TEORIE ODBORNÉHO VÝCVIKU

3. ročník

Seřízení a přesné obrábění: klasické i CNC soustružení a frézování, cykly, výpočty, kvalita a příprava na závěrečnou zkoušku





Fotografie: vlevo Kinshofer, CC BY-SA 3.0; vpravo Solaris2006, CC BY-SA 3.0, oříznuto; obě Wikimedia Commons, adresy v kapitole Zdroje

Teorie k odbornému výcviku pro žáky oboru Obráběč kovů. Obsahuje přehledy, postupy, výpočty, cykly a cvičný test.

Odborný výcvik
Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů

Zpracoval: Michl Ondřej, 2.OZ
Datum: 6. 11. 2026

Obsah

ZAČÁTEK A PŘEHLED

1 Co tě ve 3. ročníku čeká 3

2 Soustružení a frézování: celkový přehled 5

KLASICKÉ OBRÁBĚNÍ

3 Klasické obrábění přesných dílů 10

CNC OBRÁBĚNÍ

4 CNC soustružení: seřízení a cykly 18

5 CNC frézování: seřízení, cykly, strategie 24

VÝPOČTY, KVALITA A PROVOZ

6 Výpočty pro praxi 36

7 Kvalita a kontrola 39

8 Údržba, provoz a životní prostředí 42

OD ZAKÁZKY KE ZKOUŠCE

9 Od výkresu k hotovému dílu 44

10 Příprava na závěrečnou zkoušku 50

JAK SE S MANUÁLEM UČIT

1. Kapitola 2 ti dá přehled a pomůže s výběrem stroje.
2. Kapitoly 4 a 5 používej u stroje jako pomůcku. Hodnoty si vždy porovnej s dokumentací.
3. Výpočty si procvičuj na vlastních dílech.
4. Před zkouškou si projdi kapitolu 10 a vyzkoušej cvičný test.

Pořadí témat a konkrétní zadání určuje UOV podle školní osnovy.

1

ZAČÁTEK A PŘEHLED

Co tě ve 3. ročníku čeká

Co se ve 3. ročníku naučíš, co se od tebe čeká na konci studia a ve které kapitole to najdeš.

Ve 3. ročníku se z obsluhy stává obráběč, který umí stroj seřídit, sám si připravit postup a zdůvodnit, proč to dělá. Klasické i CNC obrábění se prolínají: přesný díl často začíná na jednom stroji a končí na druhém. Na konci roku tě čeká závěrečná zkouška, proto je tu i souhrn k opakování.

Téma	Co budeš umět	Kapitola
Přehled obrábění	porovnat druhy a typy strojů, zvolit správný stroj	2
Klasické obrábění přesných dílů	brousit, řezat závity, vyvrtávat, sestavit postup	3
CNC soustružení	seřídit, použít cykly, korigovat, opravit chyby	4
CNC frézování	použít cykly, nulu a sondu, volit strategii	5
Výpočty	spočítat čas, posuv, výkon a drsnost	6
Kvalita	kontrolovat díl, vést záznam, reagovat na trend	7
Údržba a provoz	pečovat o stroj, emulzi a životní prostředí	8
Celá zakázka	projít díl od výkresu po sérii	9
Závěrečná zkouška	vědět, co tě čeká, a procvičit test	10

Co se od tebe čeká na konci studia

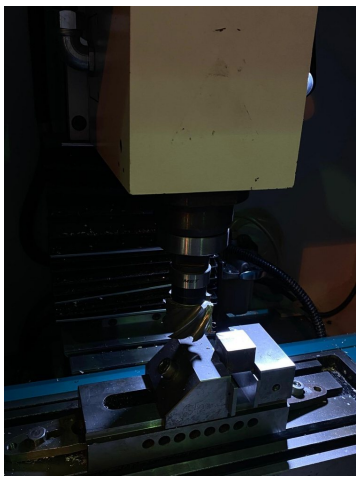
- Přečteš výkres včetně tolerancí a sám si vymyslíš postup.
- Zvolíš stroj, nástroj a řezné podmínky a umíš to zdůvodnit.
- Na klasickém stroji vyrobíš díl v dané přesnosti.
- Na CNC stroji seřídíš nástroje a nulu, upravíš program a korekce a spustíš výrobu.
- Změříš hotový díl a poznáš, co je v pořádku a co ne.

Dovednost	Ve firmě se tomu říká	Kde je to v manuálech
Obsluha stroje	operátor CNC	2. ročník
Seřízení stroje	seřizovač	3. ročník
Úprava programu	programátor, obsluha s úpravami	2. a 3. ročník
Měření a záznam	kvalita, kontrola	všechny ročníky



Obr. 1.1 Soustružený díl z galerie oboru na webu školy.
Vlastník obrázku: Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie





Obr. 1.2 Klasický soustruh (vlevo) a frézka s obrobkem ve svěráku (vpravo). Fotografie z galerie oboru na webu školy.
Vlastník obrázku: Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie

2

ZAČÁTEK A PŘEHLED

Soustružení a frézování: celkový přehled

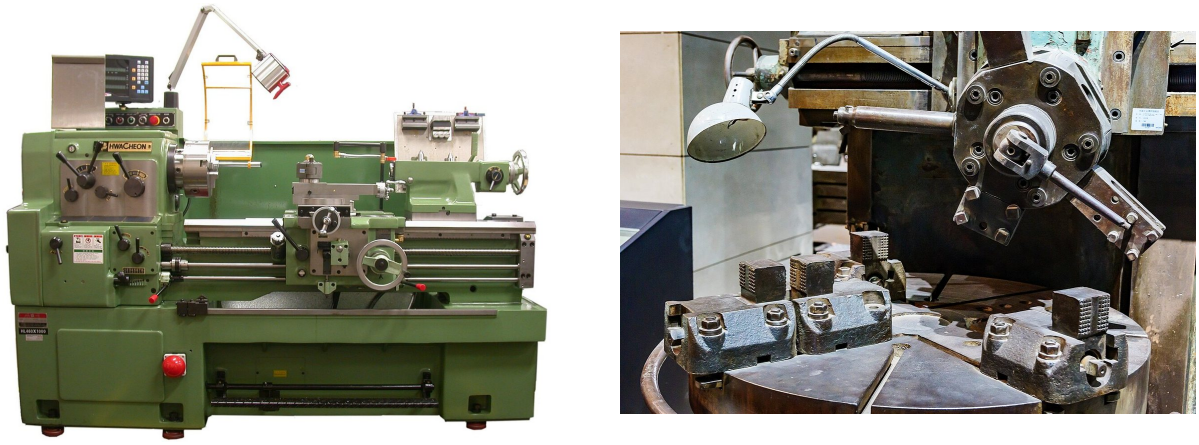
Typy soustruhů a frézek, části přesného CNC stroje a podle čeho zvolit správný stroj.

Soustružení vyrábí hlavně rotační díly: točí se obrobek a nástroj se posouvá. **Frézování** vyrábí roviny, drážky a kapsy: točí se nástroj a posouvá se obrobek nebo vřeteník. Obojí se dělá dvěma způsoby:

- **Klasicky (ručně)**: pohyby ovládáš kolečky a pákami, rozměr hlídáš dílky a měřením. Otáčky a posuv nastavuješ po stupních na převodovce. Rychlé na přípravu, vhodné na kusy a opravy, výsledek závisí na zručnosti.
- **CNC**: každou osu pohání servomotor přes kuličkový šroub a řídicí systém ji vede podle programu. Umí plynule měnit otáčky i projet oblouk ve dvou osách. Příprava trvá déle, zato je každý kus stejný a dají se vyrobit tvary, které by ručně nešly.

Typy soustruhů

Typ stroje	Řízení	Charakteristika	Kdy zvolit
Hrotový soustruh	ruční	univerzální, levný, náročný na zručnost	kusy, opravy, jednoduché díly
Svislý soustruh	ruční i CNC	těžké a velké díly na desce	průměry nad možnosti hrotového
Revolverový	ruční, poloautomat	více nástrojů bez přepínání	menší série
CNC 2osý	CNC	X a Z, revolver	běžné rotační díly
CNC s osou C a Y	CNC	frézování a příčné díry	díly bez přepnutí na frézku
CNC s protivřetenem	CNC	obrobení z obou stran	série, kompletní díly
Dlouhotočný	CNC	vodicí pouzdro u řezu	dlouhé a štíhlé přesné díly



Obr. 2.1 Hrotový soustruh Hwacheon (vlevo) a svislý soustruh C512 s jedním stojanem a velkou upínací deskou (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HwacheonCentreLathe_460x1000.jpg; vpravo TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C512_single-column_vertical_lathe_20260331130236.jpg

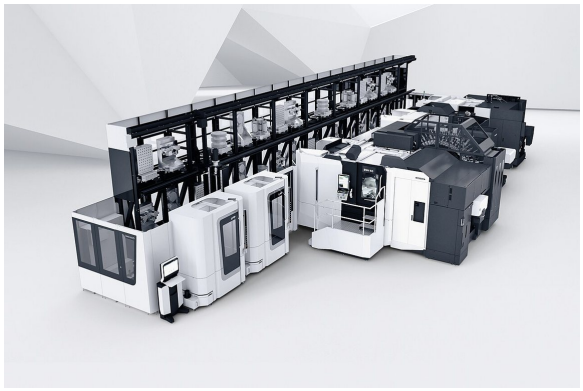


Obr. 2.2 CNC soustruh Mori Seiki (vlevo) a revolverová hlava s nástroji v pracovním prostoru CNC soustruhu (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeikiLathe.jpg; vpravo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeiki-examples.jpg

Typy frézek

Typ stroje	Řízení	Charakteristika	Kdy zvolit
Konzolová frézka	ruční	univerzální, menší výkon	kusy, nástrojařina, opravy
Stolová a portálová	ruční i CNC	velké tuhé rámy	těžké a rozměrné díly
CNC 3osá	CNC	X, Y, Z, zásobník	většina běžných dílů
Horizontální centrum	CNC	otočný stůl, palety	skříně a série ze 4 stran
3+2 osy	CNC	natočení a klasické 3osé obrábění	díly z více stran na jedno upnutí
5 os současně	CNC	všechny osy naráz	lopatky, formy, složité plochy



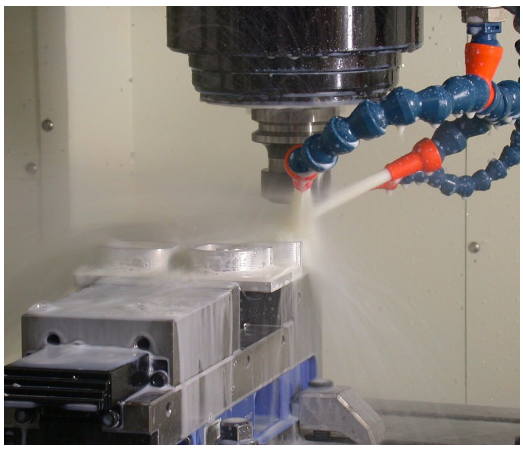


Obr. 2.3 Konzolová frézka Bridgeport (vlevo) a horizontální obráběcí centrum INH 63 v lince s paletovým zásobníkem (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Dan Bollinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bridgeport_knee_mill_restored.jpg; vpravo Ms. Kotone Ojiri, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:06_INH_Automation.jpg



Obr. 2.4 Co znamená počet os u frézek.





Obr. 2.5 Pětiosé obráběcí centrum SMTCL (vlevo) a obrábění s chlazením na obráběcím centru Makino (vpravo). *Vlastník obrázku: vlevo TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMTCL_VMC0656e_5-axis_machining_center_20260331123404.jpg; vpravo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Makino-S33-MachiningCenter-example.jpg*

Co se dělí podle práce

- **Soustružení**: vnější a vnitřní, čelní, kuželové, tvarové, závitové, zapichování a upichování.
- **Frézování**: čelní, válcové (obvodem), okružní, sousledné a nesousledné, frézování drážek, kapes a tvarových ploch.
- **Stupeň přesnosti**: hrubování odebere co nejvíc materiálu, dokončování zajistí rozměr a povrch.

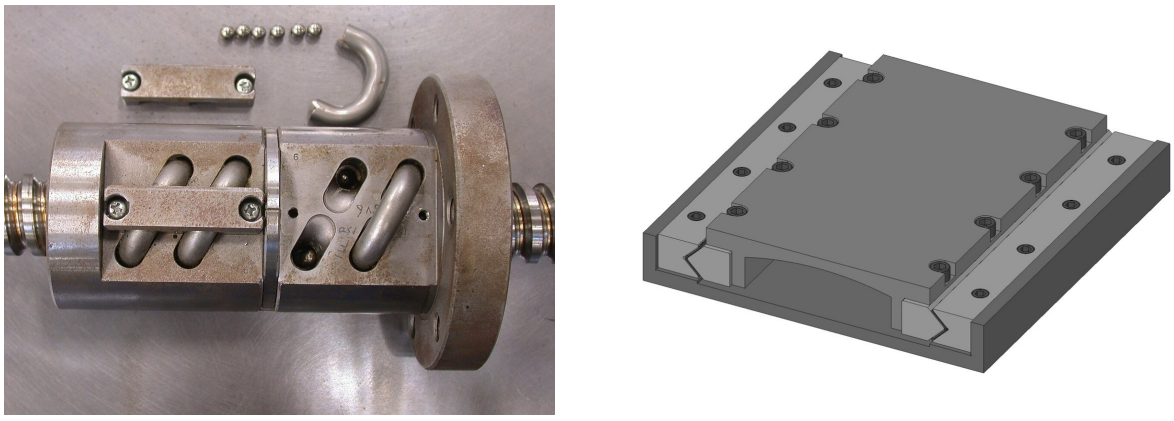
Jak zvolit stroj

- **Tvar**: rotační díl patří na soustruh, hranolový na frézku. Kombinované díly na stroj s poháněnými nástroji nebo přes několik operací.

- **Počet kusů**: jeden kus je často rychlejší na klasice, od několika kusů se vyplatí CNC.
- **Přesnost**: tolerance pod IT7 nebo Ra pod 0,8 obvykle vyžadují broušení nebo přesné dokončení.
- **Materiál**: kalené díly se brousí, případně obrábějí speciálními nástroji.

Co dělá stroj CNC přesným

Část	Co dělá	Proč je důležitá
Kuličkový šroub	převádí otáčení na posuv	téměř bez vůle a tření
Lineární vedení	vede saně	tuhost a přesnost
Servomotor	pohání osu	přesná poloha a rychlost
Odměřování	měří skutečnou polohu	oprava chyb, přesnost
Řídicí systém	čte program a řídí osy	ovládání, korekce, cykly
Výměník nástrojů	revolver nebo zásobník	méně času výměny



Obr. 2.6 Rozebraná matice kuličkového šroubu s kuličkami a vratnou trubičkou (vlevo) a zjednodušený model lineárního stolku s vedením (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Graibeard (autor podle stránky souboru předpokládaný), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BallScrewNut-showing-balls-recirculating-tubes.jpg; vpravo Silberwolf, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_table_rail_guide.png

Klasické a CNC obrábění v jednom postupu

V praxi se metody kombinují. Například velký díl se hrubuje na klasickém soustruhu, drážka se frézuje na CNC a přesný průměr se dobrousí. Vybírá se to, co je pro daný krok nejrychlejší a dostatečně přesné.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Soustružení vyrábí hlavně rotační díly, frézování roviny, drážky a kapsy.
- Na CNC příprava trvá déle, zato je každý kus stejný a dají se vyrobit tvary, které by ručně nešly.
- Rotační díl patří na soustruh, hranolový na frézku, kombinované díly na stroj s poháněnými nástroji nebo přes několik operací.
- Jeden kus je často rychlejší na klasice, od několika kusů se vyplatí CNC.
- Tolerance pod IT7 nebo Ra pod 0,8 obvykle vyžadují broušení nebo přesné dokončení.

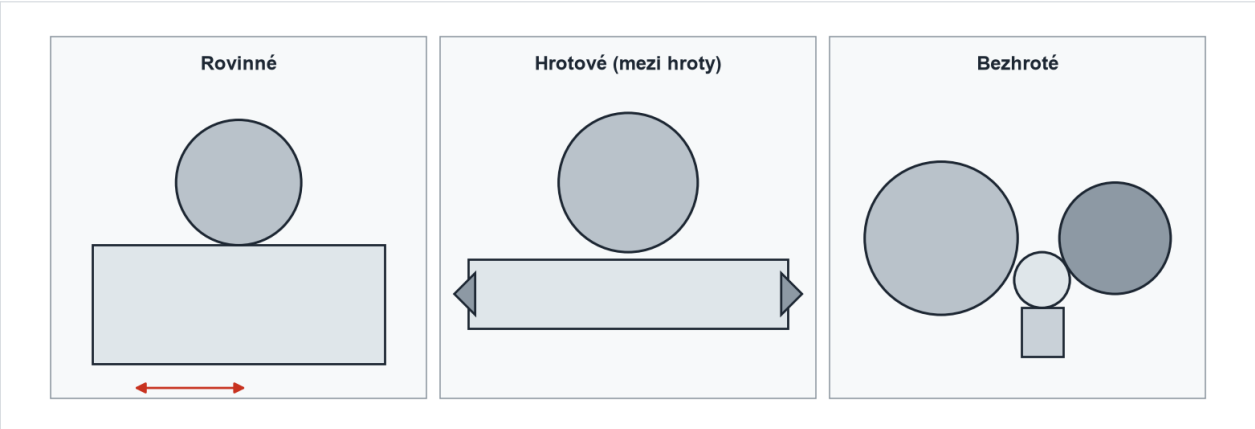
KLASICKÉ OBRÁBĚNÍ

3 Klasické obrábění přesných dílů

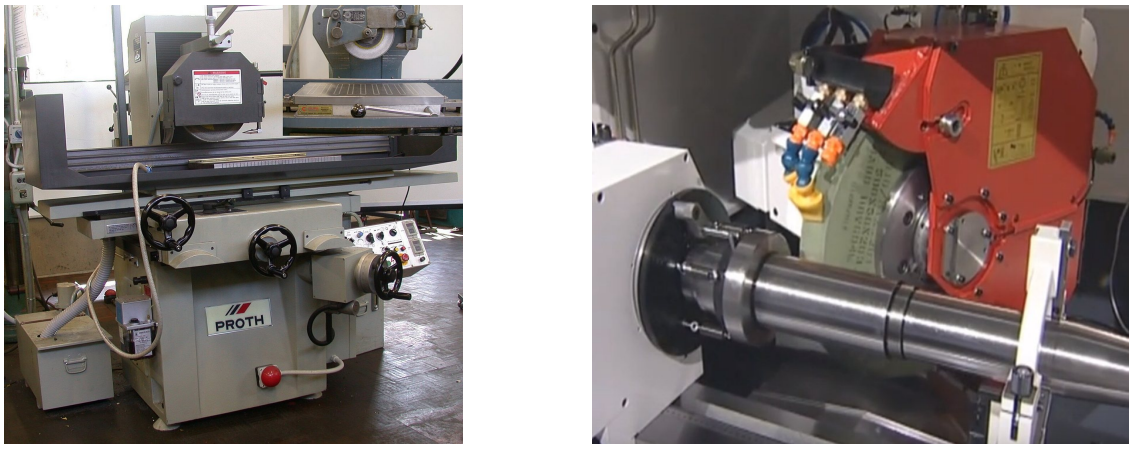
Broušení, závity, přesné díry, technologický postup, přídavky a přesnější práce na klasických strojích.

Broušení

Broušení je dokončovací operace pro přesné rozměry, hladký povrch a kalené materiály. Přídavek je malý, obvykle 0,2 až 0,5 mm na průměr.

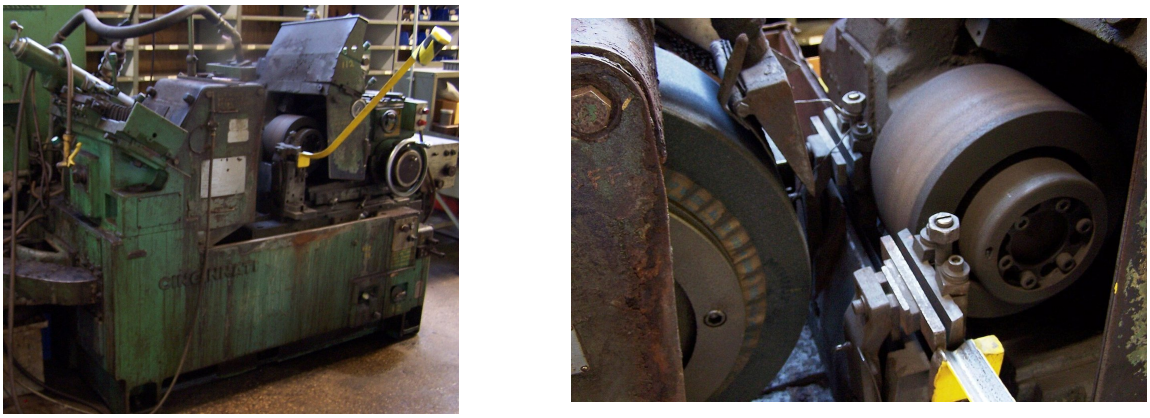


Obr. 3.1 Základní způsoby broušení.



Obr. 3.2 Rovinná bruska Proth s detailem magnetického stolu (vlevo) a bruska na vnější válcové plochy s obráběnou hřídelí (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SurfaceGrinder-Proth-insetMagChuck.jpg; vpravo Amos1947, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylindrical_grinder.jpg

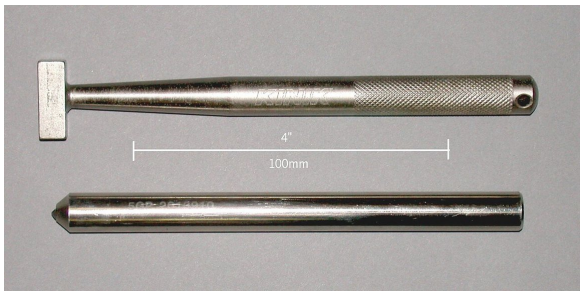
Druh	Princip	Použití
Rovinné	obrobek na magnetickém stole, kotouč obvodem	desky, přesné plochy
Hrotové	obrobek mezi hroty, otáčí se kotouč i obrobek	hřídele, čepy
Bezhroté	obrobek na podpěře mezi kotoučem a podávacím kotoučem	velké série válcových dílů
Vnitřní	malý kotouč v díře	přesné díry, pouzdra



Obr. 3.3 Bezhrotá bruska (vlevo) a detail jejího brusného a podávacího kotouče (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Wizard191, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centerless_grinder.jpg; vpravo Wizard191, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centerless_grinder_wheels.jpg

- Kotouč se orovnává diamantem, aby řezal přesně a nezanášel se.
- Chlazení musí být stálé. Přehřátý povrch se zabarví a může prasknout.

- Přísuv volíš malý. Těsně před rozměrem dokonči bez přísuvu, dokud kotouč nepřestane jiskřit (vyjiskřování).



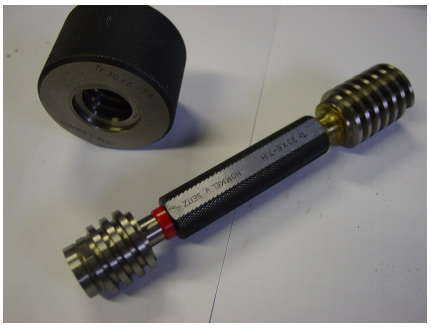


Obr. 3.4 Diamantové orovnávače brusných kotoučů (vlevo) a brusný kotouč v záběru s jiskrami a přívodem chlazení (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GrindingWheelDressersDiamond.jpg; vpravo Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scheibe_im_eingriff.jpg

Závity: od výpočtu ke kontrole

Závit	Profil	Použití	Poznámka
Metrický M	60°	spojovací šrouby	běžný, h = 0,6134 P
Trubkový G	55°	potrubí	udává se v palcích
Lichoběžníkový Tr	30°	pohybové šrouby	svěráky, posuvy
Vícechodý	různý	rychlé posuvy	stoupání = rozteč × počet chodů

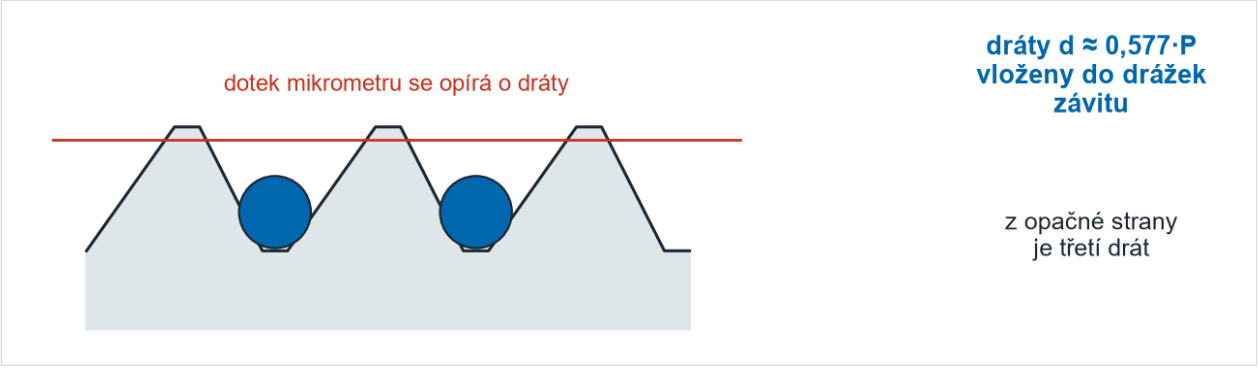
Závit se může řezat na soustruhu nožem, závitníkem či čelistí nebo se válcuje bez třísky. Kontroluje se kalibrem, protikusem nebo měřením přes tři drátky, u kterého se měří průměr D2.





Obr. 3.5 Závitový kalibr pro Tr 30 × 6 a zmetkový kroužek (vlevo), strojní závitník M24 × 2 (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG; vpravo Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Machine-screw-tap-1.JPG

Měření závitu třemi dráty



Obr. 3.6 Měření závitu třemi dráty.

Měření přes tři dráty je přesné i bez závitového kalibru. Drát o průměru **d ≈ 0,577 · P** se vloží do drážek a mikrometrem se měří rozměr M přes dráty.

$$M = D2 + 3 \cdot d - 0{,}866 \cdot P$$

M12, P = 1,75, D2 = 10,863, d = 1,01:

$$M = 10{,}863 + 3{,}03 - 1{,}516 = 12{,}38 \text{ mm}$$

Lichoběžníkový závit

Lichoběžníkový závit Tr má profil 30° a slouží k přenosu pohybu, například ve svěráku. Nůž se brousí podle šablony a řeže se často po stranách, ne jen čistě kolmým přísuvem.

Příklad: Tr 20 × 4 má stoupání 4 mm a hloubku asi 2,25 mm. Řeže se malými třískami a velmi nízkými otáčkami.



Obr. 3.7 Zmetkový závitový kroužek pro lichoběžníkový závit Tr 30 × 6-7e.
Vlastník obrázku: Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Not_Go_Ring.JPG

Vyvrtávání a přesné díry





Obr. 3.8 Vrtání na soustruhu, fotografie z galerie oboru na webu školy (vlevo). Zvětšení díry vyvrtávacím nožem upnutým v nožové hlavě (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie; vpravo David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathe_Boring.jpg

1. Předvrtej díru, nech přídavek podle nástroje.
2. Vyvrtej na vrtací hlavě nebo vyvrtávacím nožem. Vyložení měj co nejkratší.
3. Kontroluj dutinoměrem, měř i kuželovitost na začátku a na konci díry.
4. Přesné díry H7 dokonči výstružníkem nebo broušením.



Obr. 3.9 Strojní výstružník s Morseovým kuželem.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ReamerMorseTaper3.jpg

Technologický postup

Postup říká, v jakém pořadí, na jakém stroji a s jakým nástrojem se díl vyrobí. Začni plochami, které budou základnou. Přesnost a kalení nech na konec.

Příklad: čep Ø30h6 × 80 s drážkou pro pero, materiál C45, polotovar Ø35 × 85.

Op.	Stroj	Práce	Nástroj	Měřidlo
10	Pila	dělení Ø35 × 85	pás	měřítko
20	Soustruh	zarovnat čelo, navrtat, hrubovat Ø30,4	nůž, navrtávák	měřítko
30	Soustruh	otočit, zarovnat na délku 80, navrtat	nůž, navrtávák	měřítko
40	Soustruh	mezi hroty dokončit rozměry, sražení	nůž SK	mikrometr
50	Frézka	drážka pro pero	stopková fréza	kalibr
60	Bruska	hrotově Ø30h6, Ra 0,8	kotouč	mikrometr
70	Kontrola	rozměry, házení, záznam		úchylkoměr

Pořadí operací a tepelné zpracování

Krok	Proč tady
Řezání, hrubování	odstraní se nejvíc materiálu
Žíhání na odstranění pnutí, pokud je třeba	aby se díl po hrubování nezkřivil
Dokončovací obrábění	rozměry s přídavkem na broušení
Kalení a popouštění	tvrdost, po něm už se běžně neobrábí
Broušení	konečná přesnost a povrch
Kontrola a konzervace	měření, ochrana proti korozi

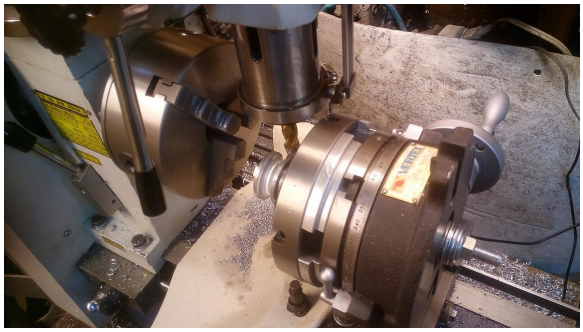
Přídavky na dokončování

Operace	Přídavek	Poznámka
Soustružení, dokončení	0,2 až 1 mm na průměr	podle velikosti dílu
Frézování, dokončení	0,2 až 0,5 mm na stranu	menší pro menší nástroje
Broušení	0,2 až 0,5 mm na průměr	po kalení možná deformace, pak víc
Vystružování	0,1 až 0,3 mm na průměr	podle průměru díry

Klasická frézka: přesnější práce

- **Šikmé plochy**: naklonění hlavy nebo obrobku. Úhel kontroluj úhloměrem nebo sinusovým pravítkem.
- **Otočný stůl**: kruhové drážky a díly s rozteči.
- **Vyvrtávací hlava**: přesná díra s roztečí danou kolečky a digitálním odměřováním.
- **Digitální odměřování**: ukazuje polohu přímo, vůle v kolečku tak přestává vadit, přesto najíždej jedním směrem.

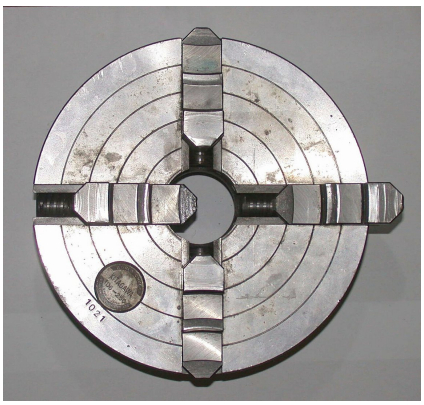




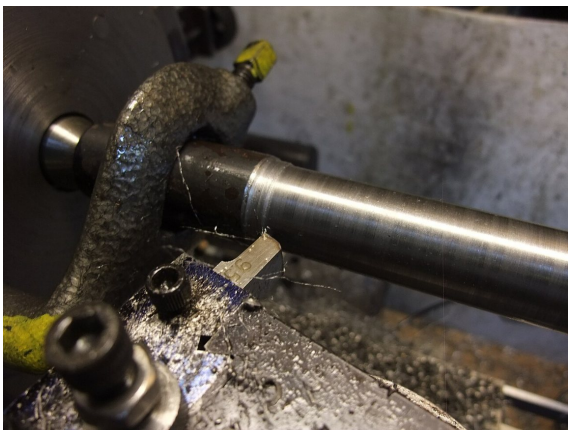
Obr. 3.10 Sinusové pravítko s úchylkoměrem (vlevo) a frézování s otočným stolem (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sine_bar_in_use.jpg; vpravo David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Concave_milling_with_rotary_table_1.jpg

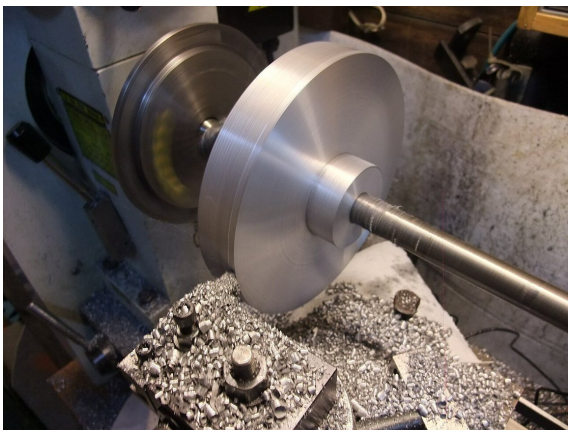
Klasický soustruh: přesnější práce

- **Mezi hroty**: po otočení zůstává díl souosý, používá se pro hřídele před broušením.
- **Luneta**: pevná stojí na loži a pohyblivá jede se suportem, oba typy podpírají štíhlé díly.
- **Čtyřčelisťové sklíčidlo**: vystředění úchylkoměrem pro excentrické nebo už obrobené díly.
- **Upínací trn**: přesné pouzdro nasazené na trn, když musí být vnější průměr souosý s dírou.



Obr. 3.11 Čtyřčelisťové sklíčidlo s rozdílně nastavenými čelistmi.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FourJawChuckIndependent.jpg





Obr. 3.12 Soustružení mezi hroty s unášecím srdcem (vlevo) a soustružení dílu nasazeného na trnu (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathe_Dog_in_Use.jpg; vpravo David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turning_on_a_Mandrel.jpg

Příklad výpočtu v postupu: přídavek pro broušení

Čep Ø30h6 po kalení. Na soustruhu necháš Ø30,4 a po kalení se brousí 0,4 mm na průměr na hodnotu mezi 29,987 a 30,000.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Přídavek na broušení je malý, obvykle 0,2 až 0,5 mm na průměr. Těsně před rozměrem dokonči bez přísuvu, dokud kotouč nepřestane jiskřit.
- Závit se kontroluje kalibrem, protikusem nebo měřením přes tři drátky, u kterého se měří průměr D2.
- Díru kontroluj dutinoměrem i na kuželovitost. Přesné díry H7 dokonči výstružníkem nebo broušením.
- V postupu začni plochami, které budou základnou. Přesnost a kalení nech na konec.
- Po kalení se běžně neobrábí, přichází broušení, kontrola a konzervace.

4

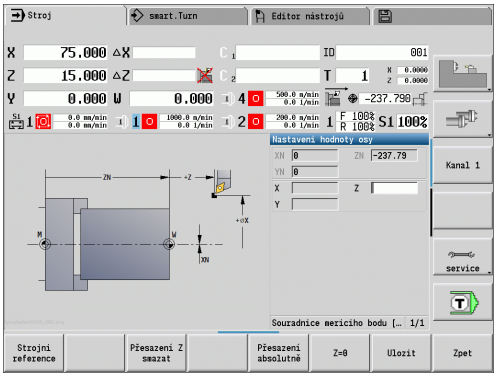
CNC OBRÁBĚNÍ

CNC soustružení: seřízení a cykly

Příprava stroje, konstantní řezná rychlost, korekce rádiusu, cykly Mikroprog S, výpočty do programu a časté problémy.

Příprava stroje

1. Nástroje: zkontroluj stav, upni do revolveru a porovnej s tabulkou nástrojů.
2. Korekce: změř nástroje seřizovačem nebo naškrábnutím a zapiš X, Z a rádius špičky.
3. Upnutí: tvrdé čelisti pro hrubý povrch, měkké vybrousíš nebo vysoustružíš na rozměr dílu.
4. Nula: čelo obrobku po zarovnání.
5. Simulace: dráhy, kolize, odjezdy.
6. První díl: po blocích, snížené posuvy, měření před dokončením.



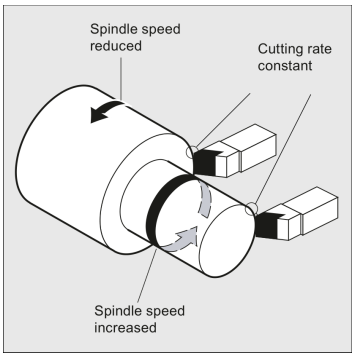
Obr. 4.1 Okno Nastavení hodnoty osy na řízení CNC PILOT 640. Pomocný obrázek ukazuje vzdálenost mezi body M a W jako XN a ZN. *Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Příručka uživatele CNC PILOT 640, dok. 1079662-C1, s. 89*

Konstantní řezná rychlost

G96 udržuje stále stejnou vc, takže se při zmenšování průměru otáčky zvyšují. Povrch je stejnoměrný a nástroj vydrží déle.

U malých průměrů by ale otáčky rostly neomezeně, proto se vždy omezují. Na Mikroprog S je to adresa A ve funkci G96, na Heidenhainu CNC PILOT funkce G26.

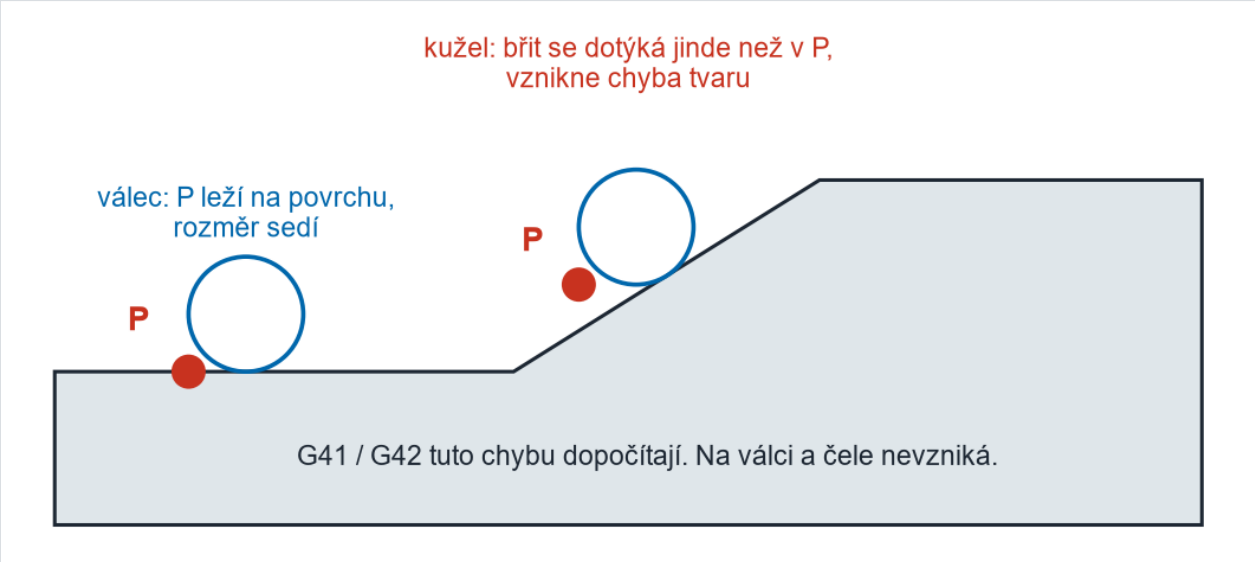
Při vrtání a závitování se G96 nepoužívá.



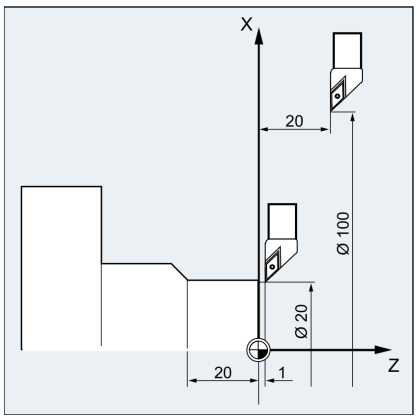
Obr. 4.2 Konstantní řezná rychlost: na větším průměru řízení otáčky sníží, na menším zvýší. *Vlastník obrázku: © Siemens AG 1995–2013, příručka SINUMERIK 840D sl / 828D Fundamentals, Programming Manual, 03/2013, 6FC5398-1BP40-3BA1, s. 92*

Korekce rádiusu špičky

Destička má zaoblenou špičku. Na válci ani na čele to nevadí, ale na kuželi a rádiusu vznikne rozměrová chyba.

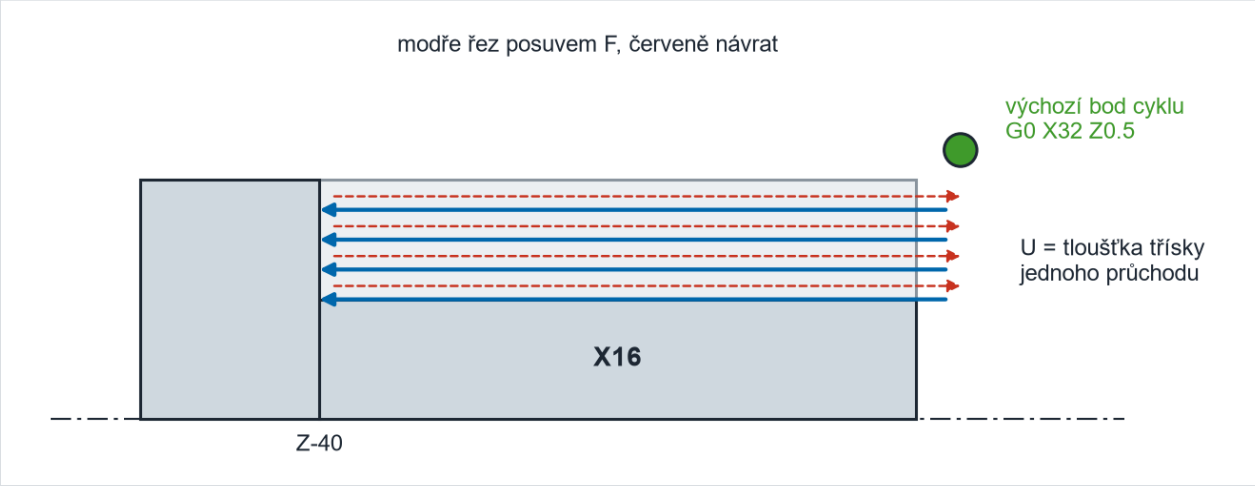


Obr. 4.3 Bez korekce vzniká na šikmých plochách chyba. G41 a G42 ji dopočítají.



Obr. 4.4 Příklad z příručky Siemens: blok N40 G42 X20 Z1 zapíná korekci rádiusu a nástroj najede na X20, Z1.
Vlastník obrázku: © Siemens AG 1995–2013, příručka SINUMERIK 840D sl / 828D Fundamentals, Programming Manual, 03/2013, 6FC5398-1BP40-3BA1, s. 260

Cykly Mikroprog S



Obr. 4.5 Podélný cyklus hrubování: tloušťku třísky zadáš adresou U.

Zápis	Co dělá
G68 X-1 Z0 W0.5 F100	čelní cyklus, X cílový průměr, Z cílové čelo, W tloušťka třísky
G64 X36.4 Z-50.8 U1 F100	podélný cyklus, X a Z nejzazší poloha, U tloušťka třísky
G61 X25.2 Z-30.9 U1	hrubování kužele
G63 X40 Z-125.8 U1 F170	hrubování vypuklého čtvrtkruhu
G66 X16 Z-12 W2 F30	zapichovací cyklus, W šířka nože
G78 X16.933 Z1 U0.15 K2.5	závit, X průměr jádra, U tříska, K stoupání

Práce s korekcí podle měření

Hrubý příklad: dokončuješ Ø30, naměříš 30,06. Průměr je větší o 0,06, korekci X uprav tak, aby se průměr zmenšil o 0,06. Znaménko se ověřuje podle systému a nikdy nepřepisuj program kvůli opotřebení.

Časté problémy

Co se děje	Možná příčina	Co udělat
Rozměr se postupně mění	opotřebení destičky, teplota	upravit korekci, vyměnit břit
Kuželovitost dílu	chvění nebo ohyb obrobku	podepřít, zkrátit vysunutí
Vlny na povrchu	chvění	změnit otáčky, zmenšit ap
Tříska se omotává	nevhodný posuv nebo utvářeč	upravit f a ap, jiná destička
Závit nejde našroubovat	chybí hloubka nebo otřep	dořezat, zkontrolovat X a kalibr

Přehled funkcí Mikroprog S

Funkce	Význam	Funkce	Význam
G0, G1	rychloposuv, přímka	G78, G79	závit, šikmý přísuv
G2, G3	oblouk ve směru a proti směru hodin	G81, G83, G85	vrtání, s výplachem, vystružování
G4	prodleva E v sekundách	G90, G91	absolutně, přírůstkově
G26, M17	podprogram a jeho konec	G92	přepsání souřadnic, trvalé
G33	závit jedním řezem	G94, G95	posuv mm/min, mm/ot
G40, G41, G42	korekce rádiusu špičky	G96	konstantní řezná rychlost
G61, G62, G63	hrubování: kužel, vydutý, vypuklý	M0, M1	stop, podmíněný stop
G64, G66, G68	podélný, zapichovací, čelní cyklus	M6, M30	výměna, konec

Výpočet závitu pro program

Cyklus potřebuje průměr jádra. Spočítáš ho z velkého průměru a stoupání: **d3 = d − 2 · 0,6134 · P**.

M20, P = 2,5:
d3 = 20 − 2 · 0,6134 · 2,5 = 16,933 mm

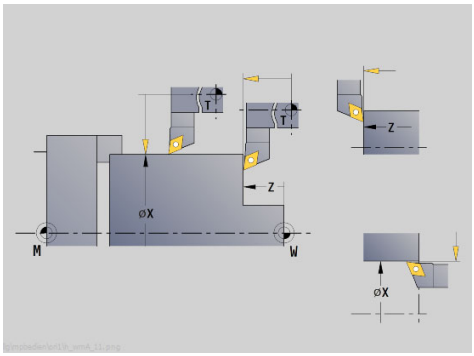
G78 X16.933 Z1 U0.15 K2.5
U = tloušťka třísky, K = stoupání

Výpočet bodů na kuželi a sražení

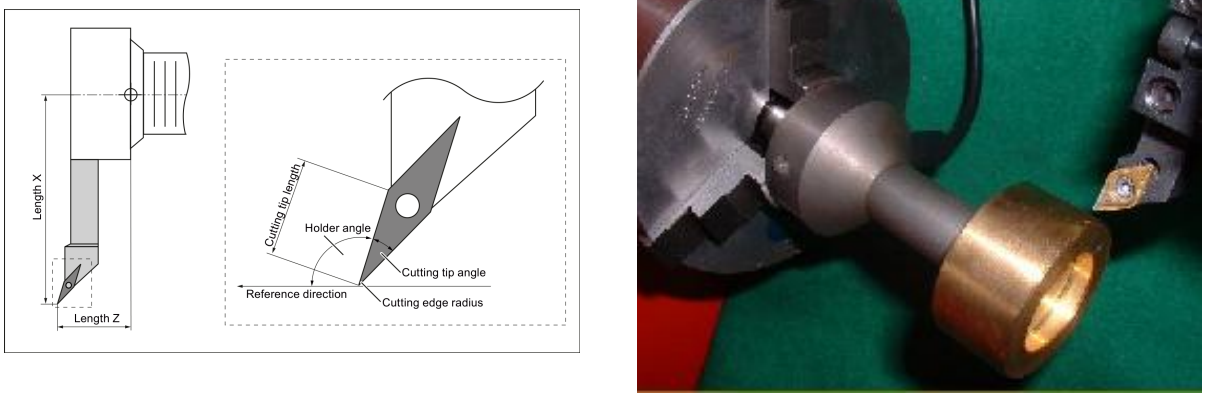
- Sražení 1x45° na Ø20: bod začátku X18 Z0, konec X20 Z-1.
- Kužel z Ø20 na Ø30 s délkou 25: X20 Z-10, X30 Z-35. Úhel dává tan(α/2) = 5 / 25 = 0,2, α/2 = 11,3°.
- Na X se počítá průměr, proto se rozdíl ve výšce dělí dvěma.

Seřízení nástroje naškrábnutím

1. Ruční režim, spusť vřeteno, najeď nástrojem pomalu k povrchu obrobku.
2. Lehce obrob krátký kousek válcové plochy a odjeď v Z bez změny X.
3. Zastav, změř průměr a zapiš do korekce X.
4. Stejně naškrábni čelo a zapiš Z.
5. Zapiš rádius špičky podle destičky.
6. Stejně nastav další nástroje vůči stejnému Z0.



Obr. 4.6 Pomocný obrázek k měření nástroje naškrábnutím na řízení CNC PILOT 640: body M a W, rozměry Z a ØX.
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Příručka uživatele CNC PILOT 640, dok. 1079662-C1, s. 98



Obr. 4.7 Rozměry dokončovacího nože v manuálu Siemens, délky X a Z a rádius břitu (vlevo). Elektrokontaktní dotyková sonda DS 6 (vpravo), výrobce ji uvádí pro měření korekcí soustružnických nástrojů.
Vlastník obrázku: vlevo © Siemens AG 2012, manuál SINUMERIK 840D sl/828D Turning, Operating Manual, 02/2012, 6FC5398-8CP40-3BA0, s. 643; vpravo Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Dotykové sondy

Měkké čelisti

Měkké čelisti se před prací vysoustruží na průměr dílu. Díl pak běží velmi přesně a nepoškodí se. Upínací tlak nastavíš podle tvaru: tenkostěnný díl se silným tlakem zdeformuje a po uvolnění nebude kruhový.

Hrubování a dokončování: příklad z programu

```
G64 X36.4 Z-50.8 U1 F100   hrubování, přídavek 0,4 na průměr
...
G1 X20 Z-1 F80             dokončovací dráha
G1 Z-25
```

Co hlásí stroj a co s tím

Hlášení nebo příznak	Co bývá za tím	Co udělat
Chyba v bloku	překlep, chybějící adresa	najít blok, opravit podle příručky
Mimo rozsah osy	špatná nula nebo koncový spínač	zkontrolovat Z0 a dráhu
Přetížení vřetena	velký záběr nebo tupý nástroj	zmenšit ap, vyměnit břit
Kolize v simulaci	špatný nástroj nebo najetí	opravit před spuštěním

CO SI ZAPAMATOVAT

- G96 udržuje stálou řeznou rychlost, proto se otáčky vždy omezují: na Mikroprog S adresou A ve funkci G96, na Heidenhainu CNC PILOT funkcí G26.
- Na kuželi a rádiusu vzniká bez korekce rádiusu špičky rozměrová chyba.
- Rozměr doladíš korekcí. Nikdy nepřepisuj program kvůli opotřebení.
- Průměr jádra závitu spočítáš jako d3 = d − 2 · 0,6134 · P.
- Na X se počítá průměr, proto se rozdíl ve výšce dělí dvěma.

5

CNC OBRÁBĚNÍ

CNC frézování: seřízení, cykly, strategie

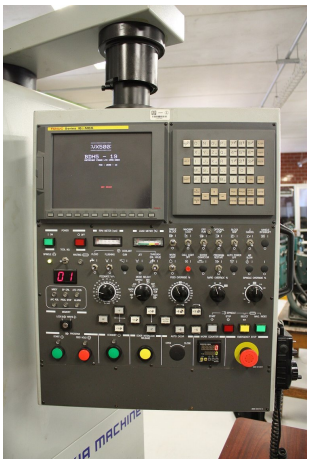
Příprava stroje, sousledné frézování, cykly Mikroprog F a Heidenhain, hledání nuly, sonda a strategie obrábění.

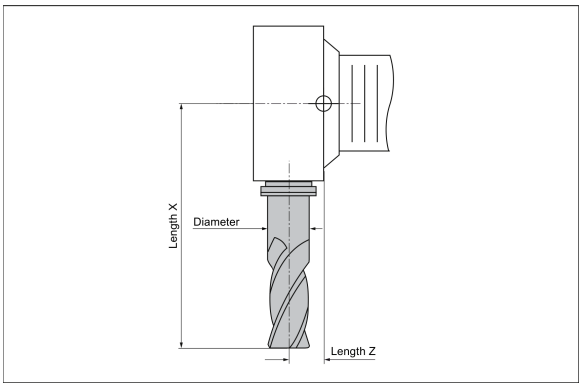
Příprava stroje

1. Nástroje: upni do držáku a změř délku a průměr seřizovačem nebo sondou.
2. Obrobek: svěrák ustavený hodinkami, podložky, tuhé upnutí.
3. Nula: X a Y najetím na hrany nebo střed, sondou, případně hledačem. Z na horní ploše. Ulož do tabulky.
4. Simulace a kontrola nástrojů v programu.
5. První průchod ve vzduchu nad dílem a první díl po blocích.



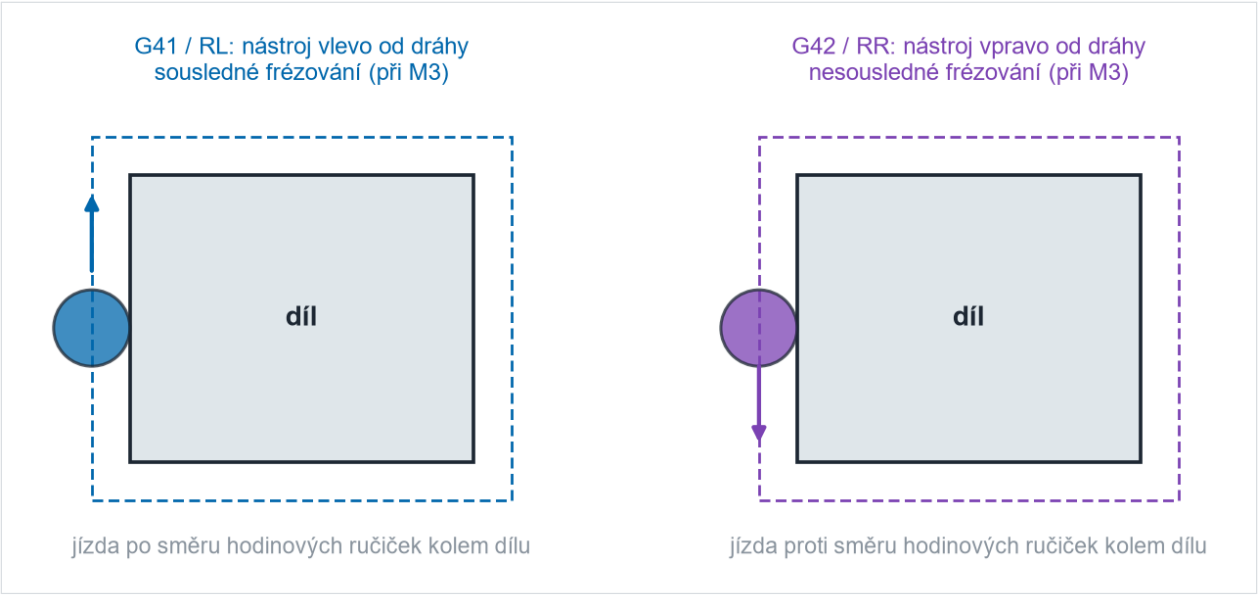
Obr. 5.1 Elektrokontaktní sonda DS 5 Small pod nástrojem. Výrobce ji uvádí pro umístění do pracovního prostoru frézky a seřizování nástrojů. *Vlastník obrázku: Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Dotykové sondy*



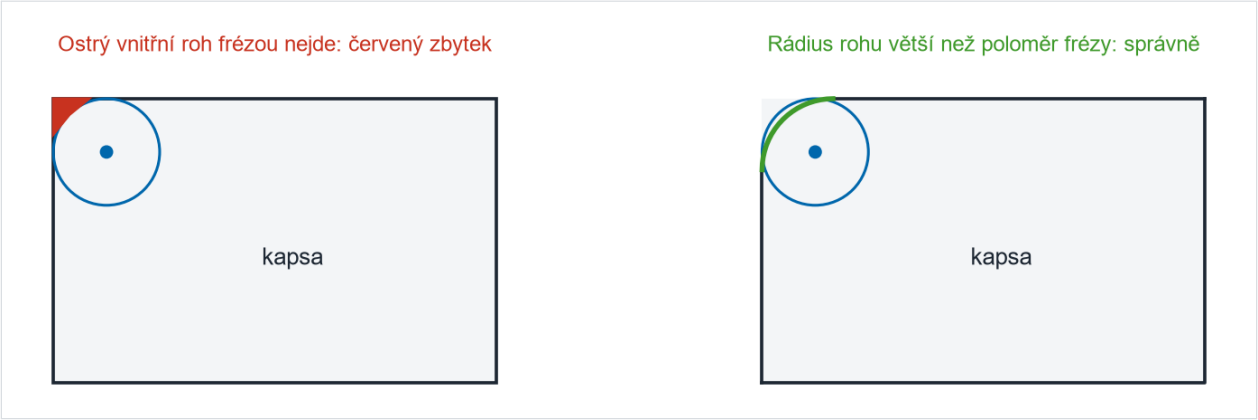


Obr. 5.2 Řídicí panel během seřizování CNC stroje Hyundai Kia (vlevo) a rozměry stopkové frézy v manuálu Siemens, délky X a Z a průměr (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Lfelipelopezp, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Instituto_de_Electromecanica_053.jpg; vpravo © Siemens AG 2012, manuál SINUMERIK 840D sl/828D Turning, Operating Manual, 02/2012, 6FC5398-8CP40-3BA0, s. 644

Sousledně a korekce



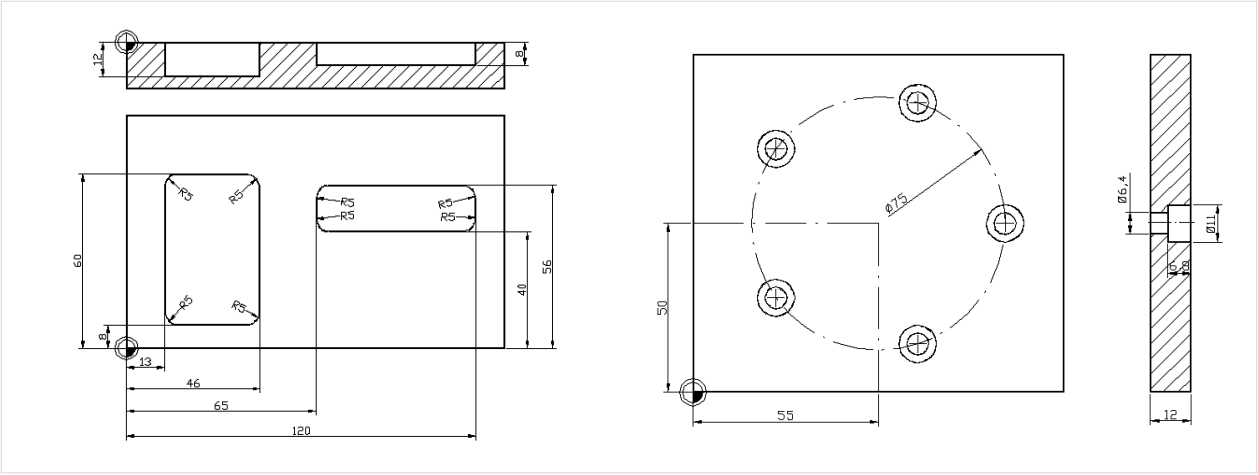
Obr. 5.3 Na CNC je výchozí sousledné frézování. Kolem dílu po směru hodin (G41 / RL).



Obr. 5.4 Vnitřní roh má rádius, který odpovídá fréze. Větší rádius je šetrnější.

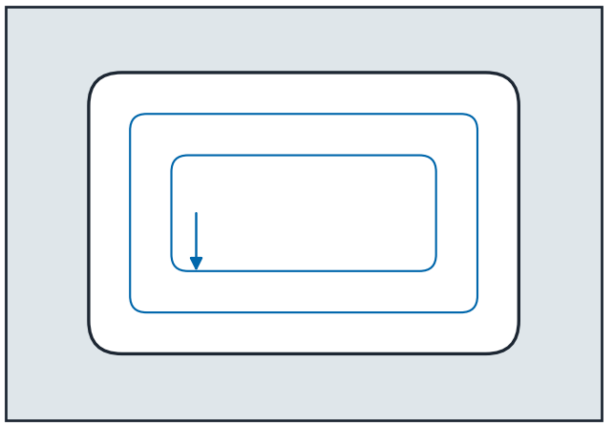
Cykly Mikroprog F

Zápis	Co dělá
G73 X45 Y50 Z-3 W2 F100	obdélníková kapsa do protilehlého rohu, W hloubka vrstvy
G74 X60 Y15 Z-3 W2 F200	drážka široká jako fréza
G75 D20 Z-3 W2 F200	kruhové vybrání, start nad středem
G76 D20 L200 H4 B0 F100	H prvků na kružnici D, podprogram od bloku L
G81 Z-11 F50	vrtání
G83 Z-60 W7 F50	hluboké vrtání s výplachem



Obr. 5.5 Výkresy z příkladů v příručce Mikroprog F: deska s obdélníkovými vybráními pro G73 (vlevo) a příruba s pěti děrami na roztečné kružnici Ø75 pro G76 (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Mikronex s.r.o., příručka Část speciální varianta MIKROPROG F, příklad u funkce G73; vpravo Mikronex s.r.o., příručka Část speciální varianta MIKROPROG F, příklad u funkce G76

Cykly Heidenhain iTNC 530



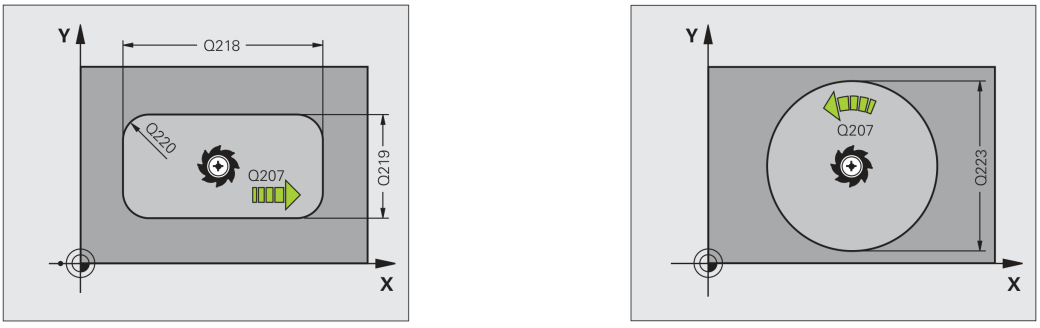
soustředně, v kapse po směru hodin = nesousledně

Cykly:
251 obdélníková kapsa
252 kruhová kapsa
253 drážka
254 kruhová drážka
20, 22, 23, 24 kapsa podle kontury

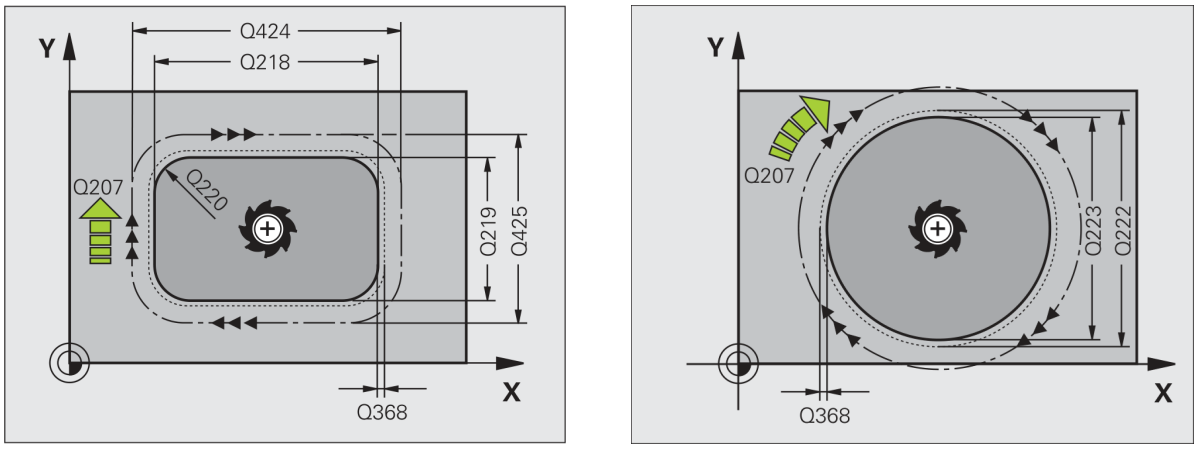
Hloubku a přísuv zadáš jednou,
řízení si vrstvy spočítá samo.

Obr. 5.6 Cykly dělají vrstvy a soustředné dráhy za tebe.

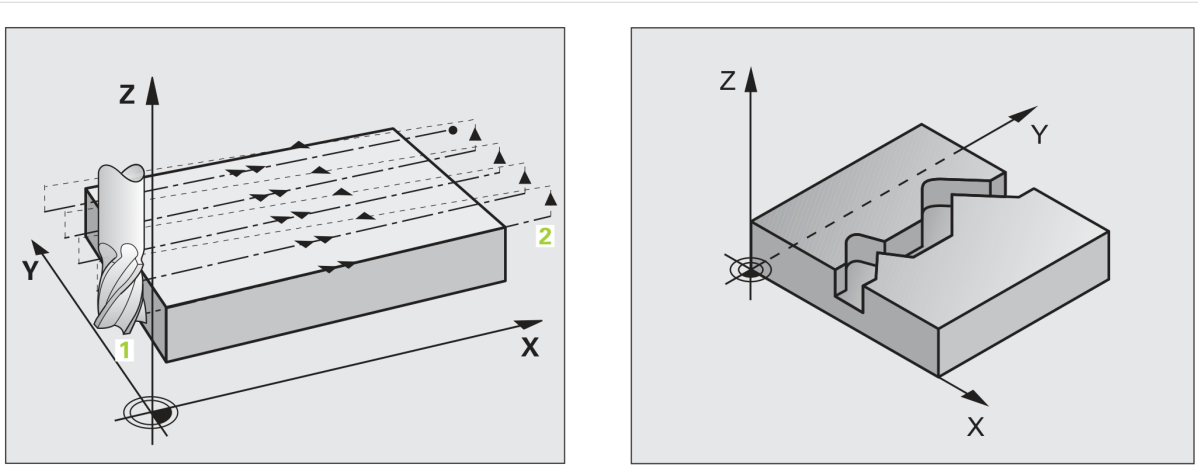
Cyklus	Práce
14 + 20 + 22 + 23 + 24	kapsa podle kontury: geometrie, data, hrubování, dno, boky
25	obrábění podél kontury
251, 252	obdélníková a kruhová kapsa
253, 254	drážka a kruhová drážka
256, 257	obdélníkový a kruhový čep
200, 203	vrtání, univerzální vrtání
232	frézování roviny



Obr. 5.7 Cyklus 251, obdélníková kapsa: strany Q218 a Q219, rádius rohu Q220 a posuv Q207 (vlevo). Cyklus 252, kruhová kapsa: průměr Q223 a posuv Q207 (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 143 a 148



Obr. 5.8 Cyklus 256, obdélníkový čep: hotový čep Q218 a Q219, polotovar Q424 a Q425 (vlevo). Cyklus 257, kruhový čep: hotový průměr Q223 a průměr polotovaru Q222 (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 163 a 167

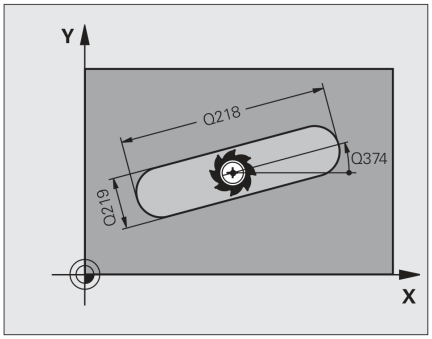


Obr. 5.9 Cyklus 232, frézování roviny se strategií Q389=2, tedy po řádcích (vlevo). Cyklus 25, obrábění podél kontury (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 272 a 206

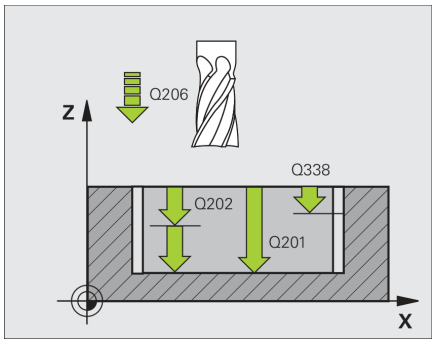
Ukázka: drážka cyklem 253

Šířka 5, délka 30, hloubka 4,5, plocha v Z-3, fréza Ø4. Texty parametrů jsou anglicky podle příručky a jazyk se může na řízení lišit.

```
5 TOOL CALL 4 Z S2500
6 L Z+50 R0 FMAX M3
7 CYCL DEF 253 SLOT MILLING
   Q215=+0 ;MACHINING OPERATION
   Q218=+30 ;SLOT LENGTH
   Q219=+5 ;SLOT WIDTH
   Q368=+0.1 ;ALLOWANCE FOR SIDE
   Q374=+0 ;ANGLE OF ROTATION
   Q367=+0 ;SLOT POSITION
   Q207=+60 ;FEED RATE FOR MILLING
   Q351=-1 ;CLIMB OR UP-CUT
   Q201=-4.5 ;DEPTH
   Q202=+0.75 ;PLUNGING DEPTH
   Q369=+0.1 ;ALLOWANCE FOR FLOOR
   Q206=+20 ;FEED RATE FOR PLNGNG
   Q338=+0 ;INFEED FOR FINISHING
   Q200=+2 ;SET-UP CLEARANCE
   Q203=-3 ;SURFACE COORDINATE
   Q204=+50 ;2ND SET-UP CLEARANCE
   Q366=+0 ;PLUNGE
   Q385=+60 ;FEED RATE FOR FINISHING
8 L X+90 Y+37.5 R0 FMAX
9 CYCL CALL
```



Obr. 5.10 Cyklus 253 v příručce iTNC 530: délka Q218, šířka Q219 a natočení Q374.
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 152



Obr. 5.11 Cyklus 253: hloubka Q201, přísuvy Q202 a Q338 a posuv do hloubky Q206.
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 153

PAMATUJ

Parametr Q351 říká, zda jede cyklus sousledně (+1), nebo nesousledně (−1). V kapse jede po směru hodinových ručiček nesousledné frézování, kolem ostrůvku sousledné. Celý program je ve školním materiálu MZ 2026, nejdřív ho vyzkoušej v Testu programu.

Strategie obrábění

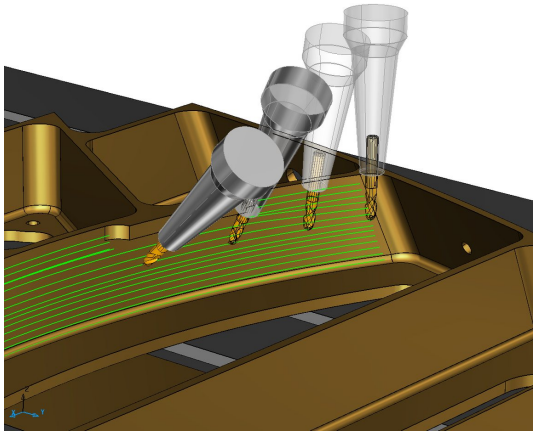
- **Hrubování**: velká hloubka, malý záběr do šířky u moderních nástrojů, přídavek na dokončení 0,2 až 0,5 mm.
- **Dokončování boků**: fréza po celé délce, malý záběr, sousledně.

- **Kapsy**: zanořuj šroubovicí nebo šikmo, kolmé zanoření jen frézou řezající středem nebo do předvrtané díry.
- **Velikost rohu**: fréza menší než rádius rohu, aby nevznikaly rázy a chvění.
- **Vyložení**: co nejkratší, délka je pro tuhost důležitější než průměr.

CAM

Složité tvary se neprogramují ručně. CAM software z 3D modelu vypočítá dráhy a postprocesor z nich vytvoří program pro konkrétní řízení.

Obráběč musí umět program přečíst, ověřit a případně upravit, proto znalost G kódu nezmizí.



Obr. 5.12 Dráhy nástroje vypočítané v CAM programu PowerMILL.
Vlastník obrázku: Delcam Plc, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PowerMILL_Toolpaths_Image.png

Přehled funkcí Mikroprog F

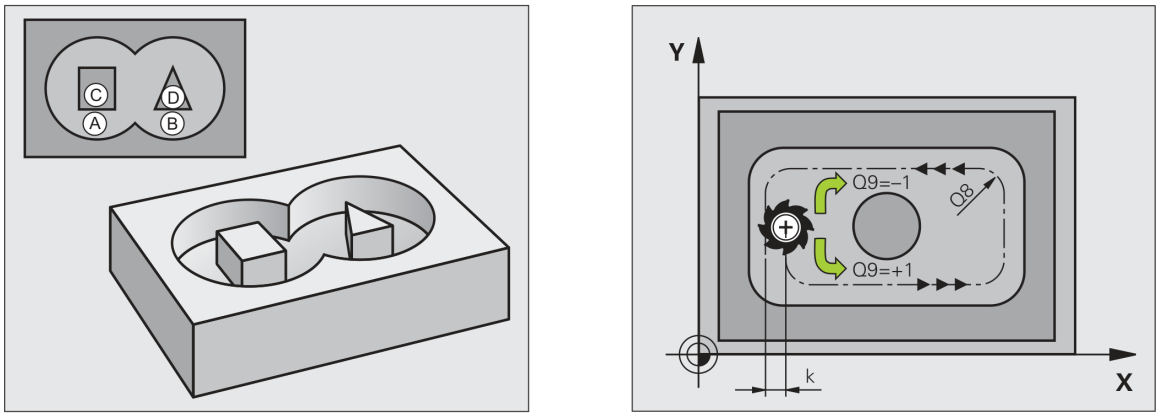
Funkce	Význam	Funkce	Význam
G0, G1	rychloposuv, přímka	G71	cyklus pro síť prvků
G2, G3	oblouk, šroubovice	G73	obdélníkové vybrání
G4	prodleva E	G74	drážka šířky nástroje
G17, G18, G19	volba roviny	G75	kruhové vybrání
G20	zrcadlení H	G76	prvky na kružnici
G26, M17	podprogram a konec	G77, G78	frézování závitů
G40, G41, G42	korekce průměru	G81, G83, G85	vrtání, výplach, vystružování
G59	natočení souřadnic U	G90, G91, G98	absolutně, přírůstkově, reference

POZOR

Na Mikroprog F korekce G41 a G42 neořezává vnitřní rohy. Vnitřní roh proto musí být tečný rádius větší než poloměr frézy.

Heidenhain: kapsa podle kontury

Kontura pětiúhelníku se popíše v podprogramu LBL a cykly ji obrobí. Cyklus 20 nese společná data, 22 hrubuje, 23 dokončuje dno a 24 boky. Parametr Q9 v cyklu 20 říká sousledně nebo nesousledně, Q9 v cyklu 24 říká přímo směr: −1 je po směru hodin.



Obr. 5.13 Cyklus 14: kapsa složená ze dvou kontur A a B s ostrůvky C a D (vlevo). Cyklus 20: směr Q9 pro kapsu a ostrůvek (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 187 a 193

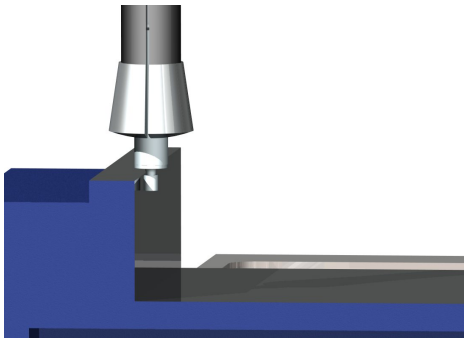
```
14 CYCL DEF 14.0 CONTOUR GEOMETRY
15 CYCL DEF 14.1 CONTOUR LABEL 1
16 CYCL DEF 20 CONTOUR DATA
   Q1=-7.5 ;MILLING DEPTH
   Q2=+1.4 ;TOOL PATH OVERLAP
   Q3=+0.1 ;ALLOWANCE FOR SIDE
   Q4=+0.1 ;ALLOWANCE FOR FLOOR
   Q5=+0 ;SURFACE COORDINATE
   Q6=+2 ;SET-UP CLEARANCE
   Q7=+50 ;CLEARANCE HEIGHT
   Q8=+0.2 ;ROUNDING RADIUS
   Q9=-1 ;DIRECTION OF ROTATION
17 CYCL DEF 22 ROUGH-OUT
   Q10=+0.75 ;PLUNGING DEPTH
   Q11=+20 ;FEED RATE FOR PLNGNG
   Q12=+60 ;FEED RATE FOR ROUGHING
   Q18=+0 ;COARSE ROUGHING TOOL
   Q19=+0 ;RECIPROCATION FEED RATE
   Q208=+99999 ;RETRACTION FEED RATE
18 CYCL CALL
```

```
...
26 LBL 1
27 L X+32.41 Y+28.5 RR
28 L X+25.871 Y+28.5
29 RND R2.5
...
38 L X+32.41 Y+28.5
39 LBL 0
```


Jak najít nulu obrobku

Hledač hran

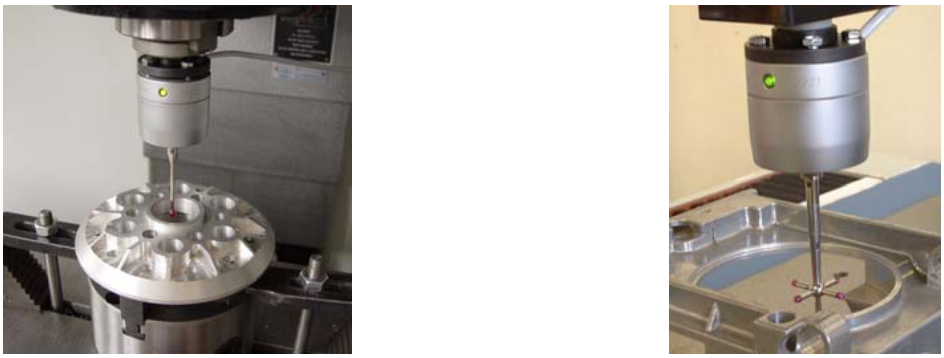
1. Vřeteno spusť na nízké otáčky, např. 500 ot/min.
2. Přibližuj se k hraně v X, až hrot hledače uhne.
3. Přičti nebo odečti poloměr. Hledač Ø10: hrana je 5 mm od osy.
4. Totéž v Y a zapiš do tabulky nul.
5. Z nastav dotykem nástroje nebo sondou a měrkou.



Obr. 5.14 Hledač hran u hrany obrobku, počítačový model.
Vlastník obrázku: Robert Hewitt, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edge_Finder_2.png

Sonda

3D sonda se dotkne ploch a řízení si spočítá polohu nebo střed samo. Pomocí cyklů změří roh, střed díry nebo natočení dílu. Je přesnější a rychlejší, ale je to citlivý nástroj: nesmí se s ní jet rychle a nesmí se zapomenout ve vřetenu, když běží program.

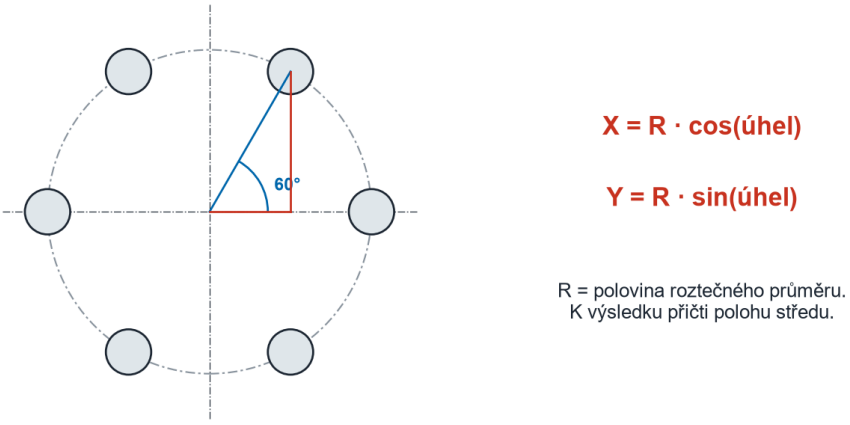


Obr. 5.15 Dotyková sonda upnutá ve vřetenu nad obrobkem, snímky z prospektu výrobce Mikronex.
Vlastník obrázku: Mikronex s.r.o., prospekt Měřící dotykové sondy, s. 2



Obr. 5.16 Spínací sonda HEIDENHAIN řady TS pro obrobek (vlevo) a sonda TT 130 pro měření nástrojů (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 pro popisný dialog, dok. 375 738-Z0, s. 47 a 48

Díry na kružnici



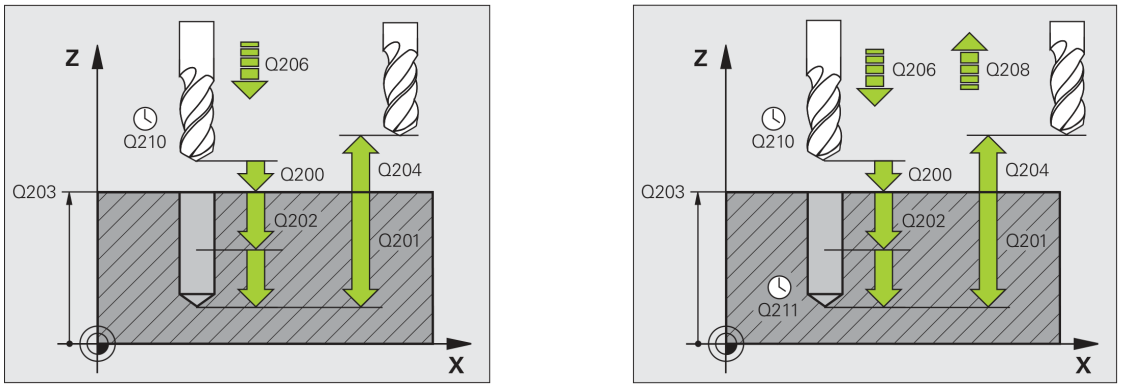
Obr. 5.17 Výpočet polohy děr na roztečné kružnici.

X = X0 + (D / 2) · cos(úhel)
Y = Y0 + (D / 2) · sin(úhel)

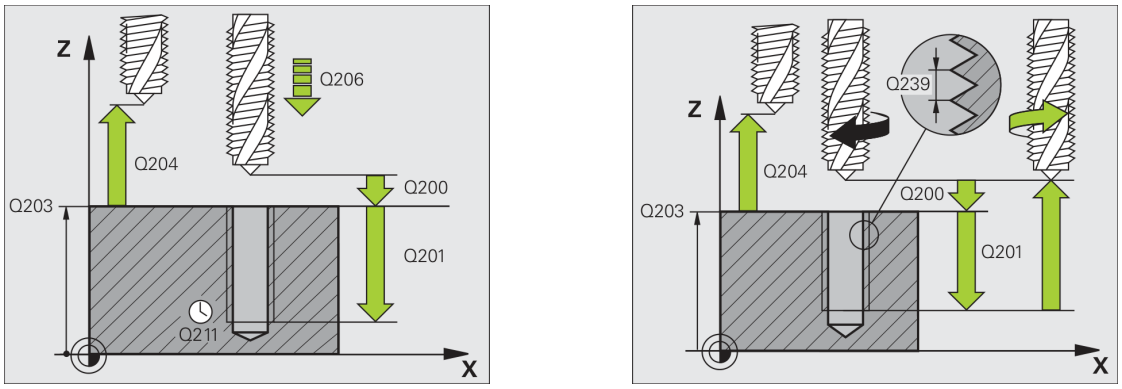
6 děr na D = 52, střed X50 Y35, úhly 0°, 60°, 120°...
Úhel 60°: X = 50 + 26 · 0,5 = 63,00
Úhel 60°: Y = 35 + 26 · 0,866 = 57,52

Vrtání na CNC

Cyklus	Mikroprog F	Heidenhain	Kdy
Vrtání	G81	200	krátké díry
Hluboké vrtání	G83	203, 205	hloubka nad 3× průměr
Vystružování	G85	201	přesné díry
Závit	podle vybavení	206, 207	plovoucí pouzdro, nebo pevné upnutí



Obr. 5.18 Parametry cyklu 200 (vlevo) a cyklu 203 (vpravo) v příručce iTNC 530.
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 76 a 85



Obr. 5.19 Řezání závitu: cyklus 206 s plovoucím pouzdrem (vlevo) a cyklus 207 bez plovoucího pouzdra (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 108 a 111

Časté problémy

Co se děje	Možná příčina	Co udělat
Zlomená malá fréza	velký fz, tříska zůstává v drážce	fz menší, ofuk, vrstvy
Rozměr kapsy je menší	průhyb frézy	dokončovací tříska, kratší fréza
Boční plocha není kolmá	průhyb, velké ap	menší záběr, dokončit celou délkou
Stopa při najetí	kolmé najetí na obrys	najíždět tečně
Díra mimo polohu	špatná nula, vrták ujel	ověřit nulu, navrtat

CO SI ZAPAMATOVAT

- Na CNC je výchozí sousledné frézování, kolem dílu po směru hodin (G41 / RL).
- Na Mikroprog F korekce G41 a G42 neořezává vnitřní rohy, tečný rádius musí být větší než poloměr frézy.
- Q351 říká, zda cyklus jede sousledně (+1), nebo nesousledně (−1).
- Se sondou se nesmí jet rychle a nesmí se zapomenout ve vřetenu, když běží program.
- Vyložení měj co nejkratší, délka je pro tuhost důležitější než průměr.

6

VÝPOČTY, KVALITA A PROVOZ

Výpočty pro praxi

Vzorce pro otáčky, posuv, čas, objem třísek a drsnost a osm řešených příkladů.

Veličina	Vzorec	Jednotka
Otáčky	n = 1000 · vc / (π · d)	ot/min
Posuv, soustružení	vf = f · n	mm/min
Posuv, frézování	vf = fz · z · n	mm/min
Strojní čas	t = L / vf, L včetně náběhu a přeběhu	min
Objem třísek, soustružení	Q = ap · f · vc	cm³/min
Objem třísek, frézování	Q = ae · ap · vf / 1000	cm³/min
Teoretická drsnost	Rz ≈ 1000 · f² / (8 · r)	µm

Příklad 1: strojní čas soustružení

Válec Ø50, délka 100, vc = 180 m/min, f = 0,25 mm/ot, náběh a přeběh dohromady 5 mm.

n = 180 000 / (3,14 · 50) = 1146 ot/min
vf = 0,25 · 1146 = 287 mm/min
t = 105 / 287 = 0,37 min = asi 22 s

Příklad 2: frézování

Fréza SK Ø10, 4 zuby, vc = 100 m/min, fz = 0,04 mm, ae = 5 mm, ap = 3 mm.

n = 100 000 / (π · 10) = 3183 ot/min
vf = 0,04 · 4 · 3183 = 509 mm/min
Q = 5 · 3 · 509 / 1000 = 7,6 cm³/min

Příklad 3: drsnost

Dokončování f = 0,1 mm/ot a rádius r = 0,8 mm:

> Rz = 1000 · 0,1² / (8 · 0,8) = 1,56 µm

> **TIP**
> Ve skutečnosti ovlivní výsledek také chvění, nástroj a materiál. Vzorec dává dobrý odhad, kde začít.

Příklad 4: kužel

D = 40, d = 30, L = 50. Kolik je úhel a kolik má ujet nožový suport?

> tan(α/2) = (40 − 30) / (2 · 50) = 0,1
> α/2 = 5,71°
> Dráha suportu: 50 / cos(5,71°) = 50,25 mm

Příklad 5: posuv na zub ze známého posuvu

Fréza Ø16, 4 zuby, n = 2000 ot/min, vf = 320 mm/min. Jaký je fz?

> fz = vf / (z · n) = 320 / (4 · 2000) = 0,04 mm/zub

Příklad 6: řezná rychlost ze známých otáček

Ø60, n = 800 ot/min. Jaká je řezná rychlost?

> vc = π · d · n / 1000 = 3,14 · 60 · 800 / 1000 = 151 m/min

Příklad 7: hmotnost a odpad

Polotovar Ø35 × 85 z oceli. Hotový díl Ø30 × 80.

Polotovar V	= 3,14 · 17,5² · 85 = 81 740 mm³ → 642 g
Díl V	= 3,14 · 15² · 80 = 56 520 mm³ → 444 g
Odpad do třísek	= 198 g, tedy 31 %

Příklad 8: odhad času a nákladů

Hrubování 2 minuty, dokončování 1 minuta, výměny a manipulace 2 minuty. Na kus je to 5 minut, 20 kusů znamená 100 minut a přidej 30 minut na seřízení. Tak se ukazuje, proč se seřízení u malých sérií tolik počítá.

Přehled trigonometrie pro dílnu

Vztah	K čemu
sin α = protilehlá / přepona	délka šikmé strany, poloha na kružnici Y
cos α = přilehlá / přepona	poloha na kružnici X, dráha suportu
tan α = protilehlá / přilehlá	úhel kužele, sražení
Pythagorova věta a² + b² = c²	vzdálenost dvou bodů

CO SI ZAPAMATOVAT

- Otáčky n = 1000 · vc / (π · d), posuv při soustružení vf = f · n, při frézování vf = fz · z · n.
- Strojní čas t = L / vf, přičemž L zahrnuje náběh a přeběh.
- Teoretická drsnost Rz ≈ 1000 · f² / (8 · r) dává dobrý odhad, kde začít. Výsledek ovlivní také chvění, nástroj a materiál.
- U malých sérií se čas seřízení počítá do odhadu celé zakázky.

7

VÝPOČTY, KVALITA A PROVOZ

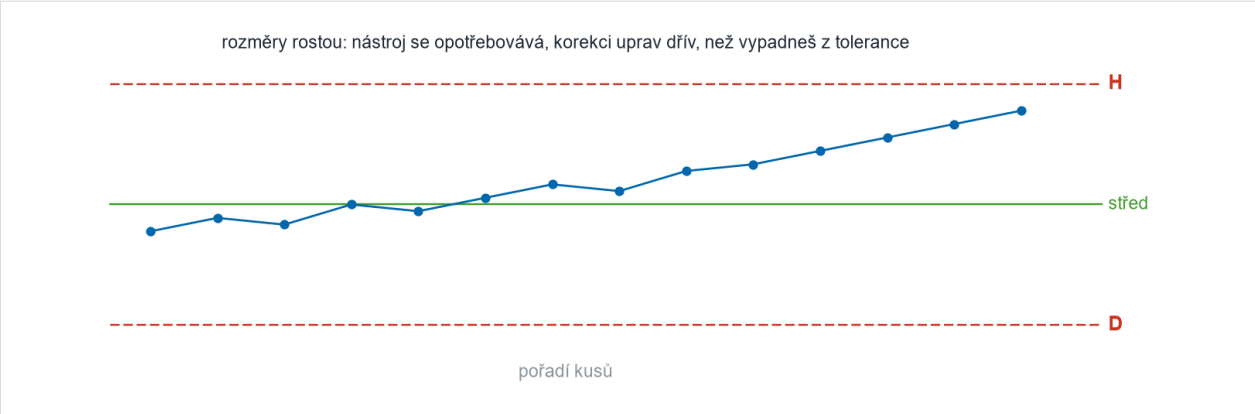
Kvalita a kontrola

Kontrola ve výrobě, předpisy na výkrese, co dělat s dílem mimo toleranci, protokol, hledání příčiny a 5S.

Kvalita se nedoměřuje až na konci. Obsluha má hlídat díl průběžně a zasáhnout dřív, než vznikne zmetek.

Kontrola ve výrobě

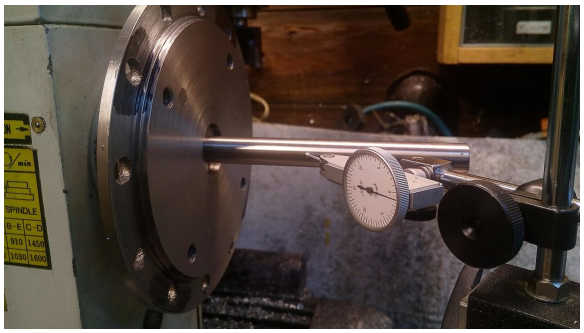
- **První kus**: změř všechny rozměry podle výkresu a zapiš do protokolu.
- **Průběžná kontrola**: podle plánu, například každý desátý kus.
- **Záznam a trend**: rozměry si zapisuj. Pokud se blíží k mezi, koriguj včas.



Obr. 7.1 Hodnoty se blíží k horní mezi: čas upravit korekci, i když je díl zatím dobrý.

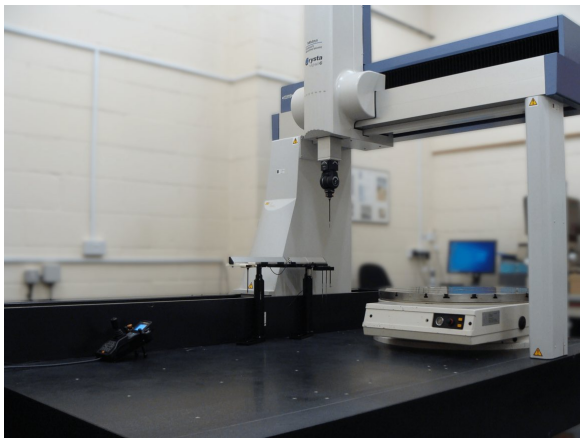
Předpisy na výkrese

Značka	Význam	Jak se měří
Kolmost, rovnoběžnost	plochy vůči základně	úchylkoměr na desce, úhelník
Kruhovitost, válcovitost	tvar průřezu a válce	mikrometr, měřicí přístroj
Házení	souosost při otáčení	úchylkoměr mezi hroty
Poloha	střed díry vůči základnám	souřadnicový měřicí stroj
Ra, Rz	drsnost povrchu	drsnoměr, etalon





Obr. 7.2 Kontrola házení úchylkoměrem na soustruhu (vlevo) a třmenový mikrometr Mahr 0 až 25 mm (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Checking_Runout_With_Dial_Test_Indicator.jpg; vpravo Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_Micromar_40A_0–25_mm_Micrometer.jpg





Obr. 7.3 Souřadnicový měřicí stroj (vlevo) a přístroj Taylor-Hobson Talysurf ze 40. let k měření profilu povrchu, vystavený v muzeu (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo AB Technology (Newark) Ltd, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5_Axis_Scanning_Coordinate_Measurement_Machine_(CMM).png; vpravo Andy Dingley, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talysurf,_Snibston.jpg

Co když je díl mimo toleranci

1. Přeměř díl a ověř měřidlo.
2. Zastav výrobu a oznam to UOV nebo mistrovi.
3. Odděl díl, označ ho. Neposílej ho dál.
4. Najdi příčinu: nástroj, korekce, upnutí, program.
5. Zkontroluj předchozí kusy.

> **POZOR**
> Chybu nezakrývej. Zmetek, který nikdo nenajde včas, stojí mnohem víc než zastavení stroje.

Záznam o kontrole

Protokol prvního kusu obsahuje číslo výkresu, zakázku, datum a obsluhu. Ke každému rozměru je jmenovitá hodnota, tolerance, naměřená hodnota a měřidlo.

Č.	Rozměr	Tolerance	Naměřeno	Měřidlo	OK
1	Ø30	h6	29,992	mikrometr	ano
2	80	±0,1	80,04	posuvné měřítko	ano
3	M16	6g	kalibr dobrá/zmetková	závitový kalibr	ano
4	drážka 8	P9	8,02	kalibr	ne

Jak hledat příčinu

Metoda **5× proč** pomáhá dostat se na skutečnou příčinu: proč je díl velký, protože je tupý nástroj. Proč je tupý, protože byl přetížený. Proč, protože posuv byl nad tabulkou. Oprava je pak v programu a ne jen ve výměně nástroje.

Pořádek na pracovišti: 5S

Krok	Význam	Příklad
Vytřídit	pryč, co tu nemá být	staré destičky a zbytky
Uspořádat	všechno má své místo	měřidla po ruce, nástroje značené
Čistit	stroj je vidět	třísky a únik oleje hned poznáš
Standardizovat	všichni stejně	stejný postup a značení
Udržovat	dělat to každý den	kontrolní seznam

CO SI ZAPAMATOVAT

- První kus změř celý podle výkresu a zapiš do protokolu, další podle plánu, například každý desátý.
- Rozměry si zapisuj. Pokud se blíží k mezi, koriguj včas.
- Díl mimo toleranci: přeměř, zastav výrobu, oznam, odděl a označ, najdi příčinu, zkontroluj předchozí kusy.
- Chybu nezakrývej. Zmetek, který nikdo nenajde včas, stojí mnohem víc než zastavení stroje.

8

VÝPOČTY, KVALITA A PROVOZ

Údržba, provoz a životní prostředí

Plán údržby, emulze, odpad, nové technologie, kontrola před směnou a péče o nástroje.

Kdy	Co	Proč
Denně	očistit třísky, zkontrolovat mazání a hladinu emulze	přesnost a životnost
Týdně	vyčistit kryty a čelisti, kontrola filtru	hladký chod
Podle plánu	výměna oleje, geometrie stroje, servis	dlouhodobá přesnost

Emulze

Emulze je směs vody a koncentrátu. Koncentraci kontroluj refraktometrem podle výrobce, typicky několik procent.

Příliš slabá emulze rychle zahnívá a nemaže, příliš silná dráždí pokožku. Olejový film se odstraňuje, aby nezapáchala.



Obr. 8.1 Ruční refraktometr.
Vlastník obrázku: CEphoto, Uwe Aranas, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portable-Refractometer-16.jpg

Odpad

- Třísky se třídí podle materiálu a recyklují.
- Použitá emulze, oleje a znečištěné sorbenty jsou nebezpečný odpad. Nikdy nepatří do kanálu.
- Znečištěné čisticí hadry patří do určených nádob.



Obr. 8.2 Vzorky třísek a slisovaný blok třísek. *Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SwarfSamples.jpg*

Nové technologie

- **Automatizace**: robot zakládá díly, systém hlídá nástroje a chod stroje.
- **Měření ve stroji**: sonda změří obrobek a program sám upraví korekci.
- **Digitalizace**: stroj je připojený do sítě a výroba má záznamy o každém dílu.

Kontrola stroje před směnou

- Hladina mazání a emulze.
- Tlak vzduchu a hydrauliky, pokud je stroj má.
- Stav dveří, spínačů a krytů.
- Nezvyklý hluk a chvění ihned nahlas.
- Třísky v dopravníku a filtrech.

Péče o nástroje

- Držáky a kuželové plochy udržuj čisté. Nečistota na kuželu způsobuje házení.
- Destičky ukládej v krabičkách. Břit se o kov snadno poškodí.
- Použitý tvrdokov se třídí a vrací k recyklaci.
- Otupené nástroje HSS se znovu ostří.



Obr. 8.3 Fréza s vyměnitelnými destičkami, fotografie z galerie oboru na webu školy. *Vlastník obrázku: Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie*

CO SI ZAPAMATOVAT

- Denně očisti třísky a zkontroluj mazání a hladinu emulze.
- Koncentraci emulze kontroluj refraktometrem podle výrobce.
- Použitá emulze, oleje a znečištěné sorbenty jsou nebezpečný odpad. Nikdy nepatří do kanálu.
- Nečistota na kuželu držáku způsobuje házení.

9

OD ZAKÁZKY KE ZKOUŠCE

Od výkresu k hotovému dílu

Celá zakázka čepu od rozboru výkresu po sérii, ukázka Heidenhain, řídicí systémy a rizika podle materiálu.

Projdi si celou zakázku. Čep Ø20 × 25 s čelem a sražením 1x45° na stroji SRL 20, polotovar Ø30, ocel S235, 20 kusů.

1. Rozbor výkresu

- Tvar je rotační, proto soustruh.
- Tolerance ±0,1 zvládne běžné obrábění.

- Série 20 kusů se vyplatí na CNC.

2. Seřizovací list

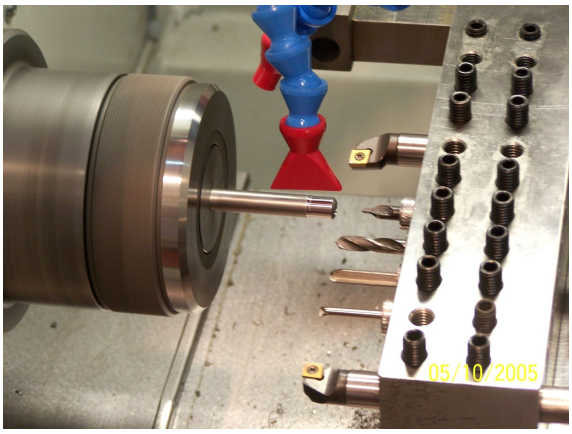
Položka	Hodnota
Upnutí	sklíčidlo, vysunutí tak, aby nástroje dosáhly a bylo místo na upíchnutí
Nula	Z0 na čele, X0 v ose
T1	hrubovací nůž, S1000, F100, tříska 1 mm
T6	dokončovací nůž, S1200, F80
Měřidla	posuvné měřítko, mikrometr 0 až 25

3. Program po částech

Bloky	Co se děje	Na co myslet
N10 až N50	vyjetí, T1, chlazení, otáčky	nejdřív X, pak Z
N60 až N70	najetí a zarovnání čela	X-1 přejede osu, nezůstane čípek
N80 až N90	hrubování cyklem G64	přídavek 0,4 na průměr
N100 až N140	vyjetí a T6	správná korekce T6
N150 až N180	dokončovací dráha se sražením	posuv menší kvůli povrchu
N190 až N230	vyjetí, vypnutí, konec	stroj musí stát v bezpečné poloze

4. První kus a korekce

1. Spusť simulaci.
2. Po blocích, s nízkým override.
3. Po dokončení změř Ø20. Když je 20,06, korekci uprav o 0,06 na průměr.
4. Změř délku 25 a podle potřeby uprav korekci Z.
5. Ulož záznam do protokolu.



Obr. 9.1 Soustruh SRL 20 CNC s nástrojovou lištou podle popisku v galerii výrobce. Stroj ve škole může být vybavený jinak.
Vlastník obrázku: Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Galerie

5. Série

Každý pátý kus změř, zapiš a sleduj trend. Rozměr se s opotřebením pomalu mění. Když se destička opotřebí, vyměň ji a znovu zkontroluj první kus.

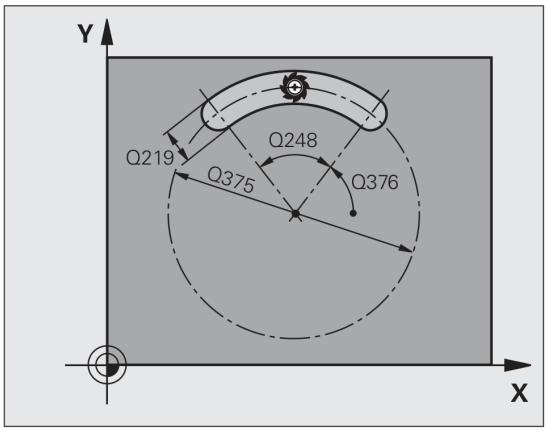
Heidenhain: kruhová drážka a díry

Z programu Praktická MZ 2026. Drážka je široká jako fréza, cyklus proto dělá jen hrubování. Díry jsou dané seznamem poloh a M99 v každém bloku volá naposledy definovaný cyklus.

```
CYCL DEF 254 CIRCULAR SLOT
   Q215=+1 ;MACHINING OPERATION
   Q219=+4 ;SLOT WIDTH
   Q368=+0 ;ALLOWANCE FOR SIDE
   Q375=+17 ;PITCH CIRCLE DIA.
   Q367=+0 ;REF. SLOT POSITION
   Q216=+12.5 ;CENTER IN 1ST AXIS
   Q217=+12.5 ;CENTER IN 2ND AXIS
   Q376=+180 ;STARTING ANGLE
   Q248=+90 ;ANGULAR LENGTH
   Q378=+0 ;STEPPING ANGLE
   Q377=+1 ;NUMBER OF OPERATIONS
   ...
CYCL CALL

CYCL DEF 200 DRILLING
   Q200=+2 ;SET-UP CLEARANCE
   Q201=-2.5 ;DEPTH
   Q206=+20 ;FEED RATE FOR PLNGNG
   Q202=+1 ;PLUNGING DEPTH
```

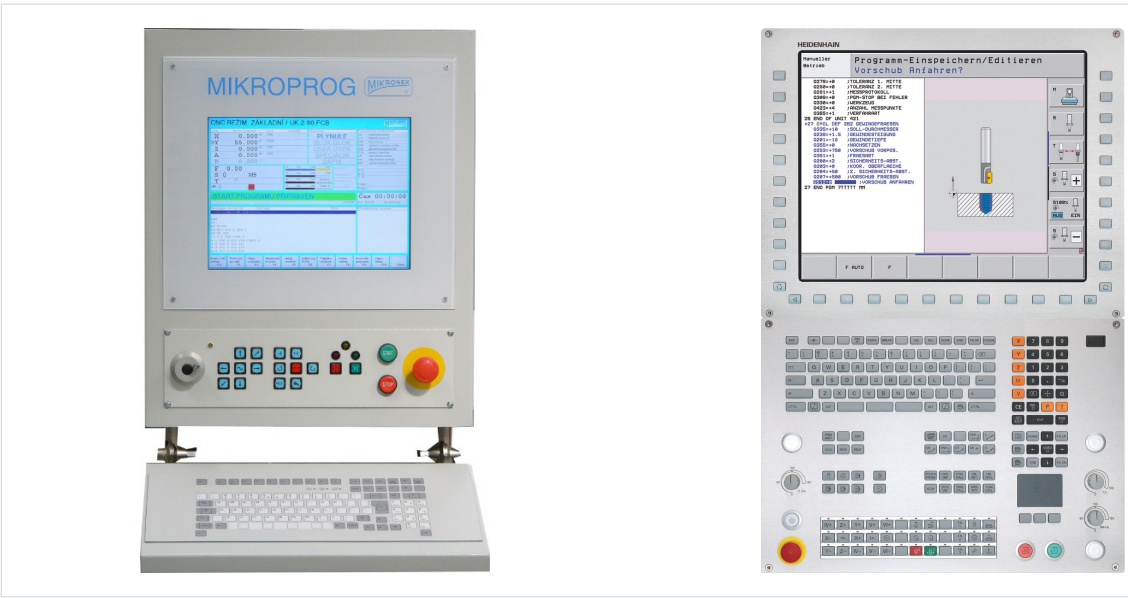
```
    Q210=+0 ;DWELL TIME AT TOP
    Q203=-2 ;SURFACE COORDINATE
    Q204=+50 ;2ND SET-UP CLEARANCE
    Q211=+0.1 ;DWELL TIME AT DEPTH
L X+76 Y+63.838 R0 FMAX M99
L X+84 Y+64.511 R0 FMAX M99
```



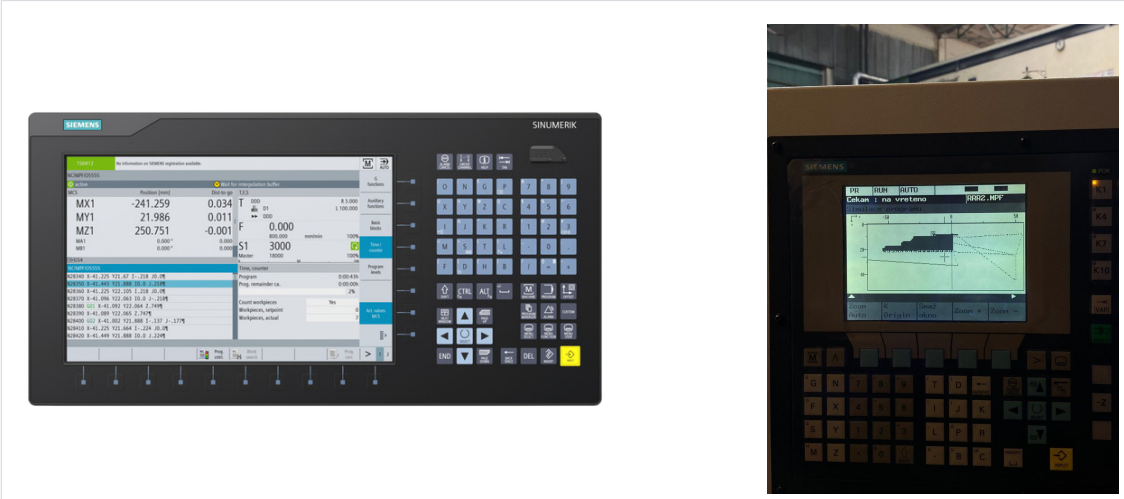
Obr. 9.2 Cyklus 254 v příručce iTNC 530: šířka Q219, roztečný průměr Q375, počáteční úhel Q376 a úhlová délka Q248.
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 158

Řídicí systémy, které potkáš

Systém	Styl programování	Poznámka
Mikroprog	G kód a vlastní cykly	český, ve škole
Heidenhain	popisný dialog, i DIN/ISO	časté na frézkách
Siemens Sinumerik	G kód a dílenské programování	velmi rozšířený
Fanuc	G kód	velmi rozšířený
Mazatrol	dialogový	stroje Mazak



Obr. 9.3 Řídicí systém MIKROPROG (vlevo) a řídicí panel HEIDENHAIN iTNC 530 (vpravo), snímky výrobců.
Vlastník obrázku: vlevo Mikronex s.r.o., prospekt MIKROPROG F a S (V4), s. 1; vpravo © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 1



Obr. 9.4 Panel řady SINUMERIK 828 na webu Siemens (vlevo) a řídicí panel SIEMENS s grafickou simulací programu z galerie oboru na webu školy (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo © Siemens AG, web siemens.com, stránka SINUMERIK 828D; vpravo Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie

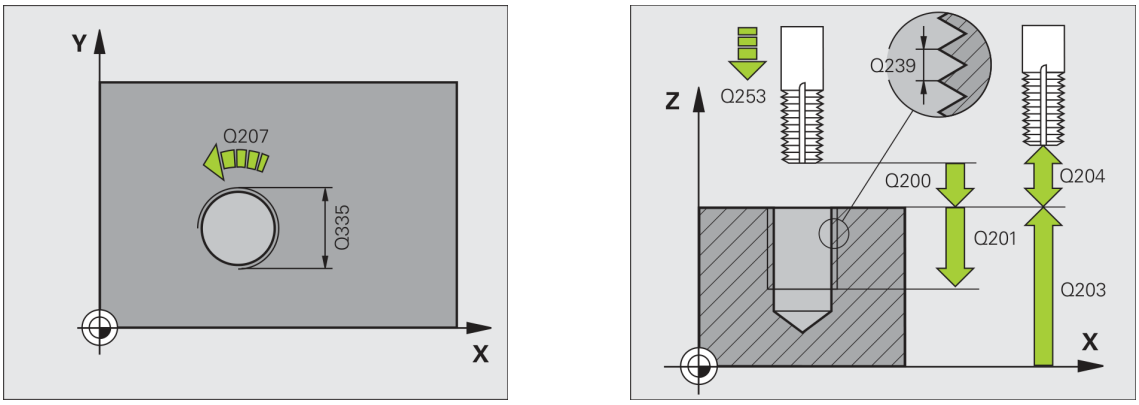
TIP

Když umíš číst G kód a znáš princip cyklů, přejít na jiný systém je otázka několika dní s příručkou.

Frézování závitů a další možnosti CNC

- **Frézování závitu**: závitová fréza jede po šroubovici do díry nebo po čepu. Hodí se pro velké a tvrdé materiály, kde by zlomený závitník znamenal zmetek.

- **Šroubovicové zanoření**: G2 nebo G3 s pohybem v Z. Šetří nástroj a nepotřebuje předvrtání.
- **Zrcadlení a natočení**: stejný podprogram lze použít pro symetrický tvar.
- **Podprogramy**: opakující se části jsou kratší a bezpečnější.



Obr. 9.5 Frézování závitu cyklem 262 v příručce iTNC 530: jmenovitý průměr Q335 a posuv Q207 (vlevo), stoupání Q239 a parametry v ose nástroje (vpravo).
Vlastník obrázku: © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 117 a 119

Kritické body při obrábění podle materiálu

Materiál	Největší riziko	Doporučení
Nerez	zpevnění povrchu	stálá tříska, ostrý nástroj, nezastavovat v řezu
Hliník	přilepení na břit	ostrý leštěný břit, velká drážka
Litina	prach a abraze	odsávání, ochrana vedení
Kalená ocel	lom nástroje	broušení nebo speciální CBN

CO SI ZAPAMATOVAT

- Tvar, tolerance a počet kusů rozhodnou o stroji.
- Seřizovací list říká upnutí, nulu, nástroje s řeznými podmínkami a měřidla.
- První kus: simulace, po blocích s nízkým override, měření a úprava korekce, záznam do protokolu.
- V sérii měř podle plánu, sleduj trend a po výměně destičky znovu zkontroluj první kus.

10

OD ZAKÁZKY KE ZKOUŠCE

Příprava na závěrečnou zkoušku

Části zkoušky, kontrolní seznam, cvičný test s řešením, slovníček a zdroje manuálu.

Závěrečná zkouška oboru s výučním listem má obvykle písemnou, praktickou a ústní část. Přesné zadání a podmínky ti sdělí škola.

Na co se soustředit

Část	Co se bude hodit
Písemná	materiály, technologie, výkresy, výpočty, řezné podmínky
Praktická	čtení výkresu, volba postupu, přesnost, bezpečnost, měření
Ústní	vysvětlit stroj, nástroj, postup a chyby vlastními slovy

Kontrolní seznam před praktickou zkouškou

- Přečetl jsem celý výkres včetně tolerancí a drsnosti.
- Mám připravený postup a řezné podmínky.
- Znám polotovar a jeho upnutí.
- Vím, od které plochy měřím a jakým měřidlem.
- Vím, jak zapíšu korekci a jak otestuji program.
- Mám ochranné pomůcky a čisté pracoviště.

Cvičný test

1. Kdy zvolíš broušení místo soustružení?
2. K čemu slouží G96 a proč se omezují otáčky?
3. Proč nestačí programovat kužel bez korekce rádiusu?
4. Naměříš Ø30,06 místo Ø30,00. Co uděláš?
5. Jaká je hlavní výhoda dlouhotočného soustruhu?
6. Co umí stroj 3+2 oproti 3osému?
7. Co je v SL cyklu ostrůvek?

8. Co znamená Q351=+1?
9. Fréza Ø12, 3 zuby, vc = 90 m/min, fz = 0,05 mm. Spočítej n a vf.
10. Spočítej strojní čas: L = 200 mm, vf = 400 mm/min.
11. Co uděláš, když je kus mimo toleranci?
12. Proč se zapisuje trend rozměrů?
13. Co obsahuje technologický postup?
14. Co říká značka H7?
15. Jak se likviduje použitá emulze?
16. Jak spočítáš rozměr M přes tři dráty?
17. Proč se po kalení brousí, a ne soustruží běžným nožem?
18. Jaký je průměr jádra závitu M16 × 2?
19. Jak zadáš poloměr špičky při korekci?
20. Co znamená G41 na Mikroprog F a jaké má omezení?
21. K čemu slouží cyklus 22 s parametrem Q18?
22. Jaká je souřadnice díry při úhlu 120° na D = 40, střed X0 Y0?
23. Spočítej fz: vf = 200, z = 2, n = 2500.
24. Spočítej vc: Ø25, n = 1200.
25. Co je metoda 5× proč?
26. Co obsahuje protokol prvního kusu?
27. Proč se čistí kužel držáku nástroje?

Řešení

1. Když je třeba velká přesnost, malá drsnost nebo je materiál kalený.
2. Udržuje stálou řeznou rychlost. Bez omezení by otáčky u malých průměrů nepřiměřeně rostly.
3. Zaoblená špička se dotýká jinde, než systém počítá, a na šikmé ploše vzniká chyba tvaru.
4. Upravím korekci tak, aby se průměr zmenšil o 0,06, a díl přeměřím. Program se nepřepisuje.
5. Vodicí pouzdro podepírá materiál přímo u řezu, takže lze přesně obrábět dlouhé štíhlé díly.
6. Natočí obrobek a pak obrábí 3 osami, takže opracuje víc stran na jedno upnutí.
7. Část uvnitř kapsy, která zůstává neobrobená.
8. Sousledné frézování.
9. n = 90 000 / (3,14 · 12) = 2389 ot/min. vf = 0,05 · 3 · 2389 = 358 mm/min.
10. t = 200 / 400 = 0,5 min = 30 s.
11. Přeměřím, zastavím výrobu, oznámím, označím a oddělím kus, hledám příčinu, kontroluji předchozí kusy.

12. Aby se korigovalo dřív, než se díl dostane mimo toleranci.
13. Pořadí operací, stroje, nástroje, řezné podmínky, měřidla.
14. Toleranční pole díry: dolní úchylka je 0, velikost je stupeň přesnosti IT7.
15. Jako nebezpečný odpad, do určené nádoby, nikdy do kanálu.
16. M = D2 + 3·d − 0,866·P.
17. Materiál je po kalení příliš tvrdý a broušením se dosáhne přesnosti a malé drsnosti.
18. 16 − 2 · 0,6134 · 2 = 13,546 mm.
19. V tabulce nástrojů, podle destičky, například 0,8 mm.
20. Korekce vlevo. Vnitřní rohy se neořezávají, proto musí být tečný rádius větší než poloměr frézy.
21. Hrubuje jen to, co nezvládl předchozí větší nástroj.
22. X = 20 · cos 120° = −10, Y = 20 · sin 120° = 17,32.
23. fz = 200 / (2 · 2500) = 0,04 mm/zub.
24. vc = 3,14 · 25 · 1200 / 1000 = 94 m/min.
25. Opakované ptaní na příčinu, abychom se dostali ke skutečnému zdroji problému.
26. Výkres, datum, obsluhu a ke každému rozměru jmenovitou hodnotu, toleranci, naměřenou hodnotu a měřidlo.
27. Nečistota způsobuje házení a tím špatný rozměr a zkrácení životnosti.

Slovníček

Pojem	Vysvětlení
CAM	software, který z modelu vypočítá dráhy nástroje
Etalon	vzor pro porovnání nebo nastavení měřidla
Orovnání	úprava tvaru a ostrosti brusného kotouče
Ostrůvek	část, která v kapse zůstane neobrobená
Protokol	záznam o naměřených hodnotách
Sonda	dotykové čidlo pro měření obrobku a nástroje ve stroji

Zdroje

- SOŠ Frýdek-Místek: stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, sosfm.cz. Vlastní školní osnova nebyla při přípravě dostupná, rozpis témat určuje učitel odborného výcviku.

- ŠVP Obráběč kovů 23-56-H/01: SOŠ Josefa Sousedíka Vsetín (2021), SŠ Edvarda Beneše Břeclav (2024), SŠ polytechnická Vyškov, zaměření CNC (2025). Sloužily jako inspirace pro rozložení učiva do ročníků.
- Rámcový vzdělávací program 23-56-H/01 Obráběč kovů, MŠMT, 2020.
- HEIDENHAIN: iTNC 530, Cycle Programming, dokument 670388-25, NC software 60642x-04, content.heidenhain.de.
- Školní materiály CNC soustruh a CNC frézka: Mikroprog a Heidenhain.
- Skutečné obrázky mají vlastníka uvedeného pod obrázkem a v tabulce níže. Schémata bez uvedeného vlastníka jsou vlastní zpracování.

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obálka vlevo	Kinshofer, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KinshoferGmbH_HPXdrive_manufacturing.JPG
Obálka vpravo, oříznuto	Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scheibe_im_eingriff.jpg
Obr. 1.1, 1.2, 3.8 vlevo, 8.3, 9.4 vpravo	Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie
Obr. 2.1 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HwacheonCentreLathe_460x1000.jpg
Obr. 2.1 vpravo	TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C512_single-column_vertical_lathe_20260331130236.jpg
Obr. 2.2 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeikiLathe.jpg
Obr. 2.2 vpravo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeiki-examples.jpg
Obr. 2.3 vlevo	Dan Bollinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bridgeport_knee_mill_restored.jpg
Obr. 2.3 vpravo	Ms. Kotone Ojiri, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:06_INH_Automation.jpg
Obr. 2.5 vlevo	TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMTCL_VMC0656e_5-axis_machining_center_20260331123404.jpg
Obr. 2.5 vpravo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Makino-S33-MachiningCenter-example.jpg
Obr. 2.6 vlevo	Graibeard (autor podle stránky souboru předpokládaný), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BallScrewNut-showing-balls-recirculating-tubes.jpg
Obr. 2.6 vpravo	Silberwolf, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_table_rail_guide.png
Obr. 3.2 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SurfaceGrinder-Proth-insetMagChuck.jpg

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obr. 3.2 vpravo	Amos1947, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylindrical_grinder.jpg
Obr. 3.3 vlevo	Wizard191, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centerless_grinder.jpg
Obr. 3.3 vpravo	Wizard191, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centerless_grinder_wheels.jpg
Obr. 3.4 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GrindingWheelDressersDiamond.jpg
Obr. 3.4 vpravo	Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scheibe_im_eingriff.jpg
Obr. 3.5 vlevo	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG
Obr. 3.5 vpravo	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Machine-screw-tap-1.JPG
Obr. 3.7	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Not_Go_Ring.JPG
Obr. 3.8 vpravo	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathe_Boring.jpg
Obr. 3.9	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ReamerMorseTaper3.jpg
Obr. 3.10 vlevo	Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sine_bar_in_use.jpg
Obr. 3.10 vpravo	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Concave_milling_with_rotary_table_1.jpg
Obr. 3.11	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FourJawChuckIndependent.jpg
Obr. 3.12 vlevo	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathe_Dog_in_Use.jpg
Obr. 3.12 vpravo	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turning_on_a_Mandrel.jpg
Obr. 4.1	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Příručka uživatele CNC PILOT 640, dok. 1079662-C1, s. 89
Obr. 4.2	© Siemens AG 1995–2013, příručka SINUMERIK 840D sl / 828D Fundamentals, Programming Manual, 03/2013, 6FC5398-1BP40-3BA1, s. 92
Obr. 4.4	© Siemens AG 1995–2013, příručka SINUMERIK 840D sl / 828D Fundamentals, Programming Manual, 03/2013, 6FC5398-1BP40-3BA1, s. 260
Obr. 4.6	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Příručka uživatele CNC PILOT 640, dok. 1079662-C1, s. 98
Obr. 4.7 vlevo	© Siemens AG 2012, manuál SINUMERIK 840D sl/828D Turning, Operating Manual, 02/2012, 6FC5398-8CP40-3BA0, s. 643

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obr. 4.7 vpravo, 5.1	Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Dotykové sondy
Obr. 5.2 vlevo	Lfelipelopezp, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Instituto_de_Electromecanica_053.jpg
Obr. 5.2 vpravo	© Siemens AG 2012, manuál SINUMERIK 840D sl/828D Turning, Operating Manual, 02/2012, 6FC5398-8CP40-3BA0, s. 644
Obr. 5.5 vlevo	Mikronex s.r.o., příručka Část speciální varianta MIKROPROG F, příklad u funkce G73
Obr. 5.5 vpravo	Mikronex s.r.o., příručka Část speciální varianta MIKROPROG F, příklad u funkce G76
Obr. 5.7	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 143
Obr. 5.7	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 148
Obr. 5.8	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 163
Obr. 5.8	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 167
Obr. 5.9	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 272
Obr. 5.9	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 206
Obr. 5.10	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 152
Obr. 5.11	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 153
Obr. 5.12	Delcam Plc, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PowerMILL_Toolpaths_Image.png
Obr. 5.13	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 187
Obr. 5.13	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 193
Obr. 5.14	Robert Hewitt, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edge_Finder_2.png
Obr. 5.15	Mikronex s.r.o., prospekt Měřící dotykové sondy, s. 2
Obr. 5.16	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 pro popisný dialog, dok. 375 738-Z0, s. 47
Obr. 5.16	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 pro popisný dialog, dok. 375 738-Z0, s. 48
Obr. 5.18	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 76

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obr. 5.18	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 85
Obr. 5.19	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 108
Obr. 5.19	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 111
Obr. 7.2 vlevo	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Checking_Runout_With_Dial_Test_Indicator.jpg
Obr. 7.2 vpravo	Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_Micromar_40A_0–25_mm_Micrometer.jpg
Obr. 7.3 vlevo	AB Technology (Newark) Ltd, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5_Axis_Scanning_Coordinate_Measurement_Machine_(CMM).png
Obr. 7.3 vpravo	Andy Dingley, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talysurf,_Snibston.jpg
Obr. 8.1	CEphoto, Uwe Aranas, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portable-Refractometer-16.jpg
Obr. 8.2	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SwarfSamples.jpg
Obr. 9.1	Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Galerie
Obr. 9.2	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 158
Obr. 9.3 vlevo	Mikronex s.r.o., prospekt MIKROPROG F a S (V4), s. 1
Obr. 9.3 vpravo	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 1
Obr. 9.4 vlevo	© Siemens AG, web siemens.com, stránka SINUMERIK 828D
Obr. 9.5	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 117
Obr. 9.5	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 119

PAMATUJ

Tento manuál shrnuje teorii a nenahrazuje školení ani návod ke stroji. Hodnoty ověř na konkrétním stroji a s UOV.