

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SESTAVENÍ TECHNOLOGIE ROTAČNÍ SOUČÁSTI Z MATERIÁLU INCONEL V PODMÍNKÁCH FIRMY FRENCKEN BRNO

TITLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ SLABÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav : strojírenské technologie Akademický rok : 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Slabý Ondřej

který studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem FSI VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Sestavení technologie rotační součásti z materiálu Inconel v podmínkách firmy Frencken Brno.

V anglickém jazyce:

Technology of rotary Inconel element manufacturing in Frencken Brno.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Představení firmy. Pojednání o používání slitin Inconel (letecký a vojenský průmysl). Konkretizace využití slitin Inconel a Incoloy. Pravidla pro obrábění. Návrh technologie rotační součásti „boss“. Celkové zhodnocení v podmínkách firmy.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování technologie náročnější součásti v podmínkách konkrétní firmy.

Doložení hodnocení pro zavedení do výroby. Seznámení s firmou.

Vedoucí bakalářské práce : Ing. Milan Kalivoda

Datum zadání diplomové práce: 20. 11. 2008

Termín odevzdání diplomové práce: 29. 5. 2009

Doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.

.....
ředitel ústavu

Doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc..

.....
děkan FSI

V Brně dne

ABSTRAKT

Je zpracováván postup výroby rotačního dílu v podmínkách firmy Frencken Brno. V první části je představena firma a její zázemí, popsán funkční princip stroje a detaily jeho programování. Jsou popsány základní vlastnosti obráběného materiálu Inconel. V druhé části je obsažen postup výroby a volba nástrojové sady. V závěru jsou vysvětleny stěžejní části NC programu.

Klíčová slova

Frencken Brno s.r.o., Inconel, postup výroby, rotační díl, NC program

ABSTRACT

Elaborates process of manufacturing rotary element in Frencken Brno. In the first part are introduced the company and its production equipment, described functional principle of machine and programming details. Discussed the basic features of Inconel material. The second part contains manufacturing process and choice of the tool set. Main parts of NC program are described in the end.

Key words

Frencken Brno Ltd., Inconel, manufacturing process, of rotary element, CNC program

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLABÝ, Ondřej. *Název: Sestavení technologie rotační součásti z materiálu Inconel v podmínkách firmy Frencken Brno.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 33 s., 2 přílohy. Vedoucí práce: Ing. Milan Kalivoda

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího mé bakalářské práce pana Ing. Milana Kalivody.

.....
Ondřej Slabý

V Brně dne

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Kalivodovi a zaměstnancům firmy Frencken Brno s.r.o. Ing. Martinu Závodníkovi a dalším za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	1
Abstrakt.....	4
Čestné prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU FRENCKEN BRNO S.R.O.	9
1.1 Základní informace	9
1.2 Zavedení kybernetického řízení výrobního procesu CPC.....	9
1.3 Výrobní stroje v podniku	9
2 DLOUHOTOČNÝ AUTOMAT STAR SV-32.....	12
2.1 Základní informace	12
2.1.1 Charakteristika jednotlivých uzlů	12
2.1.2 Technická data	13
2.1.3. Číslování nástrojů.....	13
2.2 Programování	15
2.3.1 Systém souřadnic.....	15
2.3.2 Funkce posuvu	15
2.3.3 Otáčky vřetene (Funkce S).....	15
2.3.4 Povel M pro směr otáčení	16
2.3.5 Makro	16
2.3.6 Proměnné.....	16
3 MATERIÁL VÝROBKU - INCONEL	18
3.1 Teoretické seznámení s Inconelem	18
3.1.1 Superslitiny.....	18
3.1.2 Hutnictví superslitin	18
3.1.3 Inconel.....	18
3.1.4 Vlastnosti a použití	19
3.2 Obráběcí charakteristiky slitiny Inconel	19
3.2.1 Procesní kapaliny	20
3.2.2 Doporučení pro soustružení	20
3.2.1 Doporučení pro vrtání.....	20
4 TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTKY „BOSS“	21
4.1 3D model součástky	21
4.2 Volba sady nástrojů	22
4.2 Technologický postup.....	26
4.4 NC program	27
4.4.1 Nákres upnutí obrobku v kleštině, znázornění os.....	27
4.4.2 Vysvětlující poznámky ke stěžejním částem NC programu.....	27
Závěr.....	30
Seznam použitých zdrojů	31
Seznam použitých zkratk a symbolů	32
Seznam příloh.....	33

ÚVOD

V dnešní době jsou kladeny stále větší nároky na strojírenské výrobky a především na materiály. Některé díly musí být schopny odolávat extrémně vysokým teplotám, při kterých dochází k nežádoucím změnám a ztrátám mechanických vlastností. Materiály typu Inconel jsou speciálně vyvinuty pro zajištění téměř neměnných kvalitativních vlastností při dosažení extrémních teplot. Tyto kvalitní materiály však kladou velké nároky na obrábění. Vyžadují intenzivní chlazení, vysoce pevné, vhodně zvolené nástroje a především promyšlenou technologii výroby se snahou o minimalizaci řezných operací. Zároveň je nutno uvažovat prostředí firmy Frencken Brno. Vybrat vhodný stroj, který zajistí přesné obrobení a splní nároky na obrábění Inconelu. V druhé části práce se navrhuje technologický postup výroby na vybraném stroji. K jednotlivým procesním krokům je třeba vhodně zvolit sadu nástrojů. Při této volbě je nutná snaha maximalizovat použití držáků a těl nožů, které jsou ve firmě k dispozici, a tím zajistit co nejvyšší efektivitu a úsporu finančních prostředků. Dle technologického postupu výroby se sestaví NC program, který je nejdříve simulován na PC, poté otestován přímo na výrobním stroji a jeho nevyhovující části jsou upraveny. Po těchto etapách lze zahájit samotnou výrobu.

1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU FRENCKEN BRNO S.R.O.

1.1 Základní informace

Firma Frencken Brno s.r.o. působí na českém trhu již od roku 1994. Hlavní náplň její činnosti je kusová a malosériová výroba mechanických dílů a sestav. Tato přesná strojírenská výroba probíhá převážně obráběcími metodami podle technické dokumentace dodané zákazníky. Široké spektrum zakázkové výroby zahrnuje oblasti leteckého a kosmického průmyslu, výroby speciálních strojů, vakuové techniky, radarových a navigačních zařízení, optických i lékařských přístrojů. Většina těchto produktů směřuje do zemí Evropské unie a USA. Významným odběratelem výrobků je německá firma Airbus – výrobce letadel.

V současné době byla dokončena stavba nové výrobní haly a skladových prostor. Z původní celkové plochy 1000 m² se nyní stal komplex o 2000 m² čistě výrobní plochy s odpovídajícími skladovými prostory a nově o bezprašnou místnost určenou k čistým montážím sestav z programu Space (oblast kosmického průmyslu).

1.2 Zavedení kybernetického řízení výrobního procesu CPC

Jako první v Evropě se management firmy rozhodl nasadit systém kybernetického řízení výrobního procesu. Nahradil původní systém Exact Globe, který sloužil spíše k evidenci a poskytoval pouze off-line informace. Při větším vytížení a vysokém počtu aktivních operací nebylo možné určit, zda bude možno přijmout zakázku s krátkou dodací lhůtou. Řešení nabízelo nasazení CNC obráběcích strojů Mazak s využitím systému CPC (Cyber Production Center, dále jen CPC) a jeho implementace do všech funkcí podniku. Jeho aplikace propojující všechna výrobní a manažerská pracoviště do počítačové sítě umožňuje pružné on-line plánování, řízení nástrojového hospodářství, monitoring aktuálního stavu strojů ve výrobní hale a v neposlední řadě statistické vyhodnocení jejich využití. Přínos systému CPC je výhodný pro všechny zaměstnance firmy. Managementu poskytuje mnoho informací o zakázkách, volných kapacitách a plnění plánu. Výrobním dělníkům ve firmě zobrazuje jejich denní plán, umístění nástrojů, polotovarů a konkrétní polohu obrobku v prostorách výrobní haly.

1.3 Výrobní stroje v podniku

Ve firmě se nacházejí obráběcí stroje, které lze rozdělit do dvou kategorií – CNC a konvenční. Jejich uspořádání je technologické, protože výrobní stroje jsou rozmístěny ve výrobní hale podle jejich technologické příbuznosti. V tabulkách 1.1 a 1.2 jsou uvedeny seznamy strojů a zařízení.

Zvýrazněný stroj v tabulce 1.1 (dlouhotočný automat SV 32) je navržen pro obrábění zadané součásti.

Tab.1.1 CNC obráběcí stroje

Označení	Výrobce	Druh stroje	Řídící systém	Počet
H 400N	Mazak	Horizontální centrum	Mazatrol M-Plus	1
FH 580/40	Mazak	Horizontální centrum	Mazatrol M-Plus	1
Integrex 100Y	Mazak	Soustružnické centrum	Mazatrol Fusion 640 MT	1
Integrex 200Y	Mazak	Soustružnické centrum	Mazatrol Fusion 640MT	1
SQT 10 M	Mazak	Soustružnické centrum	Mazatrol T-Plus	1
SQT 200 MY	Mazak	Soustružnické centrum	Mazatrol T-Plus	1
Nexus 100M	Mazak	Soustružnické centrum	Mazatrol Fusion 640T	1
Alpha 330S	Harrison	Mechatronický NC soustruh	GE Fanuc 21iT	1
SV 32	Star	Dlouhotočný automat	Fanuc 6T-B	1
MCFV 100	ZPS	Vertikální centrum	Heidenhein 407	2
MCFV 1060	ZPS	Vertikální centrum	Heidenhain iTNC 530	1
FJV 20	Mazak	Vertikální centrum	Mazatrol M-Plus	1
Variaxis 630	Mazak	Vertikální 5 os centrum	Mazatrol	2
Picomax P90	Fehlmann	Vertikální 5 os centrum	Heidenhain iTNC 530	1
Picomax P95	Fehlmann	Vertikální 5 os centrum	Heidenhain iTNC 530	1

Tab.1.2 Konvenční obráběcí stroje

Označení	Výrobce	Druh stroje	Počet
S 32	INTOS	Univerzální hrotový soustruh	1
SV 18 R-A	TOS	Univerzální hrotový soustruh	2
FNGJ 20	INTOS	Konzolová frézka	2
FNGJ 32	INTOS	Konzolová frézka	4
BU 25 H	TOS	Univerzální hrotová bruska	1
BPH 320 A	TOS	Bruska na plocho	1
MBB 1660	Sunnen	Honovací stroj	1
VO 32	MAS	Radiální vrtačka	1

VR4/20B	PKD	Stolní vrtačky	4
VS 32 B	PKD	Sloupová vrtačka	1
ZMV 16	MAS	Závitořez	1
ZV 22	MAS	Závitořez	1
NTC 2000/2,5	ESPE	Hydraulické nůžky na plech	1
VBZ 400	Forte	Pásová pila	1

2 DLOUHOTOČNÝ AUTOMAT STAR SV-32

2.1 Základní informace

Jedná se o CNC automat na podélné soustružení s pohyblivým vřeteníkem, který je řízen CNC systémem FANUC 16i- TA. Sestává z několika hlavních součástí jako revolver (3 osy – E,B,Y), vřeteník (podélná osa – Z1), hlavní vřeteno (rotační pohyb – C1), vodící pouzdro, úchytné vřeteno (podélná osa – Z2, rotační osa C2) a lineární suport (2 osy – X, A). Celkový počet možných os pohybů při obrábění je 9.

2.1.1 Charakteristika jednotlivých uzlů

Vřeteník – je osazen jedním hlavním vřetenem se sklíčidlem k upnutí tyčového materiálu a k jeho otáčení. Dále obsahuje posuvný suport pro pohyb ve směru osy Z1.

Lineární suport – se pohybuje v ose X (průměr) a v ose A (volba nástroje). Při obrábění hlavní strany vykonává posuv ve směru průměru materiálu. V minimální vzdálenosti za ústím vodícího pouzdra se materiál dostává do kontaktu s nástrojem a obrábění probíhá za součinnosti vřeteníku. Nachází se zde držák nástroje a hnané nástroje, kam je možno upevnit závitové vrtáky či frézy.

Revolver – je osazen 10 nástrojovými stanicemi a může se točit a indexovat. Kvůli možnosti pojíždění řízené CNC ve směru os Y (průměr), B (vertikálně) a E (podélně) je vybaven kluzným zařízením. Na obráběný materiál najíždí zpravidla v osách Y a B. Osou E může být zvolen bod obrábění v podélném směru.

Vodící pouzdro – podpírá materiál v bezprostřední blízkosti bodu obrábění a tím zabraňuje prohýbání způsobené tlakem nástroje zejména u dlouhých tyčových polotovarů. Protože je největší část řezné síly působící ve směru průměru zachycena vodícím pouzdem, závisí přesnost obrábění na vůli mezi vodícím pouzdem a materiálem. Z tohoto důvodu by se měl používat materiál s velmi přesným vnějším průměrem. Vodící pouzdro rotuje synchronně s hlavním vřetenem.

Úchytné vřeteno – je zařízení na obrábění zadní strany a slouží k upnutí materiálu během obrábění na čisto nebo hlavního obrábění. Je také vybaveno kluzným zařízením k zajištění CNC řízeném pojezdu ve směru osy Z2.

Hlavní úkoly úchytného vřetena při obrábění:

- Obrábění bez výstupku po upíchnutí – materiál je upnut do úchytného vřetena a upichování je prováděno synchronním otáčením s hlavním vřetenem. Tím je zajištěna plocha po upíchnutí bez výstupků.

- Synchronní řízení Z1 a Z2 – úchytné vřetenem upne materiál současně s hlavním vřetenem během hlavního obrábění, pracuje synchronně ve směru os Z2 a Z2 nebo se synchronně otáčí s hlavním vřetenem. Tím brání ohýbání a loupání materiálu a umožňuje přesné soustružení.

Zařízení na obrábění zadní strany – kluzné zařízení umožňující pojezd ve směru podélné osy Z2 při materiálu upnutém do úchytného vřetenem během hlavního obrábění. Díky tomuto zařízení lze:

- Obrábět bez výstupků po upíchnutí – úchytné vřetenem provádí upichování synchronním otáčením s hlavním vřetenem.
- Synchronní řízení os Z1 a Z2 – úchytné vřetenem upne materiál současně s hlavním vřetenem během obrábění, pracuje synchronně ve směrech os Z1 a Z2. Brání ohýbání a loupání materiálu a umožňuje vysoce přesné soustružení

2.1.2 Technická data

Tab. 2.1 Obráběcí výkony

Pozice		Technické údaje	
Maximální průměr otáčení			Ø32 mm
Maximální zdvih vřeteníku			310 mm
Maximální výkon vrtání	Pevný nástroj	Revolver	Ø29 mm
	Poháněný nástroj	Lineární suport	Ø8 mm
		Revolver	Ø10 mm
Maximální výkon vrtání závitů	Pevný nástroj	Revolver	M12 x P1,75
	Poháněný nástroj	Lineární suport	M6 x P1,0
		Revolver	M8 x P1,25
Maximální výkon frézování		Lineární suport	Ø10 mm
Maximální výkon řezání závitů		Revolver	M8 x P1,75
Maximální výkon drážkování		Revolver	2,0 mm x 10,0 mm

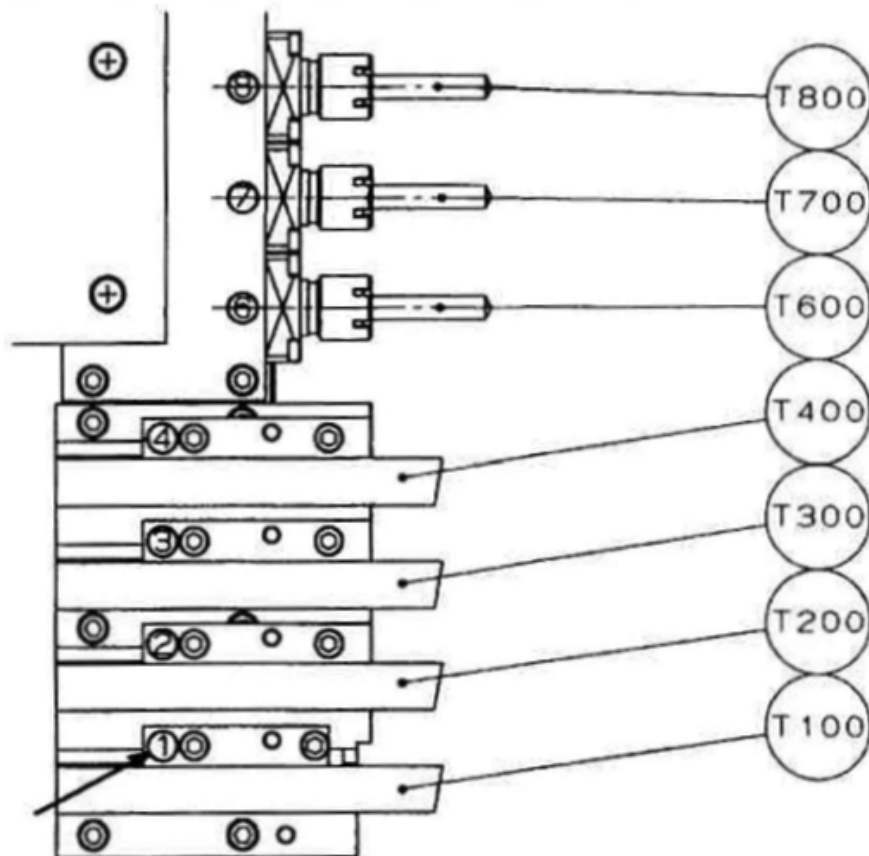
Tab. 2.2 Rozměry a hmotnost

Rozměry	Délka	2645 mm
	Šířka	1405 mm
	Výška	1680 mm
Hmotnost		3800 kg

2.1.3. Číslování nástrojů

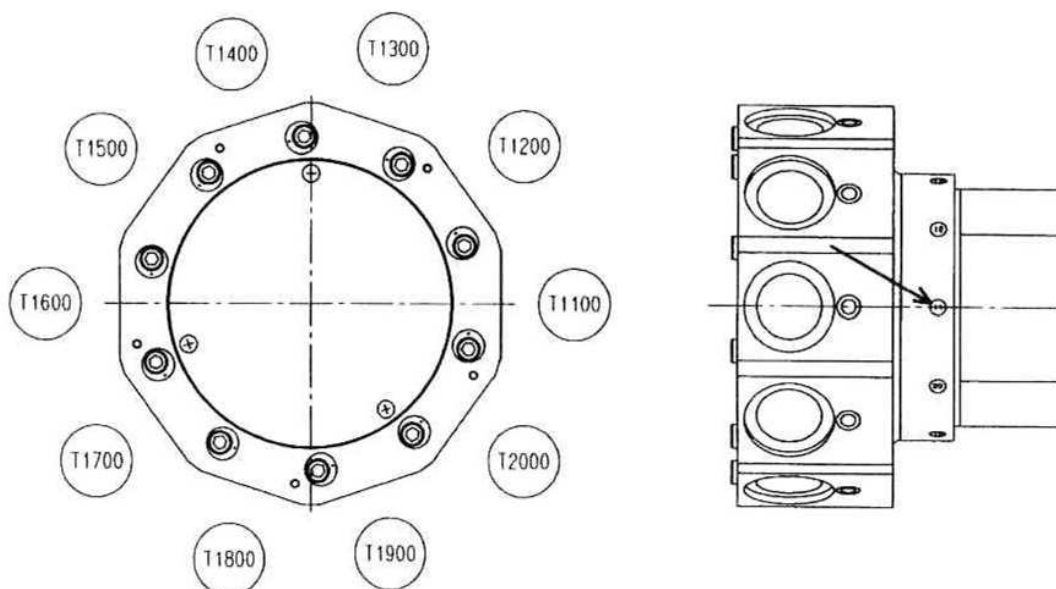
Zobrazení každé pozice nástroje jeho číslem podle příkazu volby nástroje.

- Lineární suport – pozice je vyjádřena třímístným číslem T. Číslo nástroje je vyznačeno v následujícím výkresu šipkou.



Obr. 2.1 Schéma lineárního suportu

- Revolver – pozice je vyjádřena čtyřmístným číslem T. číslo nástroje je vyznačeno v následujícím výkresu šipkou.



Obr. 2.2 Schéma revolverové hlavy

2.2 Programování

Tento automatický soustruh s CNC řízením přesně realizuje program, který zadán a uložen do paměti stroje. Zápis povelů k řízení čísla nástroje, dráhy nástroje a dalších podmínek zpracování při obrábění dílů provedený v souladu se stanovenými pravidly se označuje jako programování.

2.3.1 Systém souřadnic

Příslušný nulový bod (X0, Y0, A0, B0) os X, Y, A a B leží ve středu obrobku. Nulový bod (Z0) osy Z1 leží na konci obrobku po procesu upichování. Nulový bod (Z0) osy E a Z2 je referenčním bodem. Referenční bod je pevným bodem na stroji. Představuje polohu, do které se najíždí v určitém režimu provozu nebo na základě povelu návrat do polohy referenčního bodu.

Načtení nulového bodu souřadného systému – zadávají-li se číselné hodnoty společně s „0“, lze následující „0“ vynechat.

Příklad:

G01 → G1

T0200 → T200

F0.020 → F0.02

X10.05 → X10.05 (nelze vynechat „0“)

2.3.2 Funkce posuvu

- Rychlost rychlopojezdu – povel G00 v programu je definována rychlost pro každou osu nezávisle na ostatních.

Osy X, Y, A, B	15000 mm·min ⁻¹
Osy Z1, Z2, E	18000 mm·min ⁻¹
Osa C1	9000 °·min ⁻¹
- Rychlost rotačního posuvu – adresa F udává rychlost posuvu pro každou osu. Posuv se skládá z hodnoty posuvu za otáčku a z hodnoty posuvu za minutu, obě hodnoty jsou definovány povel G.

2.3.3 Otáčky vřetene (Funkce S)

Pomocí adresy S je možno přímo zadávat počet otáček

Hlavní vřeteno	500 – 7000 min ⁻¹
Upínací vřeteno	500 – 7000 min ⁻¹
Nástroj s pohonem v ose X	max. 6000 min ⁻¹
Nástroj s pohonem v ose Y	max. 5700 min ⁻¹

2.3.4 Povel M pro směr otáčení

Otáčení vřetene za chodu směrem vpravo a vlevo i zastavení každého z vřeten je definováno pomocí povelů M.

Tab 2.3 Přehled povelů M pro směr otáčení vřeten

	Hlavní strana HEAD 1			Zadní strana HEAD 2	
	Hlavní vřeteno	Nástroj s pohonem v ose X	Nástroj s pohonem v ose Y	Upínací vřeteno	Nástroj s pohonem v ose Y
Směr chodu vpravo	M03	M36	M46	M03	M46
Směr chodu vlevo	M04	M37	M47	M04	M47
Zastavení	M05	M38	M48	M05	M48

2.3.5 Makro

Pro uložení určité skupiny povelů v paměti programů obrobků se vytvoří speciální program. Povel G65 nebo G66 vyvolávají tuto skupinu programů a realizují ji. Tyto speciální programy se nazývají programy s makrem, dále jen makro. Vytvářejí a zaznamenávají se stejným způsobem jako podprogramy, ale liší se v následujících bodech:

- Mohou v nich být použity proměnné.
- Operace mohou být prováděny s proměnnými a konstantami.
- Jsou možné řídicí povelů (např. podmíněné skoky).

2.3.6 Proměnné

- Lokální proměnné (#1 - #33)
Používá se lokálně v každém jednotlivém makru. To znamená, že rozsah proměnných zůstává zachován nezávisle a samostatně pro každé jednotlivé volání a přiřazením argumentu nebo jako výsledek početní operace mohou proměnné v rámci makra uložit v paměti určitou definovanou hodnotu. Proto mohou mít v rámci stejného makra při různých voláních odlišné hodnoty. Při každém vyvolání makra jsou uvedeny na výchozí hodnotu a zadány na základě přiřazení argumentu. Po uvedení stroje do výchozího stavu ztratí všechny lokální proměnné svoji hodnotu.
- Společné proměnné (#100 - #149, #500 - #531)
Oplývají možností společného využití u všech maker a na všech úrovních vnoření. To znamená, že všechna makra mohou mít přístup na výsledky operací v rámci jednoho určitého makra. Společné proměnné se dále člení na dva typy, jejichž jasně jednoznačné podmínky se navzájem liší.
 - #100 - #149: Při zapnutí stroje jsou společné proměnné prázdné.
 - #500 - #531: I při zapnutí a vypnutí napájení stroje nedojde k vymazání společných proměnných.
- Systémové proměnné

Jejich použití je určeno systémem. Dělí se na vstupní a výstupní signál rozhraní a hodnoty korekce, souřadnic a opotřebení nástroje.

3 MATERIÁL VÝROBKU - INCONEL

3.1 Teoretické seznámení s Inconelem

3.1.1 Superslitiny

Superslitiny jsou kategorií slitin s požadovaným vysokým výkonem z hlediska mechanické odolnosti, stálosti za vysokých teplot a jsou odolné proti oxidačním a korozním poruchám. Nejčastěji krystalizují v plošně centrované krystalické mřížce. Základními prvky superslitin jsou nikl a kobalt. Byly vyvinuty přednostně pro vesmírný a strojírenský průmysl. Výrobky ze superslitin jsou hojně využívány v kosmonautice, v leteckém průmyslu jako lopatky turbín proudových motorů (viz obrázek 3.1) nebo v elektrárnách v plynových či jiných turbínách.



Obr. 3.1 Lopatka turbíny proudového motoru ze slitiny Inconel (www.wikipedia.org)

3.1.2 Hutnictví superslitin

Historický vývoj výroby superslitin přinesl zvýšení jejich provozních teplot. První generace superslitin vyráběné před rokem 1940 pouze válcováním za studena byly schopny odolat teplotám do 700 °C. Vývoj vakuového tavení po roce 1950 dovolil vysokou kontrolu jemného chemického složení a snížení kontaminace. V současné době jsou superslitiny 4. generace legované Rutheniem schopny plnit funkci za teplot až 1100 °C. Mechanické vlastnosti slitin závisí na přítomnosti hranic zrn, které se při zvýšené teplotě velkou měrou podílejí na lomu materiálu. Tento problém řeší monokrystalické superslitiny (Single-Crystal superalloys), které neobsahují žádné hranice zrn v materiálu. Výzkumné laboratoře zkoumají a studují novou metodu výroby zvanou radiolýza. Ta spočívá v syntéze nanočástic do specifických formací.

3.1.3 Inconel

Inconel je registrovaná obchodní značka americké společnosti Special Metals Corporation. Patří do skupiny austeniticko nikl-chromových superslitin.

Typické využití Inconelu je pro výrobu prvků odolávajících vysokým teplotám. Do skupiny Inconelů patří 3 základní prvky označené jako Inconel 600, Inconel 625 a Inconel 718. Jejich odlišnosti v chemickém složení jsou patrné v tabulce 3.1. Z důvodu většího počtu legujících prvků je tabulka pro názornost rozdělena na dvě části. Obrobek bude vyhotoven z Inconelu 718.

Tab. 3.1 Tabulka složení slitin skupiny Inconel (<http://en.wikipedia.org/wiki/Inconel>)

Inconel	Procentuální zastoupení prvku (%)						
	Ni	Cr	Fe	Mo	Nb	Co	Mn
600	72	14-17	6-10	-	-	-	1
625	58	20-23	5	8-10	3,15-4,15	1	0,5
718	50-55	17-21	-	2,8-3,3	4,75-5,5	1	0,35

Inconel	Procentuální zastoupení prvku (%)							
	Cu	Al	Ti	Si	C	S	P	B
600	0,5	-	-	0,5	0,15	0,015	-	-
625	-	0,4	0,4	0,5	0,1	0,015	0,015	-
718	0,2-0,8	0,65-1,15	0,3	0,35	0,08	0,015	0,015	0,006

3.1.4 Vlastnosti a použití

Inconelové slitiny jsou korozivzdorné materiály vhodné pro použití v extrémních podmínkách. Při ohřátí na vysokou teplotu se na povrchu vytvoří stabilní tlustá oxidační vrstva, která chrání povrch slitiny před nepříznivými vlivy. Z tohoto důvodu Inconel odolává širokému spektru teplot. Při vysokých teplotách, kdy hliník a ocel ztrácejí pevnost a nejsou schopné plnit funkci, Inconel dosahuje neměnných vlastností, díky malému množství niobu, který společně s niklem (Ni) tvoří intermetalickou sloučeninu Ni_3Nb v podobě malých kubických krystalů zabraňujících deformaci při zvýšených teplotách.

3.2 Obráběcí charakteristiky slitiny Inconel

Inconelové slitiny jsou velmi obtížně obrobitelné konvenčními metodami kvůli svým vynikajícím mechanickým vlastnostem. Po prvním kontaktu nástroje s materiálem dochází k mechanickému zpevnění Inconelu, které vede pouze k plastické deformaci. Proto se pro obrábění Inconelu, u kterého došlo ke stárnutí slitiny, používá metoda pomalého a silového řezu tvrdým nástrojem. Důvodem je především minimalizace počtu obráběcích kroků.

Pro řezání materiálu je doporučováno řez provádět pomocí vodního paprsku. K dalšímu obrábění se často používají vyztužené keramické nože nebo břitové destičky.

3.2.1 Procesní kapaliny

Ve většině aplikací se osvědčilo použití běžných minerálních olejů s přídavkem síry. Sírné sloučeniny zlepšují mazací schopnosti a zabraňují tepelnému svařování nástroje s obrobkem. Při ohřátí oleje a nástroje na určitou teplotu vznikají hnědé sírné skvrny, které lze jednoduše odstranit běžnými čistícími prostředky. Očištění však musí předcházet všem následujícím tepelným zpracováním, především svařování, neboť při delším vystavení sírou znečištěného vzorku zvýšené teplotě, dochází k pronikání síry mezi zrna materiálu a k mezikrystalické korozi. Použití olejů s přídavkem síry není doporučováno při obrábění nástroji s karbidovými řeznými destičkami, protože síra přispívá velkou měrou ke křehnutí karbidů.

Procesní kapaliny na vodní bázi jsou doporučovány pro rychlořezné obrábění z důvodu jejich lepších ochlazovacích vlastností.

Pro menší řezné rychlosti (vrtání, řezání závitů) je nutné použití chemických směsných kapalin s vysokou lubrikační schopností. Tyto málo viskózní kapaliny mohou být použity samostatně nebo je lze naředit minerálními oleji.

3.2.2 Doporučení pro soustružení

Jednobřité soustružnické nástroje musí mít pozitivní geometrii, aby byl materiál odřezáván a ne odhrnován, což by nastalo při použití nástroje s negativní geometrií. Sekundární funkce pozitivní geometrie je odvádění třísek z obrobeného povrchu. Stranový řezný úhel musí být dostatečně velký, aby zajistil potřebnou drsnost povrchu, ale ne příliš velký, aby zajistil adekvátní podporu řezné hraně. Doporučené velikosti jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Niklové slitiny nemají při vhodné volbě nástrojů problémy s tvorbou vyhovující třísky. Pouze při použití nástrojů z rychlořezných ocelí je doporučeno použití lamače třísky.

Tab. 3.2 Doporučená geometrie nástroje

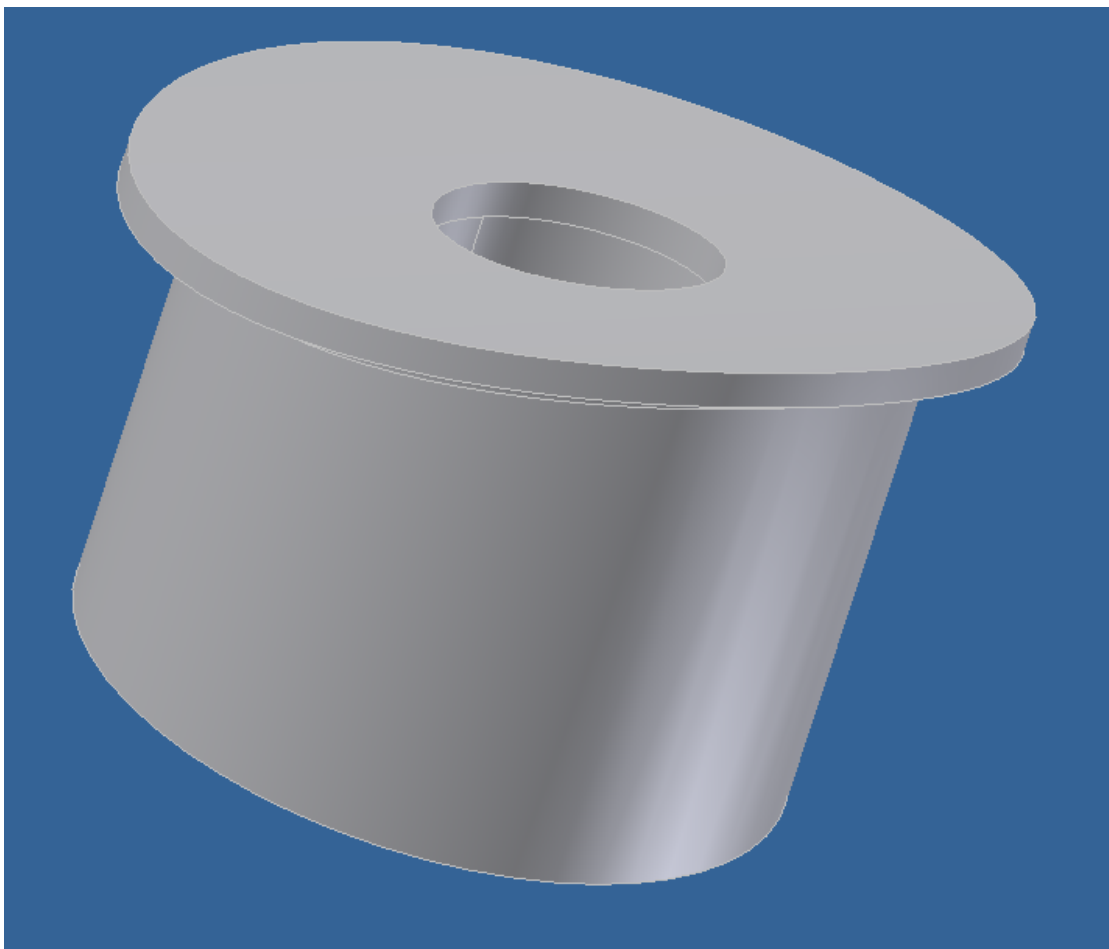
Úhel	Hrubování	Dokončování
Úhel hřbetu (α)	0°	8°
Úhel čela (γ)	6°	8°
Sklon ostří (λ)	6°	8°
Úhel ostří (λ_r)	do 45°	do 45°

3.2.1 Doporučení pro vrtání

Při vrtacích operacích je doporučeno nastavovat konstantní rychlost posuvu. Při tvorbě neprůchozích děr se je třeba vyvarovat zastavení vrtáku na dně. Může dojít k nadměrnému nahromadění materiálu na dně a k jeho zpevnění, což často způsobí zalomení vrtáku. Je vhodné zvýšit vrcholový úhel vrtáku na 135°.

4 TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTKY „BOSS“

4.1 3D model součástky

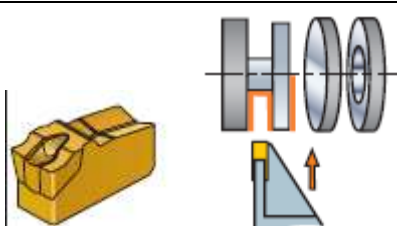



Obr. 4.1 3D model součástky

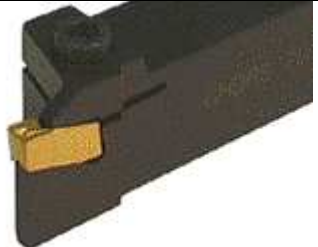

4.2 Volba sady nástrojů

Zvolená sada nástrojů je pro přehlednost uvedena v tabulkách. U některých nástrojů je vyžadována minimální hodnota délky těla, která je znázorněna ve vystavení.

Tab. 4.1 Nástroje T100 a T200

Nástroj č.	T100	T200
Vysunutí od osy X	Vysunutí 30mm $x = 0,12$ $z = -0,07$	Vysunutí 25mm $x = -0,04$ $z = 20,60$
Typ nástroje	Upichovací nůž š=3, pravý	Kopírovací nůž R=0,2, levý
Držák	R 151.20 – 1616 – 30	SVJNL 1616 H12
Destička	N 151.2 – 300 – 5E	WNMG 12 T302 – NF
Sorta	SF 325	IC 9025
Výrobce	Sandvik	Iscar
Ilustrace		

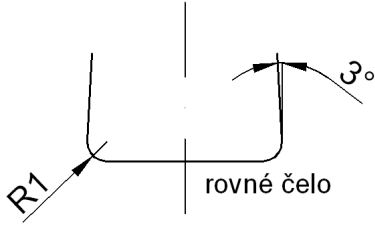
Tab. 4.2 Nástroje T300 a T400

Nástroj č.	T300	T400
Vysunutí od osy X	Vysunutí 25mm $x = -0,01$ $z = 0,11$	Vysunutí 25mm $x = -0,08$ $z = -0,20$
Typ nástroje	Zapichovací nůž š=4, pravý	Ubírací nůž R0,4
Držák	GHDR 164 ST	DWLNR 1616H – 06S
Destička	GIP4 – 00 E0,4	WNMG 06T304 NF
Sorta	IC 908	IC 325
Výrobce	Iscar	Iscar
Ilustrace		

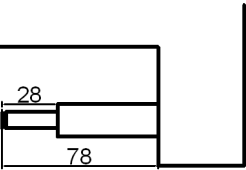
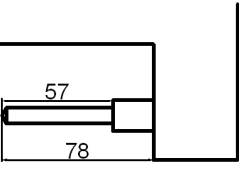


Tab. 4.3 Nástroje T1131 a T1132

Nástroj č.	T1131	T1132
Vysunutí od osy X	Vysunutí 25mm $y = 0,57$ $z = 9,85$	Vysunutí 25mm $y = 0,59$ $z = 8,00$
Typ nástroje	Ubírací nůž R0,2	Kopírovací nůž přímý R0,8
Držák	DWLNH 1616H – 06S	SDCN 1616 H11
Destička	WNMG 06T302 NF	DCMT 11 T308 EN SF
Sorta	IC 625	GM 540
Výrobce	Iscar	Tizit
Ilustrace		

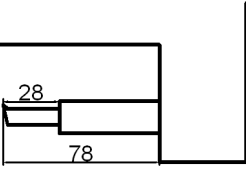
Tab. 4.4 Nástroje T1200 a T1300


Nástroj č.	T1200	T1300
Vysunutí od osy X	Vysunutí 85mm $x = 30$ $z = 30$	Vysunutí 80mm $y = 20$ $z = 35,26$
Typ nástroje	Fréza Kestag $\varnothing 10$, povlak	Stopková fréza $\varnothing 10$ TK, povlak
Držák	201 – 50 – 00	201 – 50 – 00
Destička	10x22HR SP56 – HSS – E – PM	
Sorta	11 367 08 44P	
Výrobce	Alpen	
Náčrt		
Poznámka	Hrubuje velký průměr	Řádkuje tvar hlavy

Tab. 4.5 Nástroje T1751 a T1752

Nástroj č.	T1751	T1752
Vystavení		
Typ nástroje	Středící vrták $\varnothing 8 \times 90^\circ$	Vrták $\varnothing 9,3$ TK
Držák	Troj-držák 431 – 12 – 00	Troj-držák 431 – 12 – 00
Destička		A3365 TFT – 9,3
Sorta	HSS	Alpha 2
Výrobce	Kestag	Titex
Ilustrace		
Poznámka		

Tab. 4.6 Nástroje T1753 a T1800

Nástroj č.	T1753	T1800
Vystavení		
Vysunutí od osy X		Vysunutí 85mm y = 30 z = 30,25
Typ nástroje	Nůž do otvoru $\varnothing 8$	Stopková fréza $\varnothing 10$, šesti-břítá, povlak
Držák	S08H – SCLCR 06	201 – 50 – 00
Destička	CC6T 060201FN – F23	05545 – 10 10 -22 45-32,5 WNR – NH
Sorta	CTP 2120	K/P 110 40885
Výrobce	Tizit	Gühring

Ilustrace		
Poznámka		Dokončuje velký průměr, odlehčená do délky 35 mm

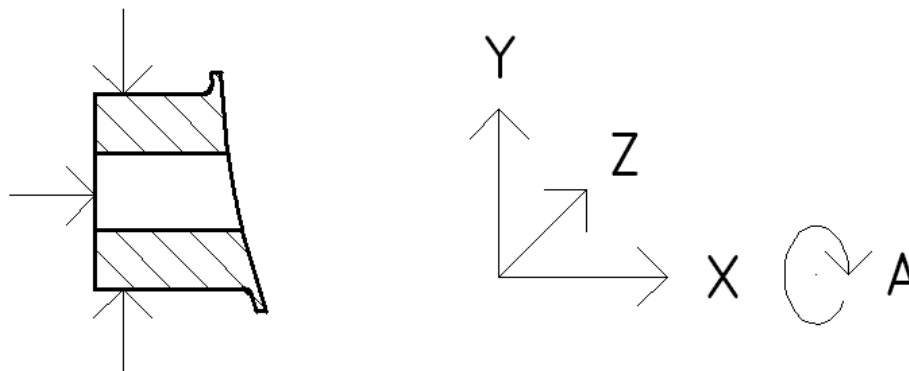
4.2 Technologický postup

Tab. 4.7 Technologický postup

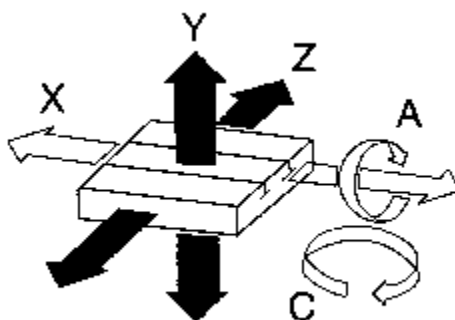
Číslo operace	Název stroje Třídící číslo	Popis práce	Výrobní pomůcky
10	Dlouhotočný automat Star SV 32 34 431	Navrtat díru $\varnothing 8$	Středící vrták $\varnothing 8 \times 90^\circ$; Trojdržák 431-12-00
20		Vyvrtať díru $\varnothing 9,3$	Vrták $\varnothing 9,3$; VBD: A3365 TFT-9,3; Trojdržák 431-12-00
30		Dokončit díru $\varnothing 9,5$	Nůž do otvoru $\varnothing 8$; VBD: CC6T 060201FN-F23; Držák: S08H-SCLCR06
40		Hrubovat válcovou plochu	Ubírací nůž R0,4; VBD: WNMG 06T304 NF; Držák: DWLNR 1616H-065
50		Dokončit válcové plochy	Ubírací nůž R0,2; VBD: WNMG 06T302-NF; Držák: DWLNR 1616H-065
60		Zapíchnout v délce 25, šířka 4 hrubování průměru za límcem	Zapichovací nůž š.4, pravý; VBD: GIP4-00 E0,4; Držák: GHDR 164ST
70		Hrubovat válcovou plochu $\varnothing 24$ od zápichu dále	Kopírovací nůž přímý, R0,8; VBD: DCMT 11T308 EN SF; Držák: SDCN 1616 H11
80		Dokončit válcovou plochu $\varnothing 23,77$	Kopírovací nůž levý, R0,2; VBD: WNMG 12T302 NF; Držák: SVJNL 1616 H12
90		Hrubovat radiusy hlavy	Povlakovaná fréza $\varnothing 10$; VBD: 10x22HR SP56-HSS-E-PM; Držák: 201-50-00
100		Dokončit radiusy hlavy R92,91; R38,05	Fréza stopková $\varnothing 10$, šestibřítá, povlakovaná; VBD: 05545-10 10-22 45-31,5 WNR-NH; Držák: 201-50-00
110		Řádkovat tvar hlavy	Fréza stopková $\varnothing 10$, povlakovaná; Držák: 201-50-00
120		Upíchnout v délce 30	Upichovací nůž š.3, pravý; VBD: N151.2-300-5E; Držák: R151.20-1616-30

4.4 NC program

4.4.1 Nákres upnutí obrobku v kleštině, znázornění os



Obr. 4.2 Upnutí obrobku v kleštině a použité obráběcí osy



Obr. 4.3 Nákres všech obráběcích os stroje

4.4.2 Vysvětlující poznámky ke stěžejním částem NC programu

```
:6220(ZAKLADNA)
#531=31.8(PRUM.MAT.)
#530=24.629(DELKA KUSU)
#529=400(OT.PRO T100)
#528=1.5(-X PRO T100)
#511=35.(REZERVA)
#512=3.(TL. VBD PRO T100)
#514=0.(TL. VBD PRO T300)
#2601=[-310.0+#530+#511]
#510=[#531+1.0](PRUM. MAT. + 1MM)
```

Na počátku programu se definují základní rozměry – průměr materiálu a délka obrobku, hodnota otáček pro upichovací nůž a jeho rezerva v záporném směru osy X, tloušťky použitých břitových destiček pro upichovací a zapichovací nůž a některé další. Tyto hodnoty jsou přiřazeny do proměnných veličin označených křížkem a číslem. Při nutnosti změny některých z těchto údajů není nutné vyhledávat a měnit v celém programu, ale jenom na počátku.

V následující části se definuje posuv na otáčku, směr otáčení a volba revolverové hlavy. Následuje otevření upínací kleštiny, posun obráběné části polotovaru a její uzavření. Je provedena volba prvního nástroje a zapnutí motor chladicího média.

Pomocí středícího vrtáku a vrtáku je podle souřadnic vyhrubována díra $\varnothing 9,3$. Pro dokončení je použit nůž do otvoru, který vysoustruží konečný průměr díry dle výkresové dokumentace.

T400(UBERACI NUZ R0.4)	Volí se uběrací nůž umístěný v lineárních saních
M3S600	Směr chodu vpravo nástroje v ose X, otáčky vřetene $600\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$
G0X#510Z-1.T4	Polohování rychlopojezdem na souřadnice, X=volání hodnoty, korekce
G1X29.7F0.5	Přejezd do X=29,7mm, rychlost posuvu $0,5\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$
Z10.F0.15	Hrubování do Z=10mm, rychlost posuvu $0,15\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$
X31.8K0.7	Výjezd z řezu do X=31,8mm, sražení hrany 0.7
W0.9	Inkrementální zadání souřadnice
G28U0.	Návrat do polohy referenčního bodu v ose X

Obdobně je provedeno hrubování uběracím nožem s menším rádiusem břitu.

T300(ZAPICH.S.4)	Volí se zapichovací nůž šířky 4 mm uložený v lineárních saních
G0X#510Z11.5S40T3	Polohování rychlopojezdem na souřadnice, X=volání hodnoty proměnné #510 a Z=11,5mm, otáčky vřetene $40\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$
G1X24.F0.04	Řezný posuv na X=24, rychlost posuvu $400\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
X30.F0.8	Řezný posuv na X=30, rychlost posuvu $8000\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
Z9.F0.2	Řezný posuv na Z=9, rychlost posuvu $2000\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
Z10.6	Řezný posuv na Z=10,6
X25.4F0.04	Řezný posuv na X=24, rychlost posuvu $400\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
G3X24.Z11.3R0.7F0.03	Interpolace kruhového oblouku souřadnice středu X=24, Z=11,3, rádius = 0,7, rychlost posuvu $300\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
G1X#510F0.8	Řezný posuv do souřadnic X=volání proměnné #510, rychlost posuvu $8000\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
G28U0.	Návrat do polohy referenčního bodu, čas prodlevy je 0 sekund

Dále se provede obrobení válcové plochy, nejdříve se hrubuje přímým kopírovacím nožem a poté se dokončí levým kopírovacím nožem včetně vytvoření rádiusu.

<p>T1200(KESTAG PR.10) M46S500</p> <p>M8 G98G0C90.Y#510Z- 1.44B21.6T12 G1Y10.Z-1.54F3000M6</p>	<p>Volí se hrubovací fréza Kestag \varnothing 10 Směr chodu vpravo nástroje v ose Y, otáčky vřetene $500 \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ Zapnutí chodu osy C na HEAD 1 Indexování úhlu natočení upínacího vřetene, volání proměnné #510 pro Y souřadnici Zrychlený nájezd do souřadnic Y=10, Z=-1,54</p>
--	---

Následuje obrábění dle zadaných souřadnic rádiusu hlavy. Po dokončení hrubování je vyměněna fréza Kestag za šestibřitou stopkovou frézu stejného průměru (\varnothing 10) a s její pomocí je rádius hlavy dokončován.

Po úspěšně provedené kontrole povrchu obrobené hlavy je použita stopková fréza s rovným čelem na řádkování tvaru hlavy. Po dokončení řádkování je opět provedena kontrola.

<p>T100(UPICH) G96S30</p> <p>G50S800</p> <p>G0X#510Z27.7T1</p> <p>G1X23.F0.02 X25.F0.3 Z26.7 X23.Z27.7F0.02 X9.5 X10.F0.2 M0(ULOMENI KUSU)</p>	<p>Volí se pravý upichovací nůž 3 mm Ovládání konstantní řezné rychlosti, otáčky vřetene $30 \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ Nastavení maximálního počtu otáček vřetene na $800 \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ Polohování rychlopojezdem na souřadnice, X=volání hodnoty proměnné #510 a Z=27,7 mm Řezný posuv na X=23, rychlost posuvu $200 \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ Další zadání souřadnic a hodnot rychlostí posuvů</p> <p>Hotový kus je rukou ulomen a jeho větší rádius je začištěn smirkovým papírem.</p>
--	--

Hotový kus je odlamován ručně, protože se jedná o malý obrobek a k jeho oddělení je zapotřebí pouze malá síla. Dlouhotočný automat Star SV 32 není vybaven lapačem hotových dílů. Při výrobě tohoto dílu v podmínkách jiné firmy na jiném stroji je doporučeno použití soustavy opěrných válců, přičemž zápch se provede až do samovolného odlomení kusu a jeho odpadnutí do připraveného lapače.

ZÁVĚR

Firemnímu manažerovi výroby byla dodána zakázka na zhotovení dílu. Zadání obsahovalo výkres součásti, z kterého bylo zjištěno, že výrobek bude vyroben z materiálu Inconel. Po studii materiálových listů Inconelu a tvarových prvků součásti bylo rozhodnuto, že zakázka je proveditelná a byla přijata. Poté byl vybrán stroj, který byl schopen zajistit dostatečné chlazení procesní kapalinou – olejem. Jediným vyhovujícím byl dlouhotočný automat od výrobce Star s označením SV – 32. Následovalo navržení technologie postupu výroby. Obrobek je rotační a lze ho vyrobit na jedno upnutí v kleštině.

Po sestavení sady nástrojů s upřednostněním těch, které firma vlastnila a používala v předešlých výrobních operacích, s nutností dbát na náročnost obrábění Inconelu. Předvýrobní proces se nyní posune do oddělení počítačové simulace, kde je pomocí softwaru modelován přesný sled operací, pohybů nástrojů a posloupnost jejich použití. Vše je doplněno hodnotami otáček vřetene a rychlostmi posuvů všech obráběcích kroků získaných z doporučení pro obrábění Inconelu a použitelných řezných rychlostí stroje a jednotlivých nástrojů. Po úspěšném průběhu celé simulace je softwarem vygenerován NC program, který je nahrán do paměti výrobního stroje. Program je otestován operátorem přímo na výrobním stroji a následuje doprava polotovaru ze skladu a samotná výroba. Před expedicí je provedena výstupní kontrola hotových součástí.

Technologie výroby byla zpracována v podmínkách konkrétní firmy a je tedy v několika bodech odlišná od ryze teoretické verze. Zvolený stroj je primárně určen k obrábění velmi dlouhých obrobků tvaru hřídele. Je vybaven dlouhým vodícím pouzdrům a k obrábění dochází bezprostředně za upínací kleštinou, což vylučuje možnost prohnutí polotovaru způsobenou tlakem nože, a tím vzniku neválcového tvaru. Je však jediným strojem s možností použití oleje jako procesní kapaliny a proto je zvolen k obrábění zadané krátké součásti. Při poruše stroje by nebylo možné součást vyrobit na konvenčních nebo jiných strojích a došlo by ke zdržení zakázky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Training manual, Model: SV-32; Swiss-type CNN automatic lathe Fanuc 16i-TB*; Star Micronics CO., LTD., No40420E/3-0; 2004, 115 s.
2. Obrázky nástrojů - katalogy Sandvik a Iscar, Titex, Gühring - online
URL: <www.sandvik.cz>, <www.iscar.com>, <www.titex.com>, www.guehring.cz, [citováno 2009-3-15]
3. URL: <www.espi-metals.com/tech/machiningnickel&alloys.pdf>, poslední revize 2000-3-17, [citováno 2009-4-28]
4. ZÁVODNÍK, Martin. *Diplomová práce: Zvýšení efektivity IS ve výrobní firmě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2004.
5. URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Inconel>>, poslední revize 2009-4-6, [citováno 2009-4-18]

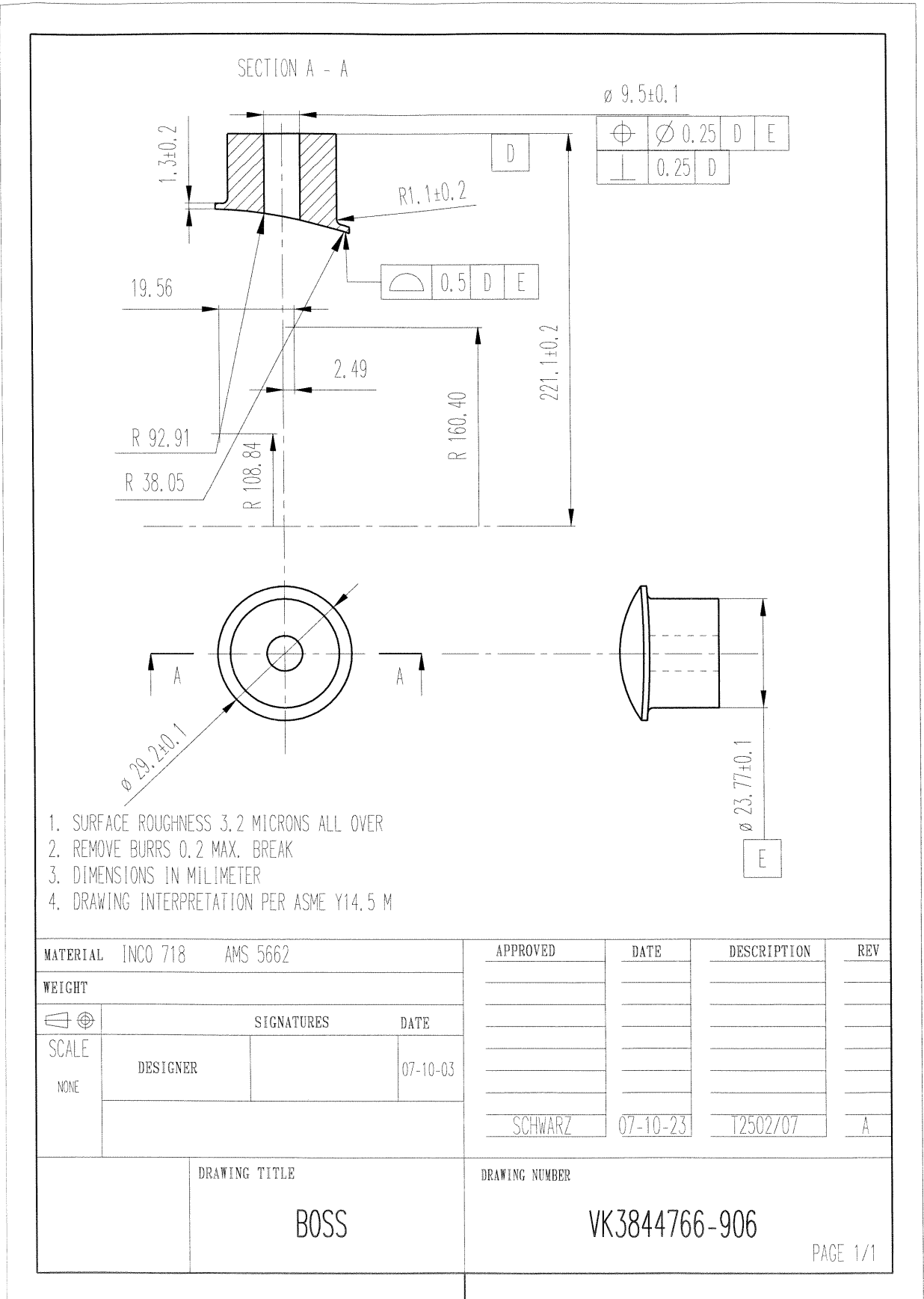
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
n	[ot·min ⁻¹]	otáčky
v _f	[m·min ⁻¹]	rychlost posuvu
CNC	-	Computer Numerical Controled

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti
Příloha 2 (1/6)	CNC program list 1
Příloha 2 (2/6)	CNC program list 2
Příloha 2 (3/6)	CNC program list 3
Příloha 2 (4/6)	CNC program list 4
Příloha 2 (5/6)	CNC program list 5
Příloha 2 (6/6)	CNC program list 6

Příloha 1



Příloha 2 (1/6)

<p> % :6220(ZAKLADNA) #531=31.8(PRUM.MAT.) #530=24.629(DELKA KUSU) #529=400(OT.PRO T100) #528=1.5(-X PRO T100) #511=35.(REZERVA) #512=3.(TL. VBD PRO T100) #514=0.(TL. BVD PRO T300) #2601=[-310.0+#530+#511] #510=[#531+1.0](PRUM. MAT. + 1MM) G99G97G40M9 M38 G28V0.T0M48 M98P9810(/25,T200,T100,G0W2.) N99(SKOK Z M99 P99) M131 G99G97G40M9 M11 G28V0.T0M38 G0Z-0.2T0M48 G120Z-0.2 M10 G0W-0.2 M20 M25 G0Z-0.5X#510 G28U0.T0 T1751(NAVRTAVAK 90ST.) M3S500 G0Z-2.Y90.T51 G1Y36.F3. G1Z2.F0.02 G0Z-2. G0T0 T1752(VRTAK PR.9.4 TK) M3S400 G0Z-2.Y-34.T52 G83Z28.5R0.Q1000P0F0.04 G0Z-2. M1 G28V0. G0T0 T1753(NUZ DO OTVORU) M3S500 G0Z-2.Y50.T53 G1Y9.5Z-1.F3. Z25.5F0.03 Y9.3 G0Z-2. G28V0. G0T0 T400(UBERACI NUZ R0.4) M3S600 G0X#510Z-1.T4 G1X29.7F0.5 Z10.F0.15 </p>	<p> X31.8K0.7 W0.9 G28U0. G0T0 T1131(UBERACI NUZ R0.2) G96S60 G50S1000 G0Y#510Z-0.03,E-10.T31 G1Y8.F0.08 Z0.F0.02 Y29.2F0.08 Z9.9 Y#510F0.5 G28V0. G0T0 T300(ZAPICHOVACI NUZ S.4) G0X#510Z11.5S40T3 G1X24.F0.04 X30.F0.8 Z9.F0.2 Z10.6 X25.4F0.04 G3X24.Z11.3R0.7F0.03 G1X#510F0.8 G28U0. G0T0 T1132(KOPIROVACI NUZ R0.8) G0Y#510Z9.5S40T32 G1Y24.F0.2 Z26.F0.04 Y32.Z30.F0.06 G28V0. G0T0 T200(KOPIROVACI NUZ LEVY R0.2) G0X#510Z6.9T2 G1X25.57F0.04 G3X23.77Z7.8R0.9F0.04 G1Z25.5F0.06 X#510F0.8 G97 G28U0. M5 G0T0 T1200(FREZA KESTAG PR.10) M46S500 M8 G98G0C90.Y#510Z-1.44B21.6T12 G1Y10.Z-1.54F3000M6 G150 G1G19B-3.2Z-6.F50 B21.6F3000 Z0.47F1000 Z-0.53F50 B-8.86Z-6. B21.6F3000 Z1.49F1000 Z0.49F50 </p>
---	---

Příloha 2 (2/6)

<p> B-14.51Z-6. B21.6F3000 Z2.51F1000 Z1.51F50 B-20.16Z-6. B21.6F3000 Z1.25F1000 Z0.25F50 B14.73 G3B-8.94Z-3.66R87.91F50 G3B-15.31Z-5.61R33.05F50 G1Z-6.5F1000 B21.6F3000 Y-10. Z-0.54F1000 Z-1.54F50 B-3.2Z-6. B21.6F3000 Z0.47F1000 Z-0.53F50 B-8.86Z-6. B21.6F3000 Z1.49F1000 Z0.49F50 B-14.51Z-6. B21.6F3000 Z2.51F1000 Z1.51F50 B-20.16Z-6. B21.6F3000 Z1.25F1000 Z0.25F50 B14.73 G3B-8.94Z-3.66R87.91F50 G3B-15.31Z-5.61R33.05F50 G1Z-6.5F1000 B21.6F3000 Y-32. Z-0.54F1000 Z-1.54F50 B-3.2Z-6. B21.6F3000 Z0.47F1000 Z-0.53F50 B-8.86Z-6. B21.6F3000 Z1.49F1000 Z0.49F50 B-14.51Z-6. B21.6F3000 Z2.51F1000 Z1.51F50 B-20.16Z-6. B21.6F3000 Z1.25F1000 Z0.25F50 B14.73 G3B-8.94Z-3.66R87.91F50 G3B-15.31Z-5.61R33.05F50 G1Z-6.5F1000 B21.6F3000 Y-32. Z-0.54F1000 Z-1.54F50 B-3.2Z-6. B21.6F3000 Z0.47F1000 Z-0.53F50 B-8.86Z-6. B21.6F3000 Z1.49F1000 Z0.49F50 B-14.51Z-6. B21.6F3000 Z2.51F1000 Z1.51F50 B-20.16Z-6. B21.6F3000 Z1.25F1000 Z0.25F50 B14.73 </p>	<p> G3B-8.94Z-3.66R87.91F50 G3B-15.31Z-5.61R33.05F50 G1Z-6.5F1000 B0.Y60.F3000 G28V0.M48 G0T0M9 T1800(FREZA STOPK.PR10.TK) M46S400 M8 G98G0C90.Y#510Z1.25B21.6T18 G1G19Y-2.Z0.25F3000M6 G150 G1G19B14.73F80 G3B-8.94Z-3.66R87.91F40 G3B-15.31Z-5.61R33.05F40 G1Z-6.5F1000 B21.6F3000 Y-32. Z1.25F1000 Z0.25F80 B14.73 G3B-8.94Z-3.66R87.91F40 G3B-15.31Z-5.61R33.05F40 G1Z-6.5F1000 B21.6Y-2.F3000 Z1.25F1000 Z0.25F80 B14.73 G3B-8.94Z-3.66R87.91F40 G3B-15.31Z-5.61R33.05F40 G1Z-6.5F1000 B21.6F3000 Y-32. Z1.25F1000 Z0.25F80 B14.73 G3B-8.94Z-3.66R87.91F40 G3B-15.31Z-5.61R33.05F40 G1Z-6.5F1000 B0.Y60.F3000 G28V0.M48 G0T0M9 M1(KONTROLA POVRCHU) T1300(FREZA PR.10-R1.-TK) M46S1000 M8 G98G0C0.Y#510Z8.T13 G1Y27.57F250 Z6.546 Z6.542C10. Z6.530C20. Z6.486C30. Z6.416C40. Z6.286C50. Z6.102C60. Z5.833C70. Z5.492C80. </p>
---	---

Příloha 2 (3/6)

Z5.061C90.	Z4.567C260.
Z4.567C100.	Z5.061C270.
Z4.010C110.	Z5.492C280.
Z3.433C120.	Z5.833C290.
Z2.849C130.	Z6.102C300.
Z2.378C140.	Z6.286C310.
Z2.017C150.	Z6.416C320.
Z1.724C160.	Z6.486C330.
Z1.521C170.	Z6.530C340.
Z1.460C180.	Z6.542C350.
Z1.521C190.	Z6.546C360.
Z1.724C200.	Z8.
Z2.017C210.	C0.F8000
Z2.378C220.	Y26.57F250
Z2.849C230.	Z6.542
Z3.433C240.	Z6.537C10.
Z4.010C250.	Z6.525C20.
Z4.567C260.	Z6.479C30.
Z5.061C270.	Z6.408C40.
Z5.492C280.	Z6.277C50.
Z5.833C290.	Z6.093C60.
Z6.102C300.	Z5.825C70.
Z6.286C310.	Z5.487C80.
Z6.416C320.	Z5.061C90.
Z6.486C330.	Z4.574C100.
Z6.530C340.	Z4.024C110.
Z6.542C350.	Z3.456C120.
Z6.546C360.	Z2.881C130.
Z8.	Z2.406C140.
C0.F8000	Z2.056C150.
Y27.00F250	Z1.770C160.
Z6.546	Z1.573C170.
Z6.542C10.	Z1.514C180.
Z6.530C20.	Z1.573C190.
Z6.486C30.	Z1.770C200.
Z6.416C40.	Z2.056C210.
Z6.286C50.	Z2.406C220.
Z6.102C60.	Z2.881C230.
Z5.833C70.	Z3.456C240.
Z5.492C80.	Z4.024C250.
Z5.061C90.	Z4.574C260.
Z4.567C100.	Z5.061C270.
Z4.010C110.	Z5.487C280.
Z3.433C120.	Z5.825C290.
Z2.849C130.	Z6.093C300.
Z2.378C140.	Z6.277C310.
Z2.017C150.	Z6.408C320.
Z1.724C160.	Z6.479C330.
Z1.521C170.	Z6.525C340.
Z1.460C180.	Z6.537C350.
Z1.521C190.	Z6.542C360.
Z1.724C200.	Z8.
Z2.017C210.	C0.F8000
Z2.378C220.	Y26.17F250
Z2.849C230.	Z6.536
Z3.433C240.	Z6.531C10.
Z4.010C250.	Z6.518C20.

Příloha 2 (4/6)

Z6.471C30.	Z1.878C200.
Z6.398C40.	Z2.145C210.
Z6.267C50.	Z2.473C220.
Z6.083C60.	Z2.955C230.
Z5.816C70.	Z3.509C240.
Z5.482C80.	Z4.057C250.
Z5.061C90.	Z4.588C260.
Z4.581C100.	Z5.061C270.
Z4.040C110.	Z5.477C280.
Z3.483C120.	Z5.807C290.
Z2.918C130.	Z6.072C300.
Z2.440C140.	Z6.255C310.
Z2.101C150.	Z6.388C320.
Z1.825C160.	Z6.462C330.
Z1.634C170.	Z6.510C340.
Z1.577C180.	Z6.524C350.
Z1.634C190.	Z6.530C360.
Z1.825C200.	Z8.
Z2.101C210.	C0.F8000
Z2.440C220.	Y25.37F250
Z2.918C230.	Z6.523
Z3.483C240.	Z6.517C10.
Z4.040C250.	Z6.502C20.
Z4.581C260.	Z6.453C30.
Z5.061C270.	Z6.377C40.
Z5.482C280.	Z6.244C50.
Z5.816C290.	Z6.061C60.
Z6.083C300.	Z5.798C70.
Z6.266C310.	Z5.471C80.
Z6.398C320.	Z5.061C90.
Z6.471C330.	Z4.596C100.
Z6.518C340.	Z4.073C110.
Z6.531C350.	Z3.535C120.
Z6.536C360.	Z2.992C130.
Z8.	Z2.506C140.
C0.F8000	Z2.189C150.
Y25.77F250	Z1.931C160.
Z6.530	Z1.753C170.
Z6.524C10.	Z1.700C180.
Z6.510C20.	Z1.753C190.
Z6.462C30.	Z1.931C200.
Z6.388C40.	Z2.189C210.
Z6.255C50.	Z2.506C220.
Z6.072C60.	Z2.992C230.
Z5.807C70.	Z3.535C240.
Z5.477C80.	Z4.073C250.
Z5.061C90.	Z4.596C260.
Z4.588C100.	Z5.061C270.
Z4.057C110.	Z5.471C280.
Z3.509C120.	Z5.798C290.
Z2.955C130.	Z6.061C300.
Z2.473C140.	Z6.244C310.
Z2.145C150.	Z6.377C320.
Z1.878C160.	Z6.453C330.
Z1.694C170.	Z6.502C340.
Z1.639C180.	Z6.517C350.
Z1.694C190.	Z6.523C360.

Příloha 2 (5/6)

<p>Z8. C0.F8000 Y24.97F250 Z6.516 Z6.510C10. Z6.494C20. Z6.443C30. Z6.367C40. Z6.233C50. Z6.050C60. Z5.789C70. Z5.466C80. Z5.061C90. Z4.603C100. Z4.089C110. Z3.562C120. Z3.029C130. Z2.543C140. Z2.231C150. Z1.983C160. Z1.810C170. Z1.760C180. Z1.810C190. Z1.983C200. Z2.231C210. Z2.543C220. Z3.029C230. Z3.562C240. Z4.089C250. Z4.603C260. Z5.061C270. Z5.466C280. Z5.789C290. Z6.050C300. Z6.233C310. Z6.367C320. Z6.443C330. Z6.494C340. Z6.510C350. Z6.516C360. Z8. C0.F8000 Y24.57F250 Z6.508 Z6.502C10. Z6.485C20. Z6.434C30. Z6.356C40. Z6.222C50. Z6.039C60. Z5.780C70. Z5.460C80. Z5.061C90. Z4.610C100. Z4.105C110. Z3.588C120. Z3.066C130.</p>	<p>Z2.590C140. Z2.273C150. Z2.033C160. Z1.867C170. Z1.818C180. Z1.867C190. Z2.033C200. Z2.273C210. Z2.590C220. Z3.066C230. Z3.588C240. Z4.105C250. Z4.610C260. Z5.061C270. Z5.460C280. Z5.780C290. Z6.039C300. Z6.222C310. Z6.356C320. Z6.434C330. Z6.485C340. Z6.502C350. Z6.508C360. Z8. C0.F8000 Y24.17F250 Z6.500 Z6.493C10. Z6.476C20. Z6.423C30. Z6.344C40. Z6.210C50. Z6.028C60. Z5.771C70. Z5.455C80. Z5.061C90. Z4.618C100. Z4.121C110. Z3.614C120. Z3.102C130. Z2.636C140. Z2.314C150. Z2.083C160. Z1.922C170. Z1.875C180. Z1.922C190. Z2.083C200. Z2.314C210. Z2.636C220. Z3.102C230. Z3.614C240. Z4.121C250. Z4.618C260. Z5.061C270. Z5.455C280. Z5.771C290. Z6.028C300.</p>
--	--

Příloha 2 (6/6)

<p>Z6.210C310. Z6.344C320. Z6.423C330. Z6.476C340. Z6.493C350. Z6.500C360. Z8. C0.F8000 Y23.77F250 Z6.492 Z6.485C10. Z6.467C20. Z6.413C30. Z6.333C40. Z6.198C50. Z6.017C60. Z5.762C70. Z5.449C80. Z5.061C90. Z4.625C100. Z4.138C110. Z3.640C120. Z3.138C130. Z2.682C140. Z2.354C150. Z2.131C160. Z1.976C170. Z1.932C180. Z1.976C190. Z2.131C200. Z2.354C210. Z2.682C220. Z3.138C230. Z3.640C240. Z4.138C250. Z4.625C260. Z5.061C270. Z5.449C280. Z5.762C290. Z6.017C300. Z6.198C310. Z6.333C320. Z6.413C330. Z6.467C340. Z6.485C350. Z6.492C360. Z10. G28V0.M48 G0T0M9 G99 M3S1000 M1 T100(UPICHOVACI NUZ) G96S30 G50S800 G0X#510Z27.7T1 G1X23.F0.02</p>	<p>X25.F0.3 Z26.7 X23.Z27.7F0.02 X9.5 X10.F0.2 M0(ULOMENI KUSU) M3S500 G0Z27.X#510S30 Z29.5 G1X-1.F0.03 M80 /G0X#510W-0.5 /G0W2. /M98P7000 M81 M99P99 %</p>
--	---

