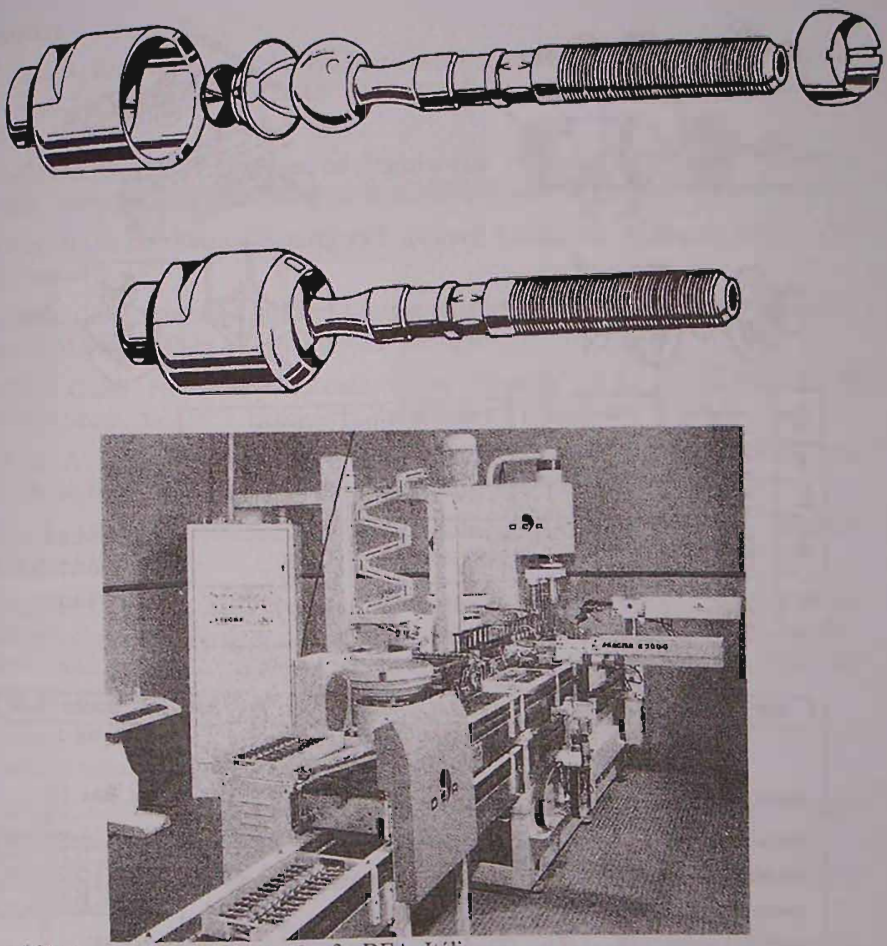
Na obr. 6.23 a 6.24 podle [13] je uveden sortiment výrobků, jejich rozměrová charakteristika a sériovost výroby, u kterého byly použity montážní automaty (patrně s vačkovým nebo pneumatickým ovládáním).

add b) Z hlediska konstrukční a technologické úrovně výrobků je nutné pro úspěšnou MA montážních systémů zaměřit pozornost zejména na:

- konstrukční řešení dílčích MC tak, aby montáž dílů probíhala pokud možno ve dvou směrech na sebe kolmých (vertikálně, horizontálně) - viz. obr. 6.25 a 6.26
- snižování počtu součástí v MC,
- oddělení obtížných prvků od dílčích sestav MC,
- použití vhodného způsobu spojování a jištění: jednotlivých součástí MC,
- rozteče šroubů, nýtů apod., tyto musí být v souladu s rozměry mechanizačních prostředků (utahovací jednotky)
- rychlou a jednoduchou orientaci dílů při montáži,
- zajištění. opakované přesnosti a shodnosti jednotlivých dílů např. vhodným výběrem a kontrolou součástí před vstupem do montáže atd.



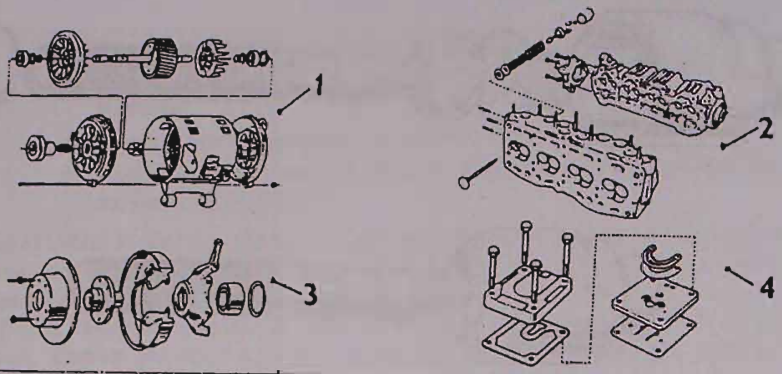
Obr. 6.24 Oblasti použitelnosti jednotlivých stupňů automatizace montáže



Obr. 6.25 Flexibilní montážní systém fy. DEA, Itálie

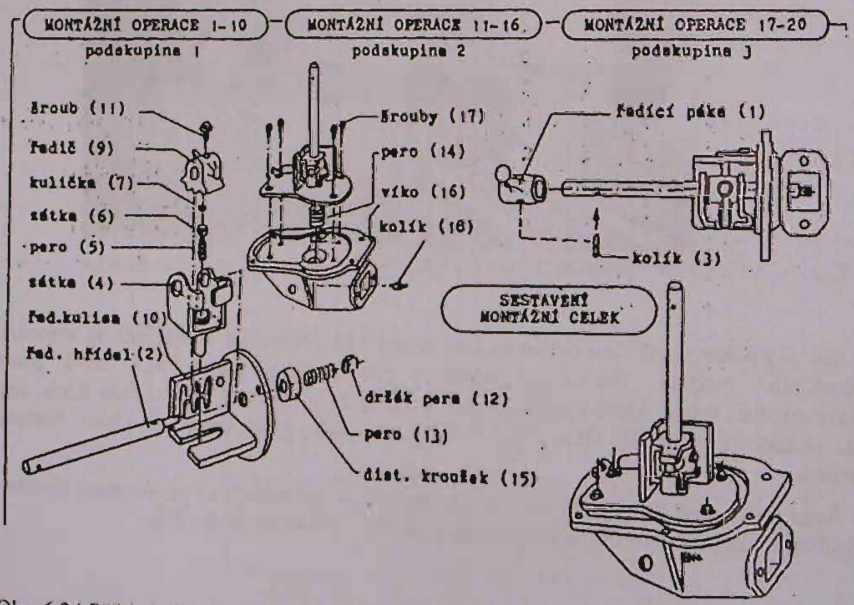
add c) Životnost výrobku ovlivňuje také stupeň MA především s ohledem na amortizaci montážního zařízení: Příznivější podmínky pro zvýšení stupně MA dává pružné (stavebnicové) řešení, které v současné době, jak již bylo uvedeno, nabízí řada firem, např. viz. ukázky fy. BOSCH, DEA z Itálie, KUKA - NSR, Atlas Copco Švédsko, Sormel - Francie.

Řada prvků modulárních stavebnicových systémů je použitelných i po skončení životnosti výrobků a také pořizovací cena je zpravidla nižší než u MS jednoúčelových.



Ozn. MC	Montážní celek	Počet součástí pro sestavu MC	Počet použitých montáž. robotů	Výrobnost ks/hod
1	elektro-motor	20	3	144
2	hlava válců	147	14/5X	180
3	náboj disk. brzdy	11	2	136
4	ventil kompresoru	12	2	320

X..počet montážních stanic



Obr. 6.24 Příklady konstrukčního řešení – vhodné pro automatizovanou montáž (fa. DEA)

Příklad realizace mechanizovaných a automatizovaných montážních s systémů

Obr. 6.25 ukazuje FMS fy DEA (Itálie), který je vybaven dvěma montážními roboty PRAGMA pro montáž spojovací tyče řízení osobního automobilu. Tyč je sestavena z 5 součástí, takt montáže: 11s, výrobnost: 260 ks/h při 80% časovém vytížení linky.

Literatura

[1] Zelenka, A.; Král, M. Projektování výrobních systémů, Vydavatelství ČVUT- publikace č. 8324, skripta Fakulty strojní ČVUT, ISBN 80-01-01302-2, tisk Ediční středisko ČVUT, Praha 1995

[2] Zelenka, A.; Preclík,V.; Haninger, M. Projektování výrobních procesů II (obrábění a montáže), . skripta Fakulty strojní, ISBN 80-01-00863-0, Ediční středisko ČVUT Praha 1992

[3] Dilling, H.J. a kol. Racionalisierung und Automatisierung der Montage, Tiel 1, VDI Verlag Düsseldorf., 1980

[4] Janoušek, J. a kol. Metodika zavádění systému přípravy projektování a řízení montážního provozu VUMA Nové Město n.V., pracoviště Praha 1980

[5] BOSCH GmbH. FMS - Arbeitsplatzausrüstung Baueinheiten für die Gestaltung von Handarbeits plätzen, Ausgabe 2, Druckdcrift Nr.3842 394 300 De (9.89)

[6] Zelenka, A.; Preclík, V.; Haninger, M. Projektování procesů obráběni a montáží, skripta Fakulty strojní, ISBN 80-01-02013-4, Ediční středisko ČVUT 'Praha 1999

[7] Artl; J.; Miesse; M. Rationalisierung und Automatisierung der Montage. Industrie Anzeiger No: 67/11, 1971

[8] Janoušek, J.; Preclík, V.; Dunovský, F. Technická příprava výroby. Špecializované štúdium technologov; projektantov a racionalizátorov montážnych prác I. - III.,dil II. , část D , Členění výrobků do montážních celků knižnica Domu techniky Bratislava - školicí středisko Stupava, ALFA Bratislava 1978

[9] Vigner, M.; Zelenka, A; Král, M. Metodika projektování výrobních. procesů. Vydavatelství technické literatury SNTL / Alfa, Praha 1984

[10] Zelenka, A.; Preclík, V.; Kunešová, L. Systém typového řešení v technické přípravě montáží, Acta Polytechnica, č.3, řada II. str. 215 - 225, ČVUT, SPN Praha 1975

[11] Braukampf, K. Handbuch der modemen Fertigung und Montage, Veriag München MI 1975

[12] Richter, E.; Schilling, Q.; Weise, M. Montage im Maschinenbau. Berin, VEB Verlagtechnik, 1974

[13] Ulrich, P. Rechnerintegrieeter Automatisierer Betrieb, VEB Verlagtechnik, Berlin, 1990

OBSAH

1 ÚVOD ... 3
2 INTEGROVANÝ PŘÍSTUP K NÁVRHU A REALIZACI VÝROBKU ... 5
3 OBECNÉ ZÁSADY TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE Z HLEDISKA OBRÁBĚNÍ ... 10
3.1. Výrobní náklady ... 10
3.2. Pracnost výroby ... 10
3.3. Materiál součástí ... 10
3.4. Polotovar a minimalizace obrábění ... 13
3.5. Sériovost výroby a konstrukčně-technologická standardizace ... 18
3.6. Tvary součástí z hlediska vkládání součástí do pracovního prostoru ... 21
3.7. Pohyb nástroje, resp. obrobku ... 21
3.8. Pružné deformace nástroje a obrobku ... 33
3.9. Počet upnutí ... 40
3.10. Technologické základny ... 42
3.11. Způsob kótování (rozměrové základny) ... 42
3.12. Rozměry, tolerance a další aspekty integrity povrchu ... 43
3.13. Technologičnost konstrukce děr ... 44
3.14. Délka součástí ... 44
3.15. Souslednost poloměrů ... 45
3.16. Patenty a licence ... 45
3.17. Tvary součástí z hlediska možností různých technologií obrábění ... 45
4 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE PŘI OBRÁBĚNÍ NA KONVENČNÍCH OBRÁBĚCÍCH STROJÍCH ... 47
5 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTEK OBRÁBĚNÝCH NA ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJÍCH ... 53
5.1. Hlavní zásady ... 54
5.2. Příklady technologičnosti konstrukčně technologických prvků ... 76
6 VÝZNAM TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE PRO MONTÁŽNÍ PROCES ... 105
6.1. Úvod ... 105
6.2. Význam konstrukčně-technologické koncepce výrobků pro projektování montážních procesů (MP) ... 106
6.3. Vliv koncepce konstrukčního řešení ... 112