

## 2.3 O CNC STROJÍCH

**Úloha strojírenství v ekonomice každého průmyslově vyspělého státu je nezastupitelná. Na jeho rozvoji závisí všestranný rozmach všech ostatních odvětví hospodářství té či oné země. Na každém předmětu, který se kolem nás vyskytuje, je vidět stopa výrobního stroje (tj. obráběcího nebo tvářecího stroje) – ať už jde o automobil, telefon, televizi či jiné prostředky povýšené společností na spotřební předměty, nebo o výrobní prostředky důležité pro lidskou existenci (turbína – výroba elektrické energie, potravinářské stroje – výroba potravin atd.).**

### Vymezení pojmu

#### CNC obráběcí stroj

Číslicovým řízením (často označovaným anglickou zkratkou CNC – Computer Numerical Control) rozumíme v širším slova smyslu činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku definovanou rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo rovině. Při číslicovém řízení obráběcích strojů jde konkrétně o řízení procesu obrábění i pomocných funkcí na základě číselných údajů a příkazů.

Všechny informace potřebné pro obrobení součásti jsou zaznamenány ve formě řady numerických znaků. Informacemi potřebnými k obrobení určité součásti jsou:

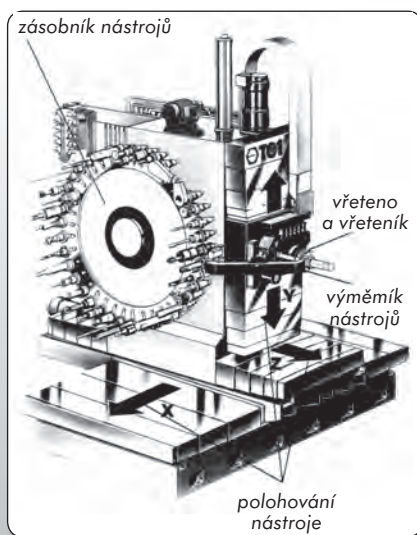
- informace určující rozměry součásti;
- informace charakterizující různé funkce (posuv, otáčky, ...);
- pomocné informace (zapínání chladicí kapaliny, ...).

CNC obráběcí stroj je tedy obráběcí stroj, který je číslicově řízen a konstrukčně uzpůsoben tak, aby pracoval v automatickém cyklu a měl automatickou výměnu nástrojů, případně obrobků. Číslicově řízené obráběcí stroje starších generací užívaly NC řídicí systémy, zatímco dnes jsou výhradně využívány CNC řídicí systémy.

Stejně jako v minulosti i dnes rozumíme číslicovým řízením (NC – Numerical Control) automatické řízení obráběcího procesu prostřednictvím zařízení, které využívá k činnosti zavedená číselná data.

V minulosti používaný NC řídicí systém využíval k realizaci číslicového řízení obráběcího stroje často jednorázové automaty, kde software a výkonné obvody jsou tvořeny pevným zapojením a nosičem dat byla např. děrná páska.

Oproti tomu dnešní CNC řídicí systém používá k realizaci číslicového řízení počítač. U CNC řídicích systémů je část pro zpracování informací tvořena vestavným počítačem, který má v paměti uloženy jako softwarové bloky všechny důležité



Obr. 2.3.1: Hlavní části číslicového řízení obráběcího stroje [INA]

funkce systému, na rozdíl od NC řídicího systému, který má tyto funkce a výkonné obvody pevně zapojeny. Další výhodou CNC řízení oproti NC řízení je to, že softwarovými bloky lze tento systém přizpůsobit strojům s různými počty řízených os, funkcí apod.

Jak plyne z uvedeného, je nutné rozlišovat pojmy číslicové (numerické) řízení a CNC (NC) řídicí systém.

Číslicově řízený obráběcí stroj má většinou šest hlavních pracovních celků (obr. 2.3.1):

1. polohování nástroje (obrobku);
2. vřetení s vřeteníkem;
3. zásobník a výměník nástrojů;
4. zásobník (výměník) obrobků;
5. přívody média;
6. ochranné kryty.

### Historie CNC obráběcích strojů

#### Parsons a vynález NC [www-1]

Zrod NC je obecně přisuzován Johnu T. Parsonsovi, mechanikovi a obchodníkovi firmy Parsons Corp., kterou vlastnil jeho otec a která se zabývala obráběním.

V roce 1942 mu dřívější vedoucí výroby společnosti Ford Trimotor Bill Stout řekl, že „další velkou věcí“ budou helikoptéry. Parsons se spojil s firmou Sikorsky Aircraft, aby se dotázal na možnou práci, a brzy obdržel kontrakt na výrobu dřevěných vazníků v listech rotoru. Krátce poté, co v nepoužívané továrně na nábytek spustil výrobu a došlo k jejímu zrychlení, jeden z listů praskl a obtiskl se do nosníku křídla. Když vyšlo najevo, že se některé problémy vyskytují po celé délce bodového svařování, pomocí něhož se připevňoval kovový nákržek dřevěného vazníku na kovový nosník křídla, Parsons navrhl novou metodu, jak připevňovat vazníky k nosníku křídla za použití lepidel, což nebylo nikdy předtím v konstrukci letadel použito.

Tato událost však přivedla Parsonse k tomu, že začal přemýšlet o možnostech použití lisovaných kovových vazníků místo dřeva, jejichž výroba by byla mnohem snazší a které by také byly pevnější. Vazníky pro rotory byly vyráběny podle návrhu poskytnutého firmou Sikorsky, který byl zaslán jako sada sedmnácti bodů definujících obrysy. Parsons potom musel „vyplnit“ tečky pomocí křívítka, aby tak vytvořil obrys, který bylo možné použít jako šablonu pro výrobu přípravků na dřevěné verze. Jak ale vyrobit nástroj schopný řezat kov s tímto tvarem, to byl mnohem těžší problém. Parsons navštívil společnost Wright Field, aby se tam setkal s Frankem Stulenem, který byl vedoucím oboru rotačních kroužků v laboratoři vrutů. Stulen usoudil, že Parsons ve skutečnosti neví, o čem vlastně mluví, a když si to Parsons uvědomil, okamžitě mu nabídl práci. Stulen začal 1. dubna 1946 pracovat pro Parsonse a angažoval tři nové techniky, aby se k němu připojili.

Stulenův bratr, který pracoval u firmy Curtiss Wright Propeller, se zmínil, že používají pro technické výpočty kalkulačky s děrnými štítky. Stulen se rozhodl převzít tuto myšlenku pro provádění výpočtu pevnosti pro rotory, což byly první podrobné automatizované výpočty pro rotory helikoptéry. Když Parsons viděl, co Stulen dělá pomocí zařízení s děrnými štítky, zeptal se ho, zda by to bylo možné použít pro vytváření obrysu s 200 body místo se sedmnácti body, které jim byly poskytnuty, a posunout každý bod o poloměr řezného nástroje na frézce. Pokud by se ře-

zalo v každém z těchto bodů, vytvořilo by to relativně přesný výřez vazníku dokonce i z tvrdé ocele a snadno by se to dalo opílovat na hladký tvar. Výsledný nástroj by byl užitečný jako šablona pro ražení kovových vazníků. Pro Stulena to nebyl žádný problém a využil body k tomu, aby vytvořil velké tabulky čísel, které byly předány do dílny. Jeden z operátorů zde předčítal čísla z těchto karet dvěma jiným operátorům, z nichž každý pracoval na jedné z os X a Y. Tito operátoři posouvali řeznou hlavici do uvedeného bodu a provedli řez. Tento proces se nazýval „metoda podle čísel“.

V té době se Parsons začal zabývat myšlenkou plně automatizovaného nástroje. Pokud by bylo k dispozici dostatečné množství bodů, nebyla by ruční práce vůbec potřebná. Avšak při ručním ovládní se čas, který se ušetří tím, aby obrobek lépe odpovídal finálnímu tvaru, vykompenzuje časem potřebným pro pohyb ovladačů.

Pokud by vstupy stroje byly připojeny přímo na čtečku karet, časová prodleva a veškeré přidružené ruční chyby by byly eliminovány a počet bodů by se mohl neuvěřitelně zvýšit. Takový stroj by mohl na povel opakovaně vyrábět dokonale přesné šablony. V té době však neměl Parsons finanční prostředky na to, aby mohl tuto myšlenku dále rozvíjet. Při návštěvě společnosti Wright Field se jeden z Parsonsových obchodníků dozvěděl o problémech, které mělo nově vytvářené letectví USA s novými návrhy proudových letadel. Na základě toho nabídl Parsons firmě Lockheed nápad s automatizovanou frézou, nesetkal se však se zájmem. Společnost Lockheed již byla rozhodnuta používat pro výrobu vazníků pětiosé šablonové kopírovací stroje, které budou řezat z kovové šablony.

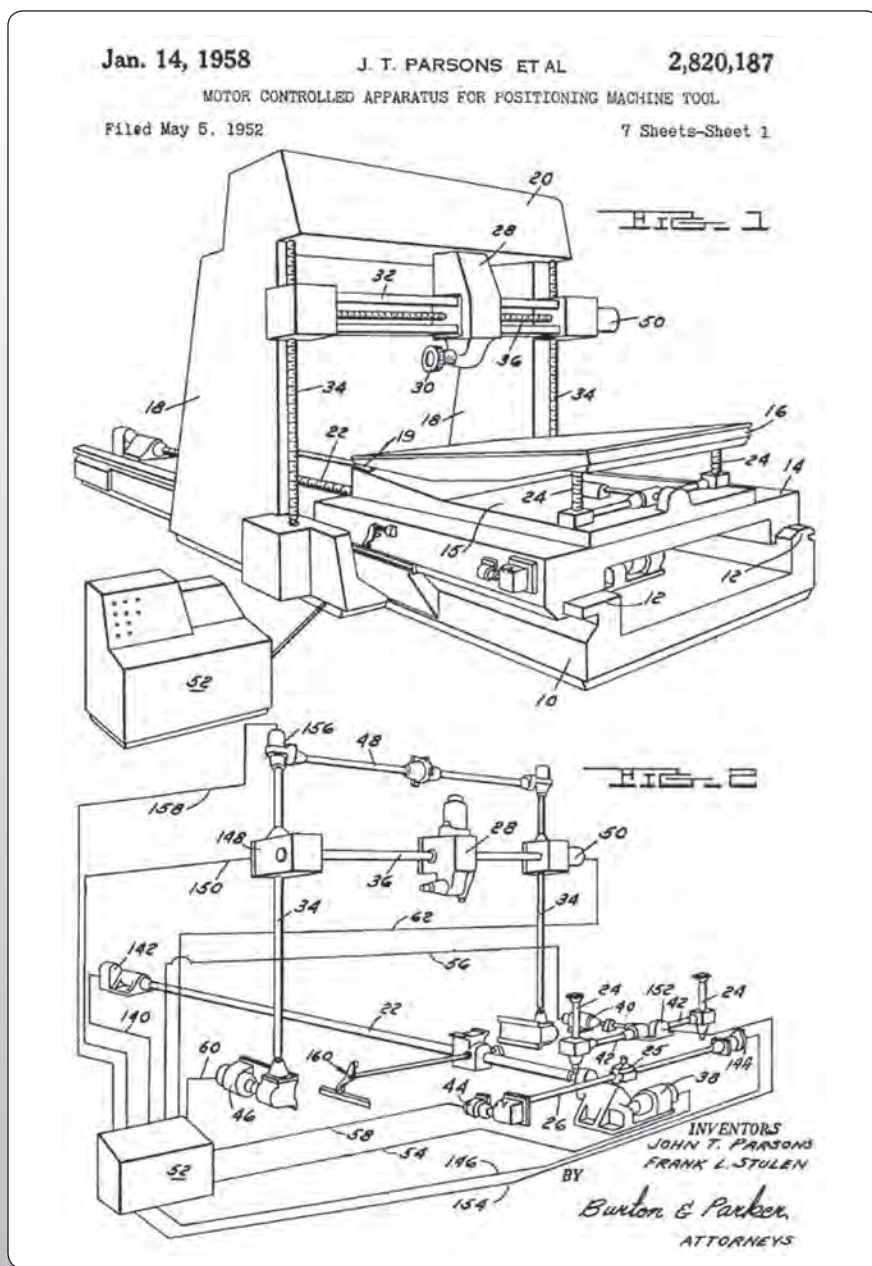
Objednala si již dokonce drahý řezací stroj. Parsons k tomu poznamenal: „Nyní si na chvíli představte tuto situaci. Lockheed uzavřel kontrakt na zkonstruování stroje, který bude vyrábět křídla. Tento stroj měl pět os pohybu řezného nástroje a každá z těchto os byla řízena kopírovacím zařízením za použití šablony. Nikdo nepoužíval moji metodu zhotovování šablon, tak si jen představte, jakou šanci budou mít k tomu, aby vyrobili přesný tvar komponentu letadla s nepřesnými šablonami.“

Parsonsovy obavy se brzy naplnily a v roce 1949 vyčlenilo letectví USA pro Parsonse finanční prostředky, aby sám mohl stavět své stroje. Práce se Snyder Machine & Tool Corp brzy dokázala, že systém přímého pohonu ovladačů od motoru nedokázal mít přesnost potřebnou pro seřízení stroje na dokonale hladký řez. Poněvadž mechanické ovladače lineárně neodpovídaly, nebylo je jednoduše možné pohánět určitým množstvím energie, protože liší

se síly, které by znamenaly stejné množství energie, by nezpůsobovaly vždy stejnou míru pohybu v ovladačích. Nezáleží na tom, kolik bodů by bylo do obrysu zahrnuto, obrys by byl stále hrubý.

**Vstup MIT [www-1]**

Nebyl to problém, který by nebylo možné řešit, ale vyžadovalo to určitý druh systému zpětné vazby, jako je selsyn, pro přímé měření, do jaké míry se ovladače



Obr. 2.3.2: Ukázka z amerického patentu No. 2,820,187 (Parson) [www-2]

## 2.3 O CNC STROJÍCH

skutečně otočily. S nelehkým úkolem sestavit takový systém se Parsons na jaře roku 1949 obrátil na Laboratoř servomechanismů MIT, světovou špičku v mechanických výpočtech a zpětnovazebních systémech. Během války laboratoř sestavila množství složitých motoricky hnaných zařízení, jako motorizované systémy otočného zásobníku zbraní pro B-29 a automatický systém kopírování pro radar SCR-584. Laboratoř vyhověla požadavku sestavit prototyp Parsonsova automatizovaného stroje řízeného „metodou podle čísel“. Tým MIT vedl William Pease, kterému asistoval James McDonough. Oba rychle dospěli k závěru, že Parsonsovův konstrukční návrh by mohl být výrazně zlepšen: pokud by stroj neprováděl pouze řezy v bodech A a B, ale pohyboval by se místo toho plynule mezi body, potom by to nejenom vytvářelo dokonale hladký řez, ale mohlo by se to provádět s mnohem menším počtem bodů – fréza by mohla řezat obrysy místo toho, aby měla definované velké množství řezných bodů pro „simulaci“ obrysu. Byla uzavřena trojstranná dohoda mezi Parsonsem, MIT a letectvím a od července roku 1949 do června roku 1950 oficiálně probíhal projekt. Kontrakt požadoval konstrukci dvou „automatických frézek s kartami“, prototypu a výrobního systému. Obojí mělo být postoupeno Parsonsovi pro připojení k jedné z jeho fréz za účelem vyvinutí dodavatelného systému pro řezání vazníků.

Místo toho však MIT v roce 1950 koupil od Cincinnati Milling Machine Company přebytečnou frézu „Hydro-Tel“ její vlastní výroby a uzavřel nový kontrakt přímo s letectvím USA, který vyloučil Parsonse z dalšího vývoje. Parsons to později komentoval slovy: „Nikdy se mi ani ve snu nezdálo o tom, že někdo s tak dobrou pověstí jako MIT by tak záměrně postupoval a převzal můj projekt.“

Přestože byl vývoj postoupen MIT, Parsons podal dne 5. května 1952 žádost o patent na „motoricky ovládané zařízení pro polohování obráběcího stroje“, čímž podnítil MIT k tomu, aby dne 14. srpna 1952 podal žádost o patent na „numericky řízený servosystém“. Parsons obdržel dne 14. ledna 1958 patent USA 2,820,187 (obr. 2.3.2) a společnost prodala výhradní licenci společностям Bendix, IBM, Fujitsu a General Electric – všechny tyto firmy převzaly sublicence poté, co již začaly vývoj svých vlastních zařízení.

### **Stroj MIT [www-1]**

MIT zabudoval ozubená soukolí k různým vstupům přes ruční kola a poháněl je pomocí válečkových řetězů napojených na motory. Vždy jeden sloužil pro každou ze tří strojních os (X, Y a Z). Přidružená řídicí jednotka se skládala z pěti skříní o velikosti ledničky, které byly společně téměř tak velké jako fréza, ke které byly připojeny. Tři z těchto skříní obsahovaly řídicí jednotky motorů, jednu řídicí jednotku pro každý motor, zbývající dvě obsahovaly digitální čtecí systém.

Na rozdíl od původního konstrukčního návrhu Parsonse s děrnými štítky využíval návrh MIT pro vstup standardní sedmístou děrnou pásku. Tři z těchto stop byly využity k tomu, aby ovládaly rozličné osy stroje, zatímco zbývající čtyři stopy kódovaly různé řídicí informace. Páska se četla ve skříně, která rovněž obsahovala šest hardwarových rejstříků na bázi relé, dva pro každou osu. Při každé čtecí operaci se bod přečtený předtím zkopíroval do rejstříku „výchozích bodů“ a nově přečtený bod do rejstříku „koncových bodů“. Páska byla čtena nepřetržitě a číslo v rejstříku se zvyšovalo, dokud nedošlo k přečtení instrukce „stop“, což byly čtyři otvory v řádku.

V poslední skříně se nacházely hodiny, které vysílaly pulzy přes tyto rejstříky, srovnávaly je a generovaly výstupní pulzy, které se vkládaly mezi body. Například pokud byly body daleko od sebe, výstup měl pulzy při každém cyklu hodin, kdežto body rozmístěné těsně u sebe generovaly pulzy pouze po několika cyklech hodin. Pulzy se vysílaly do sčítacího rejstříku v řídicích jednotkách motoru a sčítaly se s počtem pulzů pokaždé, když došlo k jejich obdržení. Sčítací rejstříky byly připojeny na digitálně-analogový měnič, který vysílal narůstající energii do motorů, jak se počet v rejstřících zvyšoval.

Rejstříky byly snižovány pomocí kódů připojených k motorům a k fréze samotné, což redukovalo počet o jednu na každý stupeň otáček. Jakmile bylo dosaženo druhého bodu, pulzy z hodin se zastavily, a motory případně poháněly frézu do kódované polohy. Každý stupeň otáček ovladačů měl za následek pohyb řezné hlavičky 0,0005 inch. Programátor mohl ovládat rychlost řezu tak, že volil body, které ležely blíže u sebe, a tím dosahoval

pomalejšího pohybu, nebo volil body navzájem od sebe vzdálenější a tím dosahoval rychlejšího pohybu.

Systém byl veřejně demonstrován v září 1952 v Scientific American. Systém MIT byl vynikajícím úspěchem, mimo jakékoliv technické srovnání, rychle vyráběl různě složité řezy s mimořádně vysokou přesností, kterou nebylo možné jen tak snadno napodobit rukou. Systém byl však příliš složitý, obsahoval 250 vakuových trubek, 175 relé a bezpočet pohyblivých částí, redukujících jeho spolehlivost ve výrobním prostředí. Byl rovněž velmi nákladný, celkový účet předložený letectvím USA činil 360 tisíc dolarů, což je přibližně 2,6 miliardy (!) dolarů v méně roku 2005. Mezi rokem 1952 a rokem 1956 byl systém použit pro frézování množství speciálních projektů pro různé letecké firmy za účelem studia potenciálního ekonomického dopadu.

### **Rozšíření NC [www-1]**

Finanční prostředky amerického letectví určené na projekt byly vyčerpány v roce 1953, vývoj však převzala společnost Giddings and Lewis Machine Tool Co. V roce 1955 odešlo mnoho členů týmu MIT a vytvořilo Concord Controls, komerční NC společnost se zázemím v Giddings, vyrábějící řídicí jednotky Numericord. Numericord byl projekt podobný projektu MIT, nahradil však děrnou pásku čtečkou magnetické pásky, na které pracovala firma General Electric. Páska obsahovala velké množství signálů různých fází, které přímo kódovaly úhel rozličných ovladačů. Páska se přehrávala konstantní rychlostí v řídicí jednotce, která nastavila svoji polovinu selsynu do kódovaných úhlů, zatímco vzdálenější strana byla připojena k ovladačům stroje.

Výkresy byly stále kódované na papírové pásce, pásky byly ale předávány do čtecího/zapisovacího zařízení, které je přeměnilo do magnetické formy. Magnetické pásky se potom mohly používat na jakémkoliv ze strojů v dílně, kde byly řídicí jednotky ve velké míře zjednodušeny. Numericord „NC5“ byl vyvinut pro výrobu vysoce přesných lisovacích nástrojů pro seřezávací lisy v leteckém průmyslu a začal se používat v závodě G&L ve Fond du Lac, WI, v roce 1955.

Rovněž firma Monarch Machine Tool vyvinula NC řízený soustruh – s jeho vývo-