

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie - technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Progresivní metody obrábění na těžkých obráběcích NC strojích

Autor: **Bc. Tomáš HOLUB**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan ŘEHOŘ, Ph.D**

Konzultant: **Ing. Jaroslav DAVÍDEK (ŠKODA MACHINE TOOL a.s.)**

Akademický rok 2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš HOLUB**
Osobní číslo: **S10N0069P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Název tématu: **Progresivní metody obrábění na těžkých obráběcích NC strojích**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do problematiky obrábění na těžkých obráběcích strojích a cíle řešení
2. Analýza a hodnocení současného stavu obrábění vybraného představitele na konvenčním a NC stroji
3. Návrh nových progresivnějších řešení obrábění
4. Technicko-ekonomické hodnocení
5. Závěr

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Holub	Jméno Tomáš	
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D	Jméno Jan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Progresivní metody obrábění na těžkých obráběcích NC strojích		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	Technologie obrábění	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-------------------------	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	74	TEXTOVÁ ČÁST	45	GRAFICKÁ ČÁST	29
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce se zabývá metodami obrábění, používanými při obrábění vybraného představitele - klikové hřídele na těžkých obráběcích strojích, produkovaných společností ŠKODA MACHINE TOOL a.s.. Detailněji se zaměřuje na speciální NC stroje a jim příslušící metody obrábění.</p> <p>Cílem práce je vedle rozšíření povědomí o poměrně málo známých metodách obrábění vybraného představitele, především návrh progresivnějšího řešení obrábění, jež by mohlo eventuálně nahradit stávající stav. Navrhované řešení by mělo sloužit jako podklad k úvaze nad reálným experimentem.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	kliková hřídel, progresivní metody obrábění, rotační čelní frézování, těžké obráběcí stroje, Möll-aparát

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Holub	Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	2303T004 Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Progressive Methods of Cutting on Heavy NC Machine Tools		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	74	TEXT PART	45	GRAPHICAL PART	29
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This diploma thesis engages in cutting methods, used in the cutting of selected representative - crankshaft for heavy machine tools, produced by ŠKODA MACHINE TOOL a.s.. This thesis focuses in detail on special NC machines and them with relevant cutting methods.</p> <p>The aim of this diploma thesis is moreover to raise awareness about relatively little-known cutting methods of selected representative, especially the proposal of more progressive solution of cutting, which could eventually replace the existing condition. The proposed solution should serve as a basis for reflection on the real experiment.</p>
KEY WORDS	crankshaft, progressive methods of cutting, rotary front milling, heavy machine tools, Möll-apparatus

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma:

„Progresivní metody obrábění na těžkých obráběcích NC strojích“

vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tato diplomová práce vznikla za podpory projektu ESF OP VpK „Posílení spolupráce mezi vysokými školami, výzkumnými ústavami a průmyslovými partnery v Plzeňském kraji - CZ.1.07/2.4.00/17.0052“. Tento projekt napomohl při propojení výstupů diplomové práce mezi aplikačním a akademickým prostředím.

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu diplomové práce, panu Doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti ŠKODA MACHINE TOOL a.s. za umožnění zpracování diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat vedoucímu oddělení vývojové technologie a výzkumu, panu Ing. Jaroslavu Davídkovi, za ochotně poskytnuté rady, informace a čas, který mi věnoval.

Obsah

1 Úvod do problematiky obrábění na těžkých obráběcích strojích.....	1
1.1 Cíle práce	2
2 Analýza a hodnocení současného stavu obrábění vybraného představitele na konvenčním a NC stroji.....	3
2.1 Definice vybraného představitele	3
2.1.1 Funkce	3
2.1.2 Rozdělení.....	3
2.1.3 Materiál.....	4
2.1.4 Konstrukce.....	5
2.1.5 Výrobci - uživatelé těžkých obráběcích strojů	7
2.2 Používané metody obrábění představitele na konvenčním stroji.....	8
2.2.1 Soustružení	9
2.2.2 Frézování	13
2.3 Používané metody obrábění představitele na NC stroji.....	15
2.3.1 Obecná podoba rotačního čelního frézování	15
2.3.2 Rotační čelní frézování klikových hřídelí	17
2.4 Konkrétní podoba vybraného představitele pro účely práce.....	27
2.5 Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na konvenčních strojích	29
2.6 Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na NC strojích.....	30
2.7 Současný stav obrábění představitele z hlediska možného prostoru pro jiná řešení	33
2.7.1 Rozbor technologického postupu v oblasti obrábění zdvihových podpichů	34
3 Návrh nových progresivnějších řešení obrábění	45
3.1 Činitelé ovlivňující nová progresivnější řešení.....	45
3.1.1 Obráběcí stroj	46
3.1.2 Obrobek	47
3.1.3 Technicko-ekonomické hledisko	47
3.2 Postup návrhu nových řešení	48
3.2.1 Návrh podoby metody obrábění	48
3.2.2 Volba nástroje a dalšího technologického příslušenství.....	50
3.2.3 Volba řezných podmínek.....	57

3.2.4 Simulace (CAD/CAM)	58
4 Technicko-ekonomické hodnocení	62
4.1 Předpokládané pořizovací náklady pro realizaci řešení č.1	62
4.2 Předpokládané pořizovací náklady pro realizaci řešení č.2	62
4.3 Porovnání předpokládaného času obrábění	63
4.4 Porovnání z hlediska důležitých činitelů	63
5 Závěr.....	65
Seznam použité literatury a internetových zdrojů	68
Seznam obrázků	70
Seznam tabulek	73
Seznam příloh	74

Přehled použitých zkratk a symbolů

Označení	Název	Jednotky
HRC	Tvrдость podle Rockwella	[-]
NC	Numeric Control	[-]
PC 6	Speciální NC stroj určený k 1. hrubování klikových hřídelí	[-]
PC 5	Speciální NC stroj určený k 2. hrubování klikových hřídelí	[-]
PC 4	Speciální NC stroj určený k obrábění klikových hřídelí načisto	[-]
A	Osa hlavního vřeteníku	[-]
S	Osa vřeteníku obráběcí věže	[-]
σ_p	Mez pevnosti	[Pa]
p_{max}	Maximální spalovací tlak ve válci	[Pa]
D	Průměr válce	[mm]
D	Průměr nástroje	[mm]
h	Tloušťka ramena	[mm]
h_p	Tloušťka příruby	[mm]
b	Šířka ramena	[mm]
D_0	Průměr hlavního čepu	[mm]
D_1	Průměr klikového čepu	[mm]
D_p	Průměr příruby	[mm]
l_0	Délka hlavního čepu	[mm]
l_1	Délka klikového čepu	[mm]
α	Součinitel tvaru	[-]
α	Pomocný úhel	[°]
ρ	Zaoblení přechodu mezi čepem a ramenem	[mm]
d	Průměr čepu (hřídele)	[mm]
a	Vzdálenost kanálu od přechodu čepu do ramena	[mm]
v_F	Pracovní posuvová rychlost	[° / min]
v_f	Pracovní posuvová rychlost	[mm / min]
e	Excentrické posunutí nástroje ve směru osy Y	[mm]
e_n	n-té excentrické posunutí nástroje ve směru osy Y	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]
b_s	Čelní rozměr vyměnitelné břitové destičky určující šířku mezikruží na rotujícím nástroji	[mm]

R	Rozměr rádiusového přechodu mezi čepem a ramenem	[mm]
R_{kin}	Kinematická drsnost obrobeneé plochy	[μm]
R_{max}	Maximální výška nerovností obrobeneé plochy	[μm]
R_{teor}	Teoretická drsnost obrobeneé plochy	[μm]
h_{max}	Maximální výška nerovností obrobeneé plochy	[μm]
h_{krit}	Hloubka obrábění v kritické poloze	[mm]
t	Tuna (jednotka hmotnosti)	[t]
t_a	Strojní čas	[min], [h]
r_ϵ	Zaoblení břitu	[mm]
f_{ax}	Axiální posuvová rychlost	[mm / min]
D_c	Průměr nástroje se zaoblenými rohy	[mm]
sin	Sinus (goniometrická funkce)	[-]
cos	Cosinus (goniometrické funkce)	[-]
v_c	Řezná rychlost (na obvodě nástroje o průměru D)	[m / min]
v_e	Skutečná řezná rychlost (na styku nástroje s obráběnou plochou)	[m / min]
D_e	Efektivní průměr frézy	[mm]
f_z	Posuv na zub	[mm]
f_e	Krok frézy (posuv řádkování)	[mm]
r	Poloměr obráběné válcové plochy	[mm]
X_r	Poloha krajního bodu tětiny (v ose X)	[mm]
X	Poloha obecného bodu (v ose X)	[mm]
Z	Pracovní poloha nástroje (v ose Z)	[mm]
Δr	Rozdíl mezi skutečným poloměrem a pracovní polohou nástroje	[mm]
a_p	Hloubka záběru řezu	[mm]
Z_{eff}	Počet efektivních břitů na nástroji	[-]
n_{max}	Maximální otáčky stroje	[min^{-1}]
n	Otáčky nástroje	[min^{-1}]

1 Úvod do problematiky obrábění na těžkých obráběcích strojích

V dnešní době si asi jen těžko dokážeme představit, jak náročný úkol to musel pro naše předchůdce být, když před více než stoletím museli s poměrně vysokou přesností vyrobit rozměrné součásti strojních zařízení (například zalomenou hřídel klikového ústrojí zaoceánské lodi) bez pomoci dnešních technických vymožeností. K tomu, aby toto dokázali, museli nejdříve zvolit vhodnou technologii a této technologii přizpůsobit i stroje - těžké obráběcí stroje, které jsou určeny k obrábění dílů vážících i stovky tun. Od těch dob se samozřejmě dnešní těžké obráběcí stroje v mnohém dosti odlišují. Vedle, na první pohled zřejmé vizuální (designové) stránky, je to především pokrok v oblasti pohonů, automatizace, konstrukčních materiálů a zvláště pak nástup řídicích systémů. Cena takovýchto strojů dosahuje značných finančních částek (desítky až stovky milionů korun), podobně jako cena jejich výrobků. Je proto logické, že stroje musí i přes své značné rozměrové parametry splňovat zákaznická očekávání, týkající se zejména kvality obroběných dílů, maximální spolehlivosti chodu stroje a produktivity výroby. Výhodu tak mají společnosti, které se na trhu těžkých obráběcích strojů pohybují již dlouhou dobu a získávají tak postupně reference mnoha spokojených zákazníků nejen v tuzemsku, ale i ve světě. Mezi takové společnosti patří bezesporu i český výrobce ŠKODA MACHINE TOOL a.s. v Plzni, jehož tradice v oblasti vývoje a výroby těžkých obráběcích strojů sahá až do roku 1911. Řadí se tak k průkopníkům jak u nás, tak ve světě. Za tuto uplynulou dobu však v tuzemsku a především ve světě vzniklo mnoho dalších výrobců těžkých obráběcích strojů, kteří dnes tvoří o poznání větší konkurenční prostředí než dříve. To samozřejmě přispívá k neustálému rozvoji těžkých obráběcích strojů - zejména jejich funkcí, parametrů (maximalizace nebo minimalizace jejich součástí při zachování, či dokonce zlepšení dané funkce), apod.. Obráběcí stroje jsou proto neustále přizpůsobovány novým trendům a technologiím, které je činí na trhu konkurenceschopnějšími a pro potencionálního - velmi náročného zákazníka atraktivnějšími. Velkou roli v boji o zákazníka sehrává především zvyšování univerzálnosti těchto strojů, kdy je velmi častým přáním zákazníka a často beznadějnou snahou výrobce vyrobit stroj, na kterém lze obrábět co nejrozmanitější škálu součástí. Převážná část těžkých obráběcích strojů tedy bývá přizpůsobována právě konkrétnímu typu vyráběné součásti při zaručení základních požadavků. Základní požadavky na obráběcí stroje zůstávají stejné a neměnné. Jsou jimi přesnost obrábění a výkonnost.

Přesnost obrábění - souvisí jak s geometrickými parametry funkčních částí stroje (např. přesnost uložení vřetena), tak se statickým a dynamickým namáháním stroje během procesu obrábění. Tato namáhání se odvíjejí od tuhosti (stability) soustavy stroj-nástroj-obrobek. Ovlivňují jak chod stroje, tak kvalitativní stránku obrobku.

Výkonnost (produktivita) - zvyšování výkonnosti nabývá stále většího významu a zákazník na toto hledisko v dnešní době velmi dobře slyší, neboť náklady spojené s prodloužením času výroby nejsou zanedbatelné. Zvyšovat výkonnost tedy znamená zkracovat celkový čas výroby dané součásti. Tohoto lze docílit buď zkrácením strojního či vedlejšího času, popřípadě obou těchto složek současně. Zkracování vedlejšího času je otázkou zvyšování stupně automatizace výrobního pochodu, toto nabývá významu především v hromadné a velkosériové výrobě, kde převládají vedlejší časy nad strojními. V případě těžké strojírenské výroby, využívající těžké obráběcí stroje, kdy se jedná z převážné části o kusovou či malosériovou výrobu, je naopak efektivnější zkracovat časy strojní. Zkrácení strojního času je dosahováno zrychlováním vlastního řezného pochodu a to především využíváním metod obrábění a výkonných obráběcích nástrojů. Nelze ovšem říci, že by se ve vývoji těžkých obráběcích strojů zkracování vedlejších časů nějak zanedbávalo, ba právě naopak, zde se postupuje oběma cestami najednou, tedy jak zkracováním strojních, tak zkracováním vedlejších časů. [3]

1.1 Cíle práce

Téma diplomové práce vzniklo ve spolupráci s již zmiňovanou společností ŠKODA MACHINE TOOL a.s., přesněji s oddělením vývojové technologie a výzkumu. Je vztaženo na stroje a jim příslušící metody obrábění, používané při výrobě konkrétní strojní součásti (představitele). Tímto představitelem je kliková hřídel. Prioritně a podrobněji se pak práce zaměřuje na speciální NC stroje. Společnost vyrábí několik druhů strojů, určených k obrábění daného představitele různými metodami obrábění.

Cílem práce je vedle rozšíření povědomí o poměrně málo známých metodách obrábění, používaných při výrobě představitele na těžkých obráběcích strojích (produkovaných společností), především návrh progresivnějšího řešení obrábění představitele na speciálních NC strojích, které by případně umožňovalo částečné nahrazení stávajícího stavu obrábění.

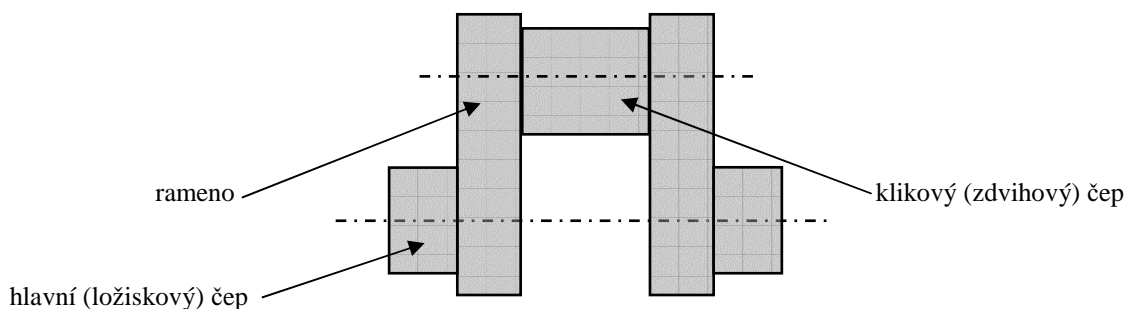
Navrhované řešení by mělo sloužit jako podklad k úvaze nad reálným experimentem.

2 Analýza a hodnocení současného stavu obrábění vybraného představitele na konvenčním a NC stroji

2.1 Definice vybraného představitele

2.1.1 Funkce

Kliková hřídel, popřípadě zalomená hřídel, tvoří součást klikového ústrojí pístových strojů. Kliková hřídel má jedno nebo více zalomení. Jedná-li se o plně uloženou hřídel, nachází se za každým zalomením ložisko. Vzdálenost mezi osami hlavního (ložiskového) a klikového (zdvihového) čepu, je označována jako poloměr kliky. Díky ojnicím převádí kliková hřídel pohyb otáčivý na pohyb přímočarý vratný, reprezentovaný písty. Tak je tomu u hnacích strojů (čerpadla, kompresory). Naopak u hnacích strojů (motory), převádí přímočarý vratný pohyb pístů na pohyb otáčivý. Z klikové hřídele je pak odebírán užitečný výkon - točivý moment. Kliková hřídel je během své funkce namáhána periodicky proměnnými silami a momenty v klikovém ústrojí na ohyb, krut a otláčení.



Obr.2.1 Jednotlivé části hřídele

2.1.2 Rozdělení

Klikové hřídele velkých strojů lze z hlediska výroby rozdělit na dvě základní skupiny. Na skupinu celistvých (tzv. monoblokových) hřídelí, vyráběných z jednoho kusu polotovaru, a na skupinu hřídelí skládaných, vyráběných z několika kusů polotovarů. Skupina skládaných hřídelí se dále dle konstrukce rozděluje na skupiny hřídelí celoskládaných (obr.2.6) a poloskládaných (obr.2.4, 2.5, 2.7). Polotovarem klikových hřídelí velkých strojů bývá nejčastěji výkovek. Výkovek je kovaný volně (obr.2.2, 2.3 a příloha č.6) nebo v zápustce (obr. 2.8, 2.9). Méně častěji pak bývá polotovarem odlitek (viz následující část 2.1.3). [1], [6]



Obr.2.2 Volné kování polotovaru velké monoblokové hřídele na počátku 20. století - Vítkovice [14]



Obr.2.3 Volné kování polotovaru velké monoblokové hřídele v současnosti - Plzeň [21]

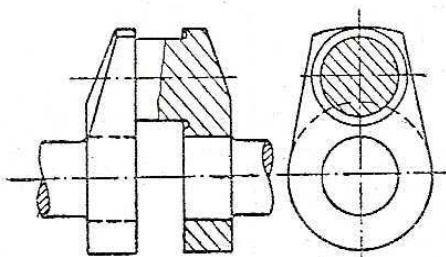
2.1.3 Materiál

Výběr materiálu závisí na účelu dané klikové hřídele. Materiálem kovaných klikových hřídelí velkých strojů jsou buďto ušlechtilé uhlíkové oceli (obvykle žíhaná uhlíková ocel - čepy mají přirozenou tvrdost a zároveň dobrou houževnatost, vyžadují ložiska s kompozicovou výstelkou) nebo při větším namáhání ušlechtilé legované oceli. Především pak ušlechtilé legované oceli odpovídající, popřípadě přibližující se svým chemickým složením ocelím dle ČSN: 15 142 (Cr-Mo), 15 230 (Cr-V), 15 330 (Cr-Mo-V), 14 240 (Mn-Cr), 16 440 (Ni-Cr), nebo 16 343 (Ni-Cr-Mo) s pevností až $\sigma_p = 1200$ MPa. Hřídele z materiálu velké pevnosti jsou citlivé na vrubové účinky a jakost povrchu. Potřebné tvrdosti povrchu čepů, odolávajícímu otláčení, se dosahuje kalením (plamenem, vysokofrekvenčně) nebo metalurgickou úpravou (nitridací, výjimečně cementací). Kalením se dosahuje tvrdosti 52 až 62 HRC. Pro průběžné tepelné zpracování, vychladnutí a konečné tepelné zpracování klikových hřídelí, se používají vertikální a horizontální pece (s olejovým a vodním chlazením). Velikost ingotu a jeho prokování se volí v závislosti na rozměrech klikové hřídele a podle požadavků zákazníka. Hřídele, jak už bylo řečeno, mohou být také lité (monobloky a části skládaných hřídelí), a to ze speciální litiny, např. legované litiny (Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr, Cu-Cr) či z lité oceli. Při lití hřídelí se dosáhne úspory materiálu. Výhodou litin je též menší vrubová citlivost a větší vnitřní útlum, značnou nevýhodou jsou však menší mechanické hodnoty. Pevnost legovaných litin $\sigma_p = 320$ až 500 MPa. Lité oceli jsou buď nelegované se středním obsahem uhlíku ($\sigma_p = 550$ až 650 MPa) nebo legované (Ni, Mo) s malým obsahem uhlíku (σ_p až 850 MPa). [1]

2.1.4 Konstrukce

Konstrukce klikových hřídelí závisí na druhu stroje (obr.2.12), materiálu a velikosti hřídele i jejího namáhání. U velmi rozměrných strojů (převážně motory velkých nákladních lodí s hřídelemi značných zdvihů - velkých poloměrů klik), kdy nelze vyrobit hřídel jako monoblok, je hřídel složena z ramen a zalisovaných čepů (obr.2.4, 2.6), přičemž mohou být ramena s klikovým čepem vcelku (obr.2.4). Zalisování (obr.2.5) se provádí za tepla (přesah asi 0,8 až 2 ‰). Poměrně mladou a méně známou je pak výroba poloskládaných hřídelí svářením.

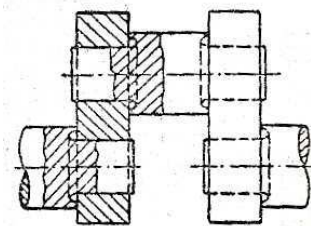
Po sestavení jednotlivých dílů hřídele v celek (obr.2.7), musí zcela bezpodmínečně následovat jeho obrobení. A to z důvodu nepřesností vznikajících při skládání jednotlivých dílů. Pokud by tyto nepřesnosti nebyly obráběním odstraněny, měly by později negativní vliv na chod stroje, v němž bude hřídel instalována. Během otáčení hřídele by docházelo k jejím deformacím a tím i k nadměrnému namáhání pístů stroje. [1], [6], [11]



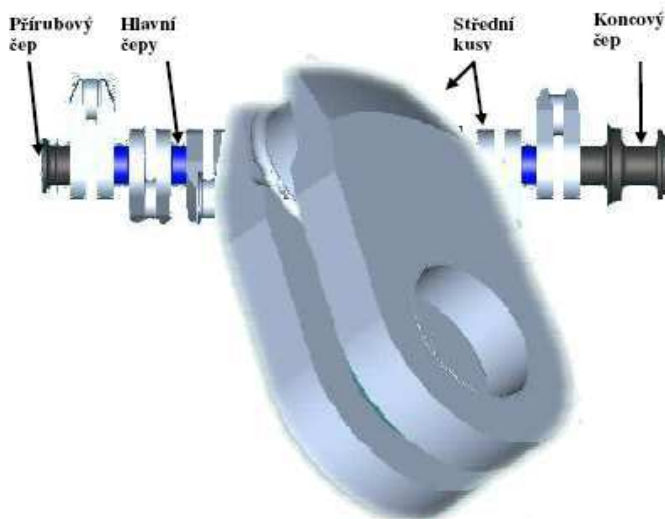
Obr.2.4 Poloskládaná hřídel [1]



Obr.2.5 Zalisování [14]



Obr.2.6 Celoskládaná hřídel [1]

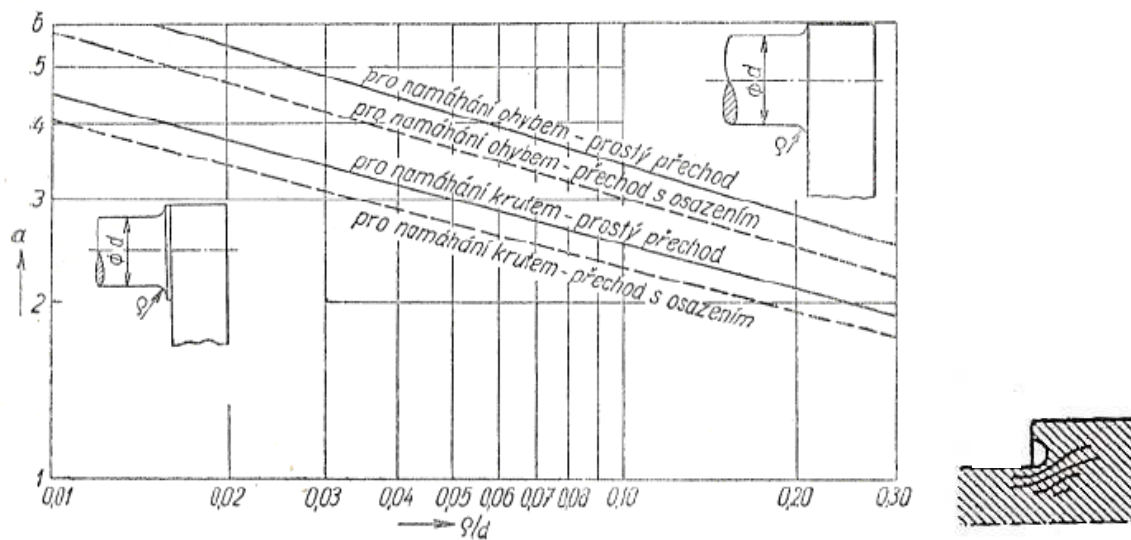


Obr.2.7 Části poloskládané hřídele [6]



Obr.2.8, Obr.2.9 Kování středního kusu [6], [14]

Hřídele jsou obvykle na obou stranách opatřeny přírubou (k přenášení kroutícího momentu, k připevnění setrvačníku). Zaoblení přechodu do příruby je větší nebo rovno $0,125 \cdot D_o$. Rozměry kruhové příruby na konci hřídele bývají $D_p = (1,8 \text{ až } 2,3) \cdot D_o$, $h_p = (0,22 \text{ až } 0,3) \cdot D_o$. V přírubě je minimálně šest děr pro šrouby. Tvar ramen klikové hřídele je různý. Rozšiřováním ramen se zvětšuje tuhost i tvarová pevnost hřídele. Při již zmiňovaném namáhání klikových hřídelí se jedná o vytrvalé kolísavé namáhání. Základním požadavkem klikových hřídelí jsou tedy co největší zaoblení v přechodech a jednak velmi hladký povrch čepů. Mezi hřídelí a rameny (čepy a rameny) má být co největší zaoblení, neboť tam vzniká veliké napětí a i při kování tam nejnáze vzniknou vady. Malé zaoblení působí jako vrub. Maximální napětí jsou α -krát větší než napětí jmenovitá. Pro přechod čepu do ramena je součinitel tvaru α přibližně určen poměrem ρ/d (obr.2.10). Někdy ovšem nelze udělat tak velké zaoblení, pak je velmi výhodný zápich, který hřídel na nejnamáhanějším místě odlehčí (obr.2.11).



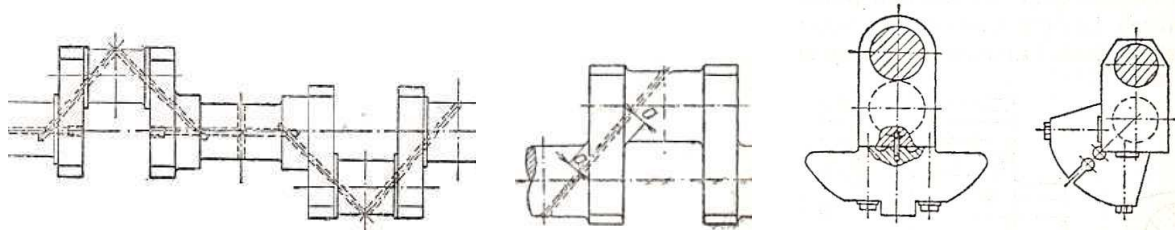
Obr. 2.10 Součinitel tvaru α v závislosti na druhu namáhání a poměru ρ/d [1] **Obr. 2.11** Zápich-odlehčení [2]

Čepy se dělají ve všech zalomeních stejné, stejně tak i čepy ve všech ložiskách. Průměr čepů v ložiskách se rovná přibližně průměru čepů v zalomeních (obr.2.12). Při konstrukci monoblokových klikových hřídelí, jež zpravidla v příslušných strojích dosahují vyšších otáček, než velké skládané hřídele, je nutno myslet i na vyvážení volných sil a momentů klikového ústrojí. To je uskutečněno pomocí protizávaží, ta jsou k ramenům připevněna některým z mnoha způsobů (obr.2.15). Protizávaží musí být upevněna se zřetelem na odstředivé i tečné síly, vzniklé při přechodu kritického počtu otáček stroje. Dalším důležitým požadavkem, souvisejícím s konstrukcí hřídele, je zajištění mazání jednotlivých čepů během

chodu stroje. Mazání je převážně tlakové oběžné, s olejem o tlaku 0,2 až 0,5 MPa. Olej se vede kanály vyvrtanými v hřídeli buď šikmo nebo kolmo (obr.2.13). Minimální vzdálenost kanálu od přechodu čepu do ramena má být $a = 0,1 \cdot D_0$ (obr.2.14). Nepotřebné vývody jsou uzavřeny zátkami. Vyústění mazacích dírek musí být zaoblené a má být v místě minimálního napětí v čepu. [1], [2]

Část zalomení	Rozměr	Parní stroje Kompresory	Výbušné motory	Naftové motory	Pístová čerpadla
Hlavní (ložiskový) čep	D_0 l_0	$0,14 D \sqrt{p_{\max}}$ $(1 \div 1,2) D_0$	$(0,5 \div 0,55) D$ $(0,8 \div 1) D_0$	$(0,65 \div 0,75) D$ $(0,7 \div 0,9) D_0$	$0,17 D \sqrt{p_{\max}}$ $(1,3 \div 1,4) D_0$
Klíkový čep	D_1 l_1	$0,13 D \sqrt{p_{\max}}$ $(1 \div 1,2) D_1$	$(0,45 \div 0,6) D$ $(0,8 \div 1) D_1$	$(0,6 \div 0,7) D$ $(0,7 \div 1) D_1$	$0,16 D \sqrt{p_{\max}}$ $1,3 D_1$
Rameno	h b	$(0,5 \div 0,7) D_1$ $1,25 D_1$	$(0,4 \div 0,5) D_1$ $(1,5 \div 1,6) D_1$	$(0,4 \div 0,5) D_1$ $(1,6 \div 1,7) D_1$	$0,6 D_1$ $1,25 D_1$

Obr. 2.12 Empirické vzorce pro výpočet hlavních rozměrů klikové hřídele dle typu pístového stroje [1]



Obr.2.13 Mazací otvory [1]

Obr.2.14 Vzdálenost - a [1] **Obr.2.15** Protizávaží [1]

2.1.5 Výrobci - uživatelé těžkých obráběcích strojů

Výroba velkých klikových hřídelí je v současné době soustředěna především v asijských zemích - Japonsku (Kobe Steel, Sazeno, Mitsubishi), Číně (Wuhan Heavy Machinery, Shanghai Marine Crankshaft Co., Dalian Huarui Crankshaft Co., DHI.DCW Group Co., Qingdao Haixi Heavy Industry Co.) a Jižní Koreji (Hyundai, Doosan Heavy Machinery, STX), ovládajících světový lodní průmysl. Přesto je možné významné výrobce velkých klikových hřídelí nalézt i v Evropě, konkrétně ve Španělsku (Sidenor), Německu (Gröditzter Kurbelwelle Wildau GmbH), Polsku (Selza) a také v České republice, kde jsou jimi Vítkovice Heavy Machinery a.s. a PILSEN STEEL s.r.o..

Ve Vítkovících, které si udržují na světovém trhu velkých klikových hřídelí zhruba patnáctiprocentní podíl, jsou vyráběny poloskládané klikové hřídele, určené pro lodní průmysl. První zalomená hřídel byla ve Vítkovících vyrobena v roce 1897, a to pro těžký křižník Kriegsmarine Hamburg Rakousko-Uherského válečného loďstva. Hřídele mají hmotnost od 6 do 140 t a délku až 9 metrů. K výrobě polotovaru malých středních kusů je zde využíváno poměrně mladé technologie, a to kování v záпустce (výkovek už má tvar kliky s předkovaným klikovým čepem - obr.2.8, 2.9), která usnadnila a urychlila obrábění polotovaru, jímž dříve býval plný výkovek.

V PILSEN STEEL jsou pro lodní průmysl (a nejen pro něj) vyráběny hřídele poloskládané nebo celoskládané, přesahující svou hmotností i 100 t a hřídele volně kované jako monobloky, s hmotností přesahující i 30 t. V Plzni tak byla vyrobena zatím největší celistvá kliková hřídel na světě, roku 1997 o hmotnosti 31,3 t (obr.2.16). Právě díky těmto volně kovaným klikovým hřídelím si plzeňská společnost udržuje na světovém trhu velmi významnou pozici, neboť výroba celistvých hřídelí takovýchto rozměrů není ve světě příliš rozšířena. [18], [19], [20]



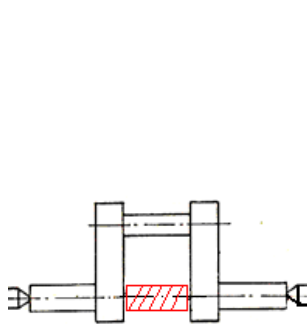
Obr.2.16 Největší celistvá kliková hřídel na světě (PILSEN STEEL s.r.o., 1997) [19]

2.2 Používané metody obrábění představitele na konvenčním stroji

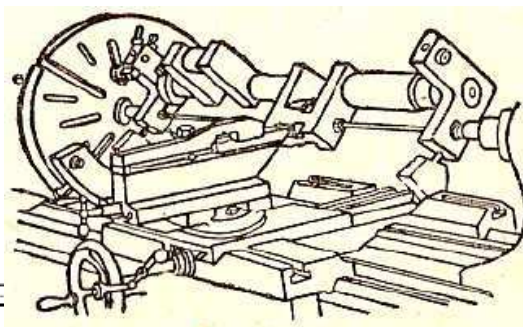
Hned na začátku je důležité říci, že se jedná o konvenční stroje z hlediska podoby používaných metod obrábění při výrobě součástí (v principu jejich nezměnná podoba od doby vzniku prvotních strojů), jelikož i tyto těžké obráběcí stroje, označované dále jako konvenční, jsou v současné době vybaveny NC řízením. K obrábění velkých klikových hřídelí na konvenčních strojích se používá následujících podob klasických obráběcích metod.

2.2.1 Soustružení

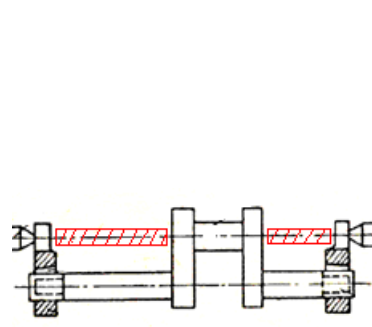
Soustružení je vzhledem k charakteristice součásti (mnoho rotačních ploch) zřejmě první možnou metodou k obrobení, která všeobecně technicky znalého člověka napadne. Pro lepší pochopení podoby této metody při obrábění velkých klikových hřídelí je výhodné porovnání s podobou metody při konvenčním obrábění malých klikových hřídelí. Tedy, soustružení velkých klikových hřídelí se od soustružení malých klikových hřídelí logicky odlišuje velikostí obráběcích strojů (soustruhů). Vedle toho se však odlišuje především v jejich počtu. Zatímco k obrobení (osoustružení) malé klikové hřídele, je možno vystačit pouze s jedním strojem - univerzálním hrotovým soustruhem, který po určitých úpravách umožňuje obrobít vedle hlavních (ložiskových) i klikové (zdvihové) čepy, tak pro obrobení velké klikové hřídele je k obrobení hlavních a klikových čepů zapotřebí strojů dvou. Je to dáno právě velikostí hřídele, respektive její hmotností a s tím souvisejícími problémy již při pouhé teoretické úvaze o možném obrábění klikových čepů způsobem, kterým lze tyto obrábět u malé klikové hřídele. Především by se jednalo o značné deformace obrobku, způsobené vlastní vahou, vyplývající z nemožnosti použití podpěr (při vyloučení možnosti použití obdoby rozpěrných šroubů - viz dále), dále složitost a nepřesnost upínání při působení vlastní váhy obrobku a poté i nestabilita upnutí během samotného procesu obrábění.



Obr.2.17 Vložka [5]



Obr.2.18 Obrábění klikového čepu [5]



Obr.2.19 Rozpěrné šrouby [5]

Při obrábění ložiskových čepů malých klikových hřídelí je mezi ramena vkládána vložka, například z tvrdého dřeva (graficky znázorněna červenou barvou na obr.2.17), aby se co nejvíce zvýšila tuhost a maximálně se tak eliminoval průhyb obrobku v ose obrábění (ose ložiskového čepu). Jedna z nutných úprav malého univerzálního hrotového soustruhu pro soustružení klikových čepů spočívá v tomtéž záměru, konkrétně v aplikaci rozpěrných šroubů (graficky znázorněny na obr.2.18 a červenou barvou na obr.2.19), zaručujících opět zvýšenou tuhost v ose obrábění (tentokrát v ose klikového čepu). Dále musí být na suportu úzký, vysoký nožový držák, aby nevadil otáčení ramen hřídele (platí i pro obrábění ložiskových

částí). Na hrotech jsou instalovány úhelníky (pro ustavení os klikových čepů do osy obrábění), v nichž jsou důlky pro obrábění jednotlivých klik. Na lícni desce, případně i na úhelníku u koníku, je pak připevněno protizávaží k vyvážení volných sil a momentů, vznikajících při otáčení obrobku (vše předchozí viz obr.2.18).

Je tedy patrné, že pro obrábění klikových čepů velkých klikových hřídelí musí existovat jiné řešení. K obrábění velkých klikových hřídelí se tak vedle velkého univerzálního hrotového soustruhu (obr.2.20) používá ještě speciálního soustruhu (obr.2.25), zvaného „Möll-aparát“. Hrotový soustruh slouží k obrábění ložiskových částí hřídele. Stejně jako v případě malého univerzálního hrotového soustruhu, má i tento na suportu umístěn úzký, vysoký nožový držák, respektive výsuvnou lamelu (obr.2.22). Otáčející se hřídel koná hlavní - rotační pohyb. Vedlejší pohyb (posuv, přísuv) je prováděn nástrojem - soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutých karbidů. Kliková hřídel je uchycena klasicky do sklíčidla a hrotu koníku. V tomto případě, kdy se jedná o součást značné hmotnosti, je nezbytně nutné použít podpěr (obr.2.23), jež zabraňují prohnutí osy obrobku a tedy nepřesnostem vzniklým tzv. „dýcháním“ (průhyb hřídele během obrábění ložiskových čepů) hřídele během obrábění. Tento jev je sledován číselníkovým úchylkoměrem umístěným mezi rameny daného klikového čepu (viz obr.2.21). Odchytky se musí pohybovat v daných tolerancích (viz příloha č.11). Jelikož není možné podepřít obrobek na neobrobeném místě (neobrobeném ložiskovém čepu), postupuje se tak, že je nejprve obroben ložiskový čep nacházející se nejbližší lícni desce, kde je teoreticky největší tuhost soustavy a tudíž zde při obrábění vzniká nejmenší možná odchylka od požadovaného tvaru součásti. Jakmile je tento čep obroben, následuje jeho podepření opěrou, vyrovnání hřídele opěrou a obrobení dalšího ložiskového čepu u této podpěry. Takto se postupuje do té doby, než jsou obrobeny všechny ložiskové čepy vyskytující se na hřídeli. Jedná se o poměrně náročný postup, vyžadující zručnost a zkušenost obsluhujícího pracovníka.



Obr.2.20 Univerzální hrotový soustruh řady SR [8]



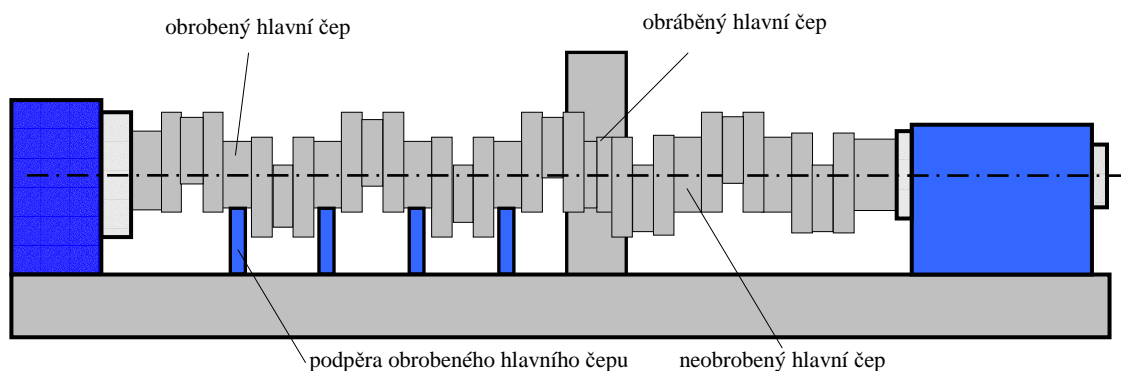
Obr.2.21 Měření „dýchání“ klikové hřídele [14]



Obr.2.22 Suport s výsuvnými lamelami [8]



Obr.2.23 Pohled na podpěru [8]



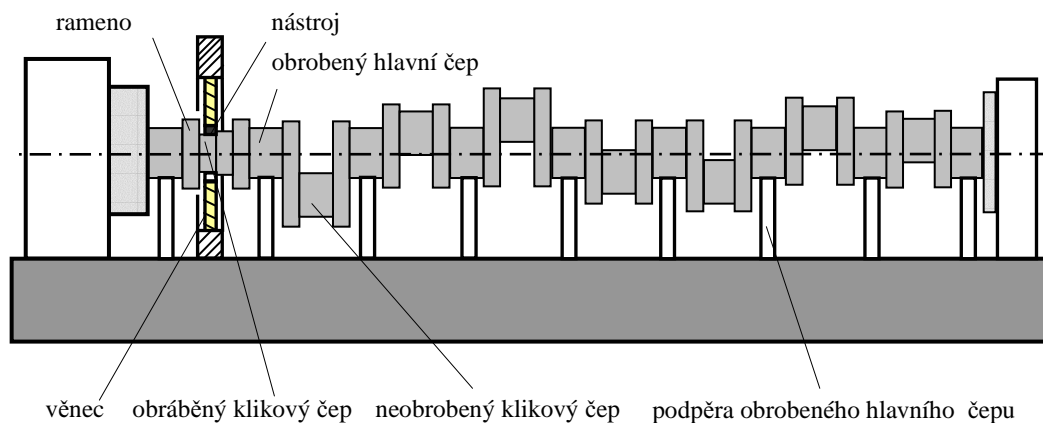
Obr.2.24 Schématické znázornění univerzálního hrotového soustruhu při obrábění hlavních čepů

K obrobení klikových čepů a jejich rádiusových přechodů, popřípadě kulatých tvarů ramen, slouží již zmiňovaný Möll-aparát. Stejně jako u univerzálního hrotového soustruhu, i u tohoto je jedna strana hřídele upnuta ve sklíčidle pevného vřeteníku a druhá strana je opřena o koníka, který je posuvně uložen na drahách lože. Hřídel je taktéž podepřena přestavitelnými opěrami na obrobených ložiskových čepech. Podobizny předchůdců tohoto stroje od počátku do poloviny 20. století je možno vidět na obr.2.27 a obr.2.28 (tehdy bez rozevíratelného věnce - viz dále). Základní odlišností od klasické podoby soustružení a zároveň principem, na kterém jsou tyto speciální stroje založeny je to, že se obrobek během obrábění nepohybuje. Na vnitřním obvodě věnce, soustředně obklopujícího daný klikový čep (popřípadě rameno kulatého tvaru či rádiusový přechod), je upnut nástroj (nůž osazený vyměnitelnými břitovými destičkami na jedné z podélných hran, jež tak vizuálně připomíná hřebínek - viz obr.2.31, popřípadě speciální tvarový nůž pro soustružení rádiusových přechodů), který se s věncem otáčí kolem obráběné plochy a zároveň vykonává posuv i přísuv do řezu. Po obrobení daného klikového čepu, popřípadě ramene kulatého tvaru či rádiusového přechodu, se věnec otevře

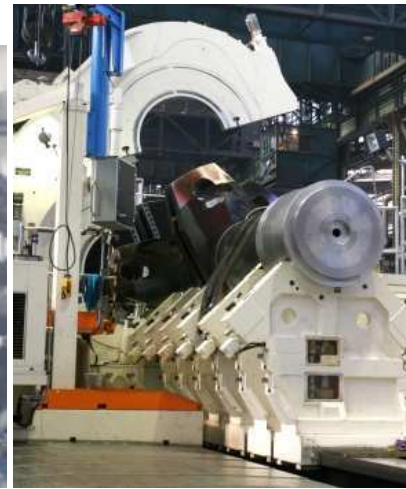
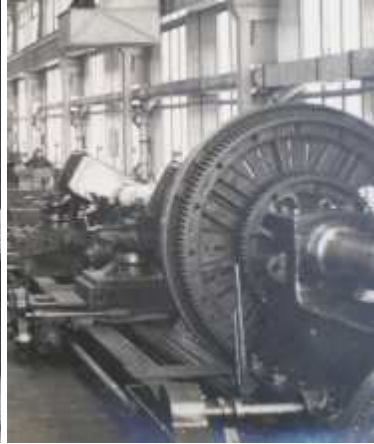
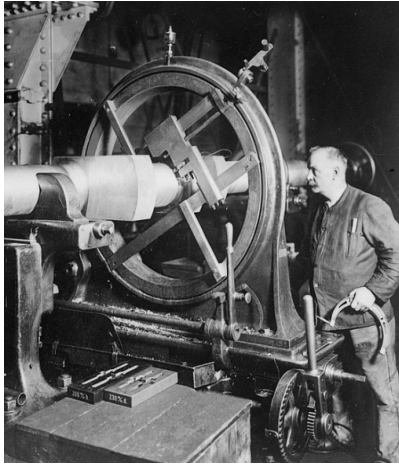
(obr.2.29) a přesune se k dalšímu klikovému čepu (ramenu kulatého tvaru, rádiusovému přechodu), který je předtím vřetenem stroje natočen do příslušné polohy (obr.2.26, 2.30), v níž je stroj (respektive věnec s upnutým nástrojem) schopen tuto plochu obrobit, věnec se uzavře a nástroj je opět připraven obrábět. Nevýhodou tohoto způsobu obrábění je především to, že maximální oběžný průměr je omezen průměrem věnce, v němž je upnut nástroj. Tím pádem není vždy možno splnit do detailu zákaznickovi požadavky, týkající se především kulatých tvarů ramen. Dalším problémem je i to, že se věnec nemůže točit příliš rychle (omezení řezných rychlostí). Dochází tak k prodloužení času obrábění a tedy i k nízké produktivitě výroby. Další nevýhodou je i to, že pro značně rozdílné velikosti obráběných průměrů, je třeba mít ve výrobních prostorách více těchto strojů s různými škálami průměrů oběžného věnce.



Obr.2.25 Möll-aparát [8]



Obr.2.26 Schématické znázornění Möll-aparátu při obrábění klikových čepů



Obr.2.27 Möll-ap.okolo r.1910 [8] **Obr.2.28** Möll-ap.okolo r.1940 [14]**Obr.2.29** Rozevíretelný věnec dnes [14]



Obr.2.30 Pozice zdvihového čepu při obrábění [8]



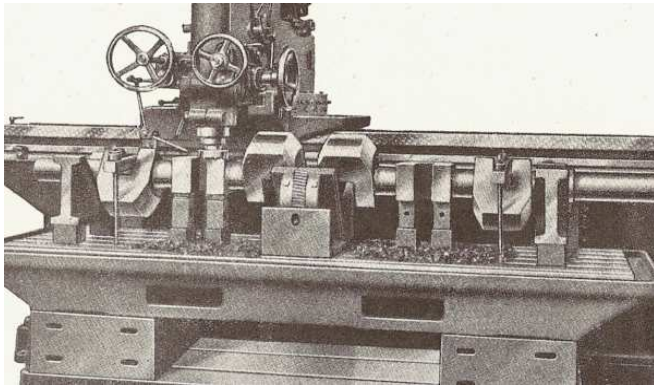
Obr.2.31 Nástroj při obrábění zdvihového čepu [8]

2.2.2 Frézování

Frézování je metodou, která se při obrábění klikových hřídelí používá především v případě obrábění tvarů a stran (boků) ramen. Tvarů ramen tehdy, když si je zákazník přeje hranaté nebo v případě, kdy kulaté tvary již nelze z rozměrových důvodů vyrobít na soustruhu. Předností frézování je možno využít i v případě obrábění ložiskových a klikových čepů u monoblokových hřídelí, jejichž polotovarem je volně kovaný výkovek. Čepy jsou v tomto případě frézováním předobrobena na čtyřhran, šestihran či osmihran. Před soustružením je tak odebráno maximální možné množství materiálu za minimum času. Doba obrábění klikové hřídele je tím pádem oproti samotnému soustružení čepů značně zkrácena.

Pokud bude pro lepší pochopení podoby této metody u konvenčních strojů opět použito srovnání s obráběním malých klikových hřídelí, pak hlavní rozdíl mezi frézováním malých a velkých klikových hřídelí spočívá vedle velikosti strojů především v jejich druhu. Pro frézování malých klikových hřídelí na konvenčních strojích se používá speciálních frézovacích strojů, vykonstruovaných k obrábění strojních částí, jejichž přemísťování by bylo mnohem náročnější než přestavování vřetena. Jedná se o vertikální frézovací stroje s pevným

stolem, které se vyznačují velmi dlouhým stojanem, na jehož vedeních se dle potřeby přestavuje vřeteník. Přestavením vřeteníku se nařídí vřeteno s frézku snadno a rychle k plochám, jež se mají frézovat. Hřídel je na stole uložena v prizmatech a dle potřeby podkládána podložkami pro zvýšení tuhosti soustavy. K přesnému nastavení polohy hřídele vůči nástroji (respektive pevnému stolu), slouží nastavitelné naklápěcí úhlové podložky. V požadované poloze je pak hřídel zafixována upínkami k pevnému stolu (obr.2.32).



Obr.2.32 Vertikální frézovací stroj s pevným stolem [4]



Obr.2.33 Ustavování velké klikové hřídele [16]

Pro frézování velkých klikových hřídelí se z rozměrových důvodů namísto vertikálního frézovacího stroje používá horizontálního frézovacího stroje (obr.2.34). Hřídel je stejně jako v předchozím případě uložena do prizmat, ale navíc je ještě na krajích - závěsech (viz příloha č.6) opásána řetězy, pomocí nichž se s těžkou hřídelí manipuluje. Hřídel je pak dle potřeby jeřábem natáčena, případně posouvána. Snadno tak dochází k nepřesnostem a především k nárůstu prostojů stroje. Část tohoto postupu je patrná z obr.2.33, který sice pochází již z první poloviny minulého století, ale demonstruje tak konvenčnost podoby metody ve vztahu k obráběné součásti. U frézování samotných středních kusů skládaných hřídelí je podoba metody obdobná, liší se pouze upínacími přípravky a rozměry pevného stolu (viz obr.2.34).



Obr.2.34 Horizontální frézovací stroj při obrábění středního kusu [14]

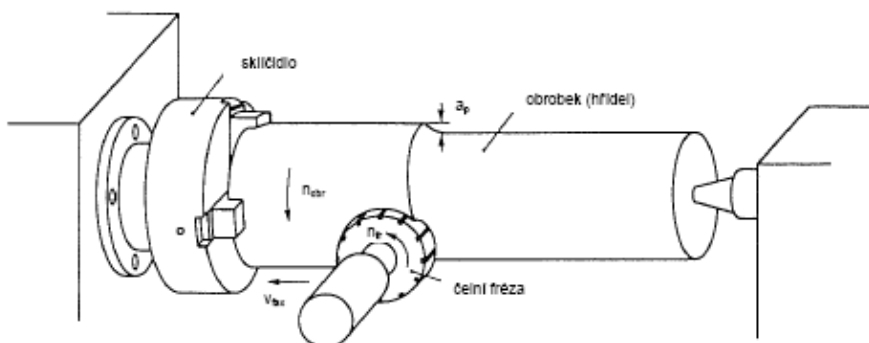
2.3 Používané metody obrábění představitele na NC stroji

K obrábění velkých monoblokových klikových hřídelí na NC strojích, se používá vedle klasických (konvenčních) obráběcích metod - soustružení a frézování (většinou ovšem v odlišných podobách než u konvenčních strojů) i nekonvenční metoda - rotační čelní frézování. Pro tuto skupinu metod byla společností vyvinuta řada speciálních strojů, označovaných jako PC 6, PC 5 a PC 4. Značného významu nabývají převážně v hrubovacích operacích, kdy je dosahováno velkého úběru přebytečného materiálu za značně nižších časů, než při výrobě součástí na strojích konvenčních, navíc při minimálním počtu přepínání součástí. A to zejména díky progresivní metodě rotačního čelního frézování a provázání její podstaty s ostatními konvenčními metodami.

2.3.1 Obecná podoba rotačního čelního frézování

Rotační frézování bylo v principu známo již dříve (např. frézování na poháněném dělicím přístroji). Zásadní zlom však nastal s příchodem moderních číslicových strojů, které jej dokáží aplikovat na širokou škálu typů obráběných součástí. Obecně je tato metoda definována jako frézování zakřivených povrchů při současné rotaci obrobku kolem své osy. Při rotačním čelním frézování nahrazuje rotující čelní fréza soustružnický nůž (obr.2.35). Oproti soustružení však nevzniká řezná rychlost rotací obrobku, ale obvodovou rychlostí frézy. Rotace obrobku tedy zajišťuje posuvovou rychlost po obráběné ploše v závislosti na obráběném poloměru. Rychlost otáčení obrobku je velmi malá, udává se proto ve stupních za minutu a je možno ji vypočítat ze vztahu: [12], [13]

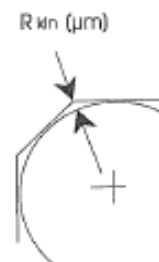
$$v_F = (v_f \cdot 360) / (\pi \cdot d) \quad , \text{ kde: } \quad v_F \dots \text{ pracovní posuvová rychlost } [^\circ / \text{min}]$$
$$v_f \dots \text{ pracovní posuvová rychlost } [\text{mm} / \text{min}]$$
$$d \dots \text{ průměr obrobku (hřídele) } [\text{mm}] \quad [7]$$



Obr.2.35 Obecná podoba rotačního čelního frézování [12]

Výhodou tohoto způsobu obrábění je vedle značného úběru materiálu i vysoká jakost obrobeneho povrchu při obrábění načisto, které však lze dosáhnout pouze přesným nastavením břitů nástroje (viz dále). Někdy lze proto úplně vyloučit dokončovací operaci broušení. Kinematickou drsnost obrobeneho povrchu lze vypočítat dle vztahu na obr.2.36.

$$R_{kin} = 10^3 \times \frac{1 - \cos \frac{\pi}{\lambda \times z}}{\cos \frac{\pi}{\lambda \times z}} \times (r_{obr} - a_p) \quad [\mu m]$$

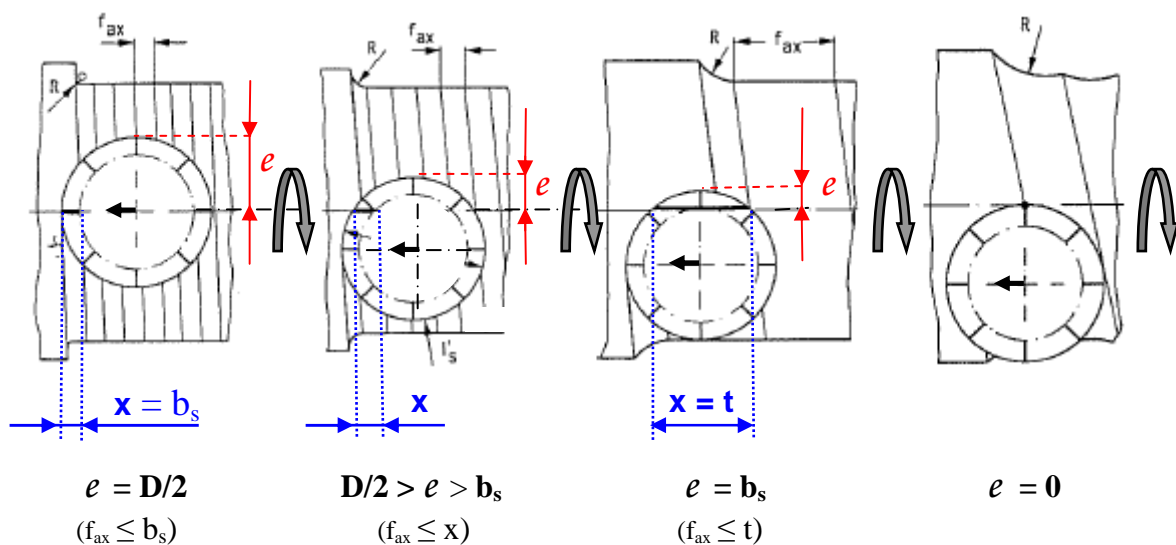


r_{obr} - poloměr obrobeneho povrchu
 a_p - hloubka řezu
 λ - otáčkový poměr (podíl otáček frézy a otáček obrobku)
 z - počet zubů frézy

Obr.2.36 Kinematická drsnost obrobeneho povrchu u rotačního čelního frézování [12]

Změnou polohy frézy vůči ose obrobku (excentrickým posunutím ve směru osy Y) lze docílit:

- rozdílné kolísavosti řezných sil (při $e = D/2$ značně menší kolísavost než při $e = 0$)
- různého tvaru frézované plochy - osazení (zaoblení R - viz obr.2.37)
- různých odchylek tvaru frézované plochy (makrodrsnost) - souvisí s kolísáním řezných sil
- různých velikostí axiální posuvové rychlosti - f_{ax} (během jednoho otočení obrobku může nástroj v axiálním směru urazit dráhu rovnající se velikosti x v závislosti na požadovaném tvaru osazení - viz obr.2.37)
- různých velikostí úběru (produktivita) [12]



Obr.2.37 Znázornění vzájemných závislostí, souvisejících s velikostí excentrického posunutí frézy vůči ose obrobku, kde t = tětiva, b_s = čelní rozměr břitové destičky (viz podkapitola 2.6.2) [12 - vlastní úprava]

2.3.2 Rotační čelní frézování klikových hřídelí

Předchozí způsob obrábění je vhodný především pro dlouhé válcové plochy. V případě obrábění klikových hřídelí je jeho využití v této podobě, znázorněné na obr.2.35 a obr.2.37, mizivé. Neboť nástroj koná posuv jen v axiálním směru (ve směru osy x , souhlasném s osou obrobku) a kliková hřídel je součástí s velkým množstvím nedlouhých válcových ploch (úzké čepy). Tyto plochy lze efektivně obrobit pouze rotačním čelním frézováním s postupným posouváním nástroje v radiálním směru (ve směru osy Y) vůči otáčejícímu se obrobku. Velikostí excentrického posunutí je určena šíře válcové plochy na obrobku a také tvar osazení v rozích čepu (podobně jako u rotačního čelního frézování s posuvem nástroje v axiálním směru). Válcová plocha se totiž vyskytuje pouze na těživě, vznikající průnikem styku válcové plochy čepu a kruhové plochy nástroje. Má-li být dosaženo válcové plochy v šíři rovné průměru nástroje (maximální možné šíři) a zároveň osazení s minimálním možným zaoblením přechodů (osazení s úhlem rohů 90°), je nutno nástroj excentricky posunout až do pozice, kdy se excentrické posunutí rovná právě poloměru nástroje (osa nástroje se nachází v jedné rovině s osou obrobku). Tento mezní stav je v souvislostech schematicky zachycen na obr.2.49 a obr.2.50.



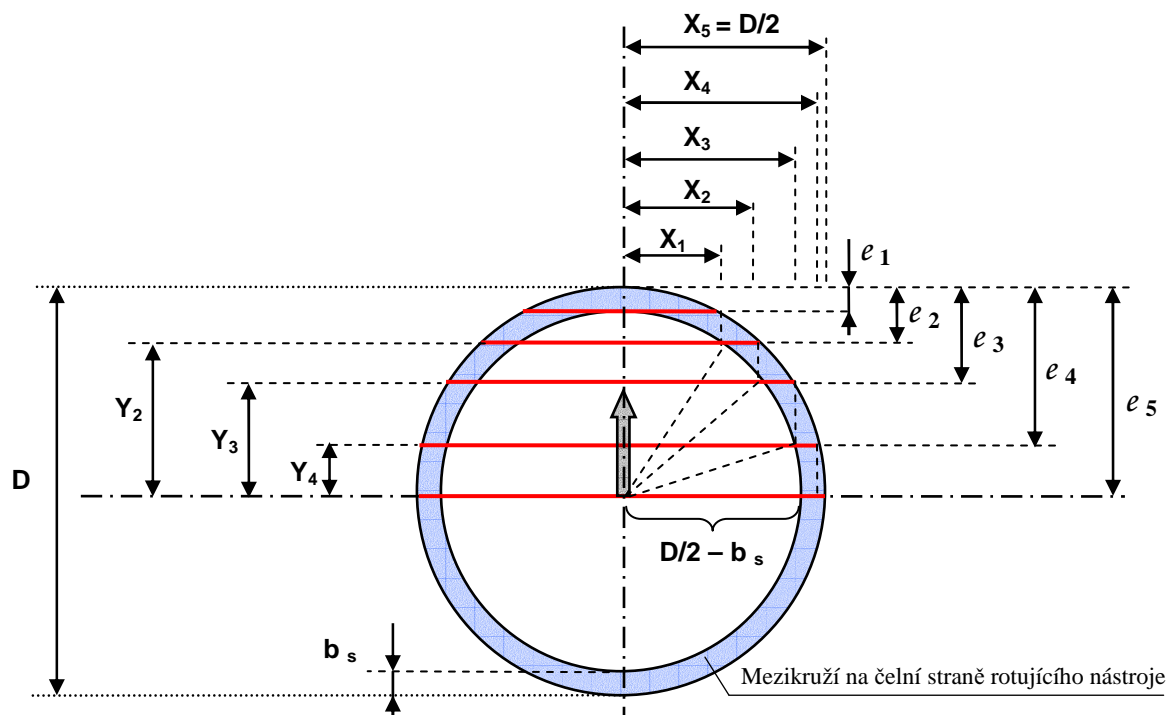
Obr.2.38 Rot. čelní frézování klikového čepu na NC stroji [12] **Obr.2.39** Pohled na frézovací hlavu [12]

V tomto stavu, respektive pozici, je dosaženo maximální délky těživy vzhledem k použitému nástroji. Na tuto pozici ovšem nelze nástrojem najet hned napoprvé, excentrická posunutí musí být postupná (viz obr.2.40, 2.41). A to z důvodu čelního rozměru b_s vyměnitelných břitových destiček, jimiž je nástroj po svém obvodu osazen. Destičky totiž omezují kruhovou plochu tím, že během rotace nástroje opisují mezikruží a ne celý kruh. Nástroj však není možno osadit destičkami až ke středu, neboť je tam nulová řezná rychlost.

Možno usoudit, že čím větší bude rozměr destiček b_s , tím menší bude počet excentrických posunutí. Ovšem čím větší rozměr b_s , tím také rozdílnější řezná rychlost na průměrech ohraničujících mezikruží. Velikost a počet excentrických posunutí nástroje vůči obrobku je pro daný průměr nástroje a daný rozměr b_s vyměnitelné břitové destičky možno matematicky vypočítat, a to převážně se znalostí Pythagorovy věty, dle obr.2.41.



Obr.2.40 Závislost šířky záběru (šířky válcové plochy na obrobku) a počtu excentrických posunutí nástroje na čelním rozměru b_s vyměnitelné břitové destičky [13]



Obr.2.41 Velikosti excentrických posunutí nástroje a šířka válcové plochy v závislosti na parametrech D a b_s

Poznámka: U břitových destiček se zaoblenými rohy: $D = D_c - 2 r_e$

Výpočty velikostí a počtu excentrických posunutí nástroje

$$e_1 = b_s$$

$$e_2 = D/2 - Y_2 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - X_1^2]^{1/2} = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_1(D - e_1)]^{1/2}$$

$$e_3 = D/2 - Y_3 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - X_2^2]^{1/2} = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_2(D - e_2)]^{1/2}$$

$$e_4 = D/2 - Y_4 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - X_3^2]^{1/2} = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_3(D - e_3)]^{1/2}$$

$$e_5 = D/2$$

X₁ = ?

$$\begin{aligned} X_1^2 &= (D/2)^2 - (D/2 - b_s)^2 = (D/2)^2 - (D/2 - e_1)^2 = (D/2)^2 - [(D/2)^2 - 2e_1D/2 + e_1^2] \\ &= 2e_1D/2 - e_1^2 = e_1D - e_1^2 = e_1(D - e_1) \end{aligned}$$

$$X_1 = [e_1(D - e_1)]^{1/2}$$

Analogicky:

$$X_2 = [e_2(D - e_2)]^{1/2}$$

$$X_3 = [e_3(D - e_3)]^{1/2}$$

$$X_4 = [e_4(D - e_4)]^{1/2}$$

Obecně:

$$e_x = b_s$$

$$e_{x+1} = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_x(D - e_x)]^{1/2}$$

$$e_{x+2} = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_{x+1}(D - e_{x+1})]^{1/2}$$

$$e_n = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_{n-1}(D - e_{n-1})]^{1/2}$$

Jak již bylo řečeno, k obrábění metodou rotačního čelního frézování na NC strojích se používají čelní frézy, označované též jako frézovací hlavy, s vyměnitelnými břitovými destičkami po obvodě. Během řezu však dochází k úběru materiálu jak čelem, tak obvodem nástroje. Nástroj je tedy konstruován jak pro čelní, tak pro obvodový úběr materiálu (obr.2.42-2.44). Důležitým parametrem, ovlivňujícím kvalitu obrobené plochy, je i počet destiček po obvodě nástroje. Tento počet se odvíjí od typu operace. Pro hrubovací operace jsou používány frézovací hlavy s větším počtem vyměnitelných břitových destiček, zatímco k dokončovacím operacím jsou používány frézovací hlavy s menším počtem destiček. Rozdíl v počtu destiček mezi hrubovacími a dokončovacími operacemi je způsoben rozdílným požadavkem na válcovitost obráběné plochy. U dokončovacích operací je požadována válcová plocha s minimální možnou odchylkou od ideální válcové plochy, a proto je výhodné použít menší počet destiček (respektive zubů) na nástroji, což vyplývá z empirického vztahu pro výpočet kinematické drsnosti obráběné plochy, uvedeného na obr.2.36. Nejdůležitější je však destičky velmi přesně seřadit, aby bylo dosaženo co nejpřesnější válcové plochy a docházelo tak ke

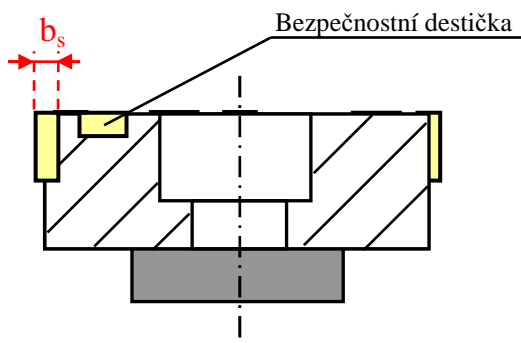
kopírování stejného povrchu všemi destičkami - nulový úhel na čele (viz obr.2.46). U hrubovacích operací nemusí být seřízení destiček tak přesné, mohou být i mírně vychýlené. Nástroje bývají ve většině případů navíc doplněny o bezpečnostní destičky. Dokončovací nástroje pro případ, že by došlo k překročení hloubky řezu a hrubovací nástroje pro případ, že by došlo k překročení velikosti excentrického posunutí nástroje.



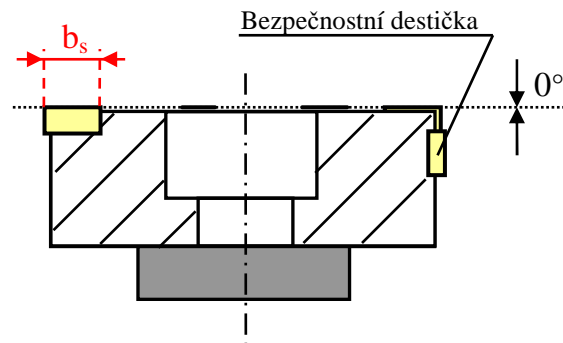
Obr.2.42 Hrubovací nástroj [15]



Obr.2.43, Obr.2.44 Dokončovací nástroj s více a méně destičkami [15]



Obr.2.45 Bezpečnostní destička u hrubovacího nástroje



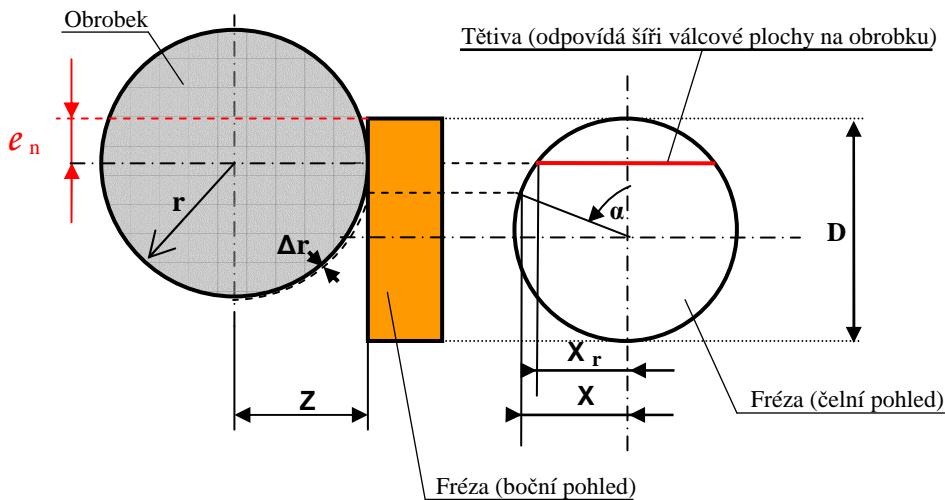
Obr.2.46 Bezpečnostní destička u dokončovacího nástroje

Jako zajímavost lze uvést, že ve společnosti ŠKODA MACHINE TOOL byla prováděna řada zkoušek drsnosti pro různé nástroje. Například při použití nástrojů od firmy INGERSOLL bylo dosaženo drsnosti až $R_a = 0,07 \mu\text{m}$.

Tab.1 Podmínky zkoušky drsnosti pro frézu INGERSOLL ($\varnothing 125 \text{ mm}$) [7]

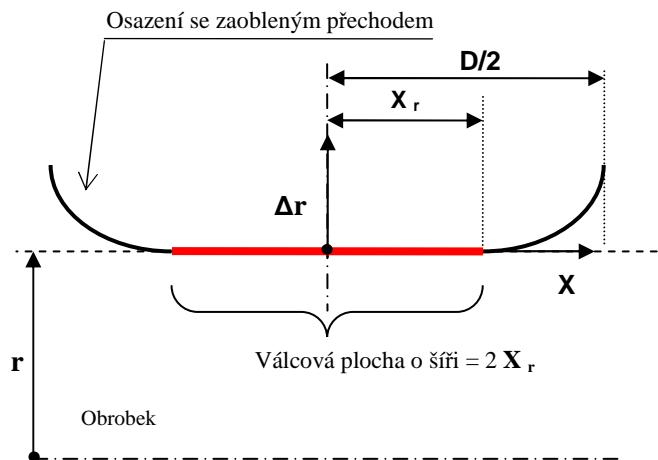
Řezné podmínky	Číselné hodnoty
Řezná rychlost - v_c	590 m/min
Otáčky nástroje - n	1 500 min^{-1}
Posuv na zub - f_z	1 mm
Dosahovaná drsnost - R_a	0,07 – 1,00 μm

Znázornění a odvození závislosti tvaru osazení čepu na excentrickém posunutí nástroje



Obr.2.47 Rotační čelní frézování čepu s excentrickým posunutím nástroje $e_n < D/2$

$$X = D/2 \sin \alpha \quad \Delta r = [Z^2 + (D/2 - e_n - D/2 \cos \alpha)^2]^{1/2} - Z \quad [7]$$



Obr.2.48 Pohled na obráběný čep z profilu

e_n - n-té excentrické posunutí nástroje (v ose Y)

r - poloměr obráběné válcové plochy (hodnota r je dosažena pouze na těživě)

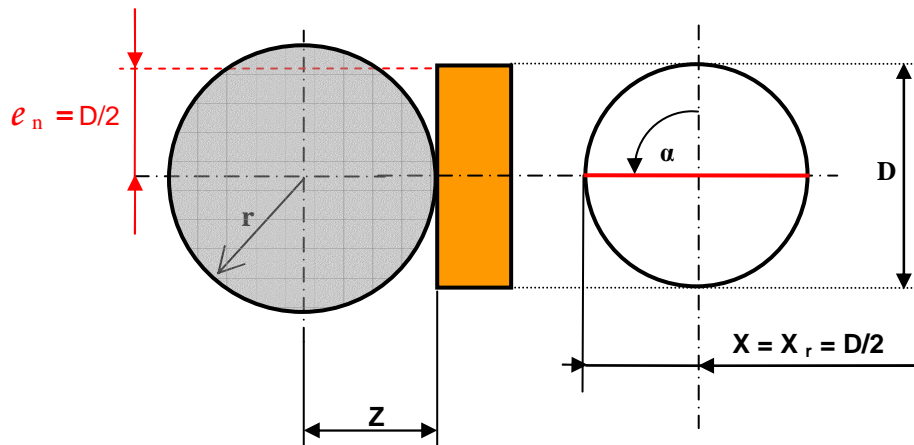
X_r - poloha krajního bodu tětivy (v ose X), kde je ještě dosaženo válcové plochy

X - poloha obecného bodu (v ose X)

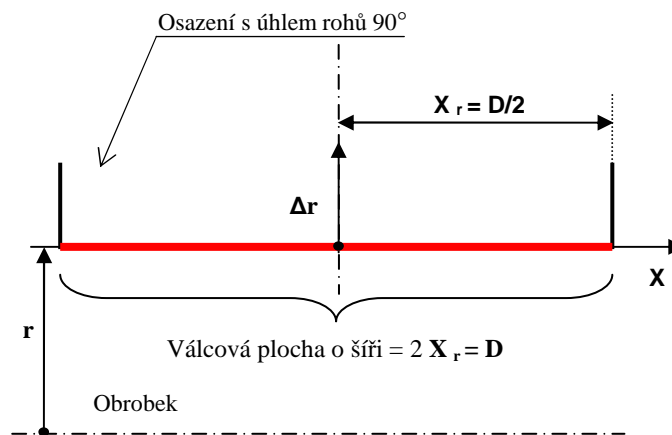
α - pomocný úhel

Z - pracovní poloha nástroje (v ose Z)

Δr - rozdíl mezi skutečným poloměrem a pracovní polohou nástroje



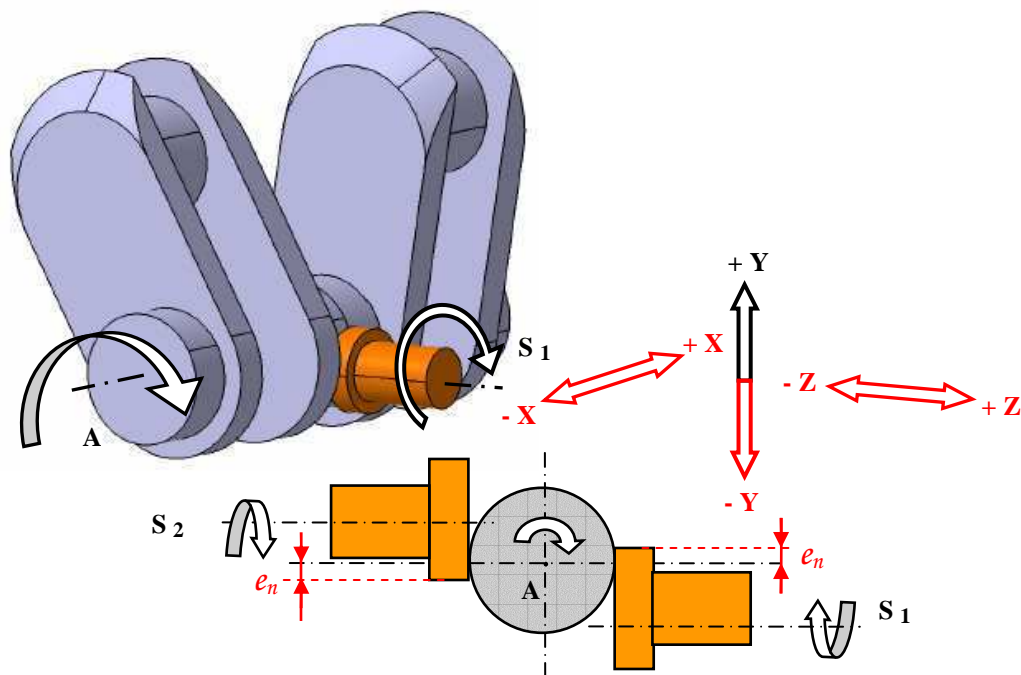
Obr.2.49 Rotační čelní frézování čepu s excentrickým posunutím nástroje $e_n = D/2$



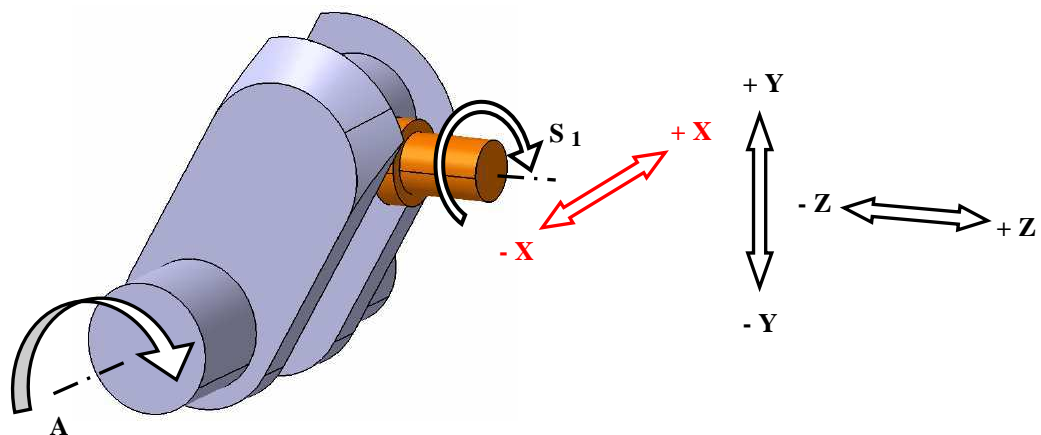
Obr.2.50 Pohled na obráběný čep z profilu

Čepy jsou tedy obráběny postupem, jenž je autorem práce vyjádřen (z důvodu úspornějšího vysvětlení souvislostí) ve formě vývojového diagramu v příloze č.1. Jedná se o postup odpovídající úběru jednoho řezu (hloubky záběru - a_p) při jednom průchodu nástroje (úzký čep). Pro úběr dalších řezů se postup opakuje až do splnění hodnot předepsaných technologickým postupem pro daný úsek operace. Jestli-že je třeba čep obrobít na více průchodů (závislé na průměru použitého nástroje a požadované šířce čepu), je nutno nástroj po radiálním vyjetí z řezu (po ukončení postupu znázorněného vývojovým diagramem) posunout o žádanou hodnotu v axiálním směru (ve směru osy X) a opakovat předchozí postup znázorněný vývojovým diagramem. Zásadní rozdíl mezi obráběním hlavních (ložiskových) a klikových (zdvihových) čepů je v pohybu nástroje prostorem (respektive v pohybu vřeteníku obráběcí věže) během obrábění čepu. Tento rozdíl je znázorněn na obr.2.51 a obr.2.52. U obrábění jak hlavního, tak i klikového čepu, slouží osa X pouze k nastavení pozice nástroje před najetím do řezu, během obrábění čepu se nástroj v ose X nepohybuje (proto červená

barva šipky). Osa Y je při obrábění hlavního čepu využívána jen v kladném směru (z pozice vřetene S1) - černá šipka, v záporném směru slouží opět pouze k nastavení požadované pozice nástroje před najetím do řezu (červená šipka). Také osa Z je stejně jako osa X (v kladném i záporném směru) využívána pouze k nastavení pozice nástroje před najetím do řezu (červené šipky), během obrábění se hodnota její souřadnice nemění. Při obrábění klikového čepu jsou současně využívány osy Y a Z, neboť se zde nástroj pohybuje za obráběným čepem (kruhová interpolace v těchto osách).

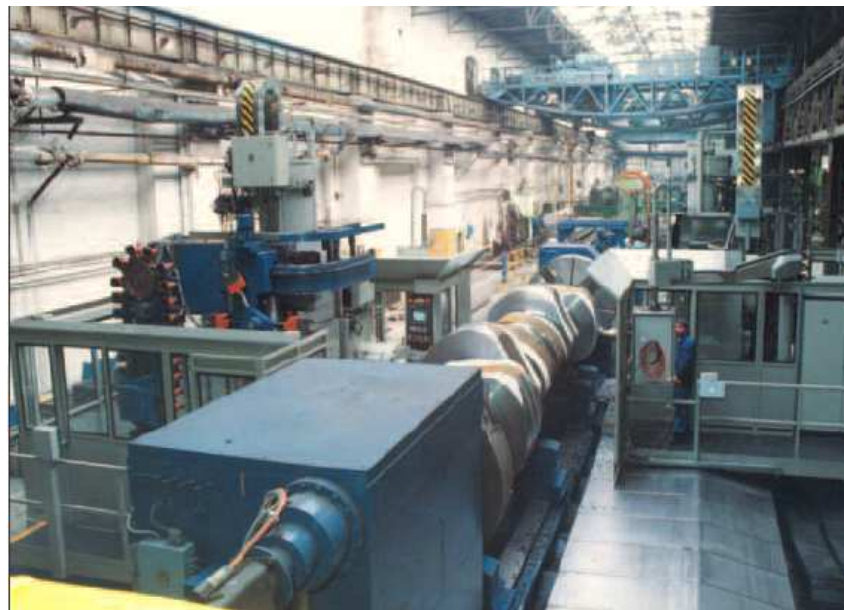


Obr.2.51 Znázornění pohybů vykonávaných nástrojem (respektive vřetenem obráběcí věže) a obrobkem (respektive hlavním vřetenem stroje) v prostoru, při čelním rotačním frézování hlavních (ložiskových) čepů, dole pak profilová pozice při obrábění oběma vřeteny obráběcích věží najednou



Obr.2.52 Znázornění pohybů vykonávaných nástrojem (respektive vřetenem obráběcí věže) a obrobkem (respektive hlavním vřetenem stroje) v prostoru, při čelním rotačním frézování klikových (zdvihových) čepů

NC stroje typu PC 6 a PC 5 jsou z hlediska technického popisu téměř totožné. Liší se pouze v některých technických parametrech (viz příloha č.2 a č.3). Tyto stroje jsou určeny k hrubování klikových hřídelí do maximálního oběžného průměru 1 800 mm a délce maximálně 19 000 mm. Stroj typu PC 6 je určen pro 1. hrubování, kdy se obrábí s přírůstkem 25 mm na obráběnou plochu. Tento přírůstek je nutný, neboť po 1. hrubování následuje tepelné zpracování, kdy může dojít k určitým deformacím. Stroj typu PC 5 je určen pro 2. hrubování, jež následuje po tepelném zpracování, v tomto případě se obrábí s přírůstkem 5 mm na obráběnou plochu.

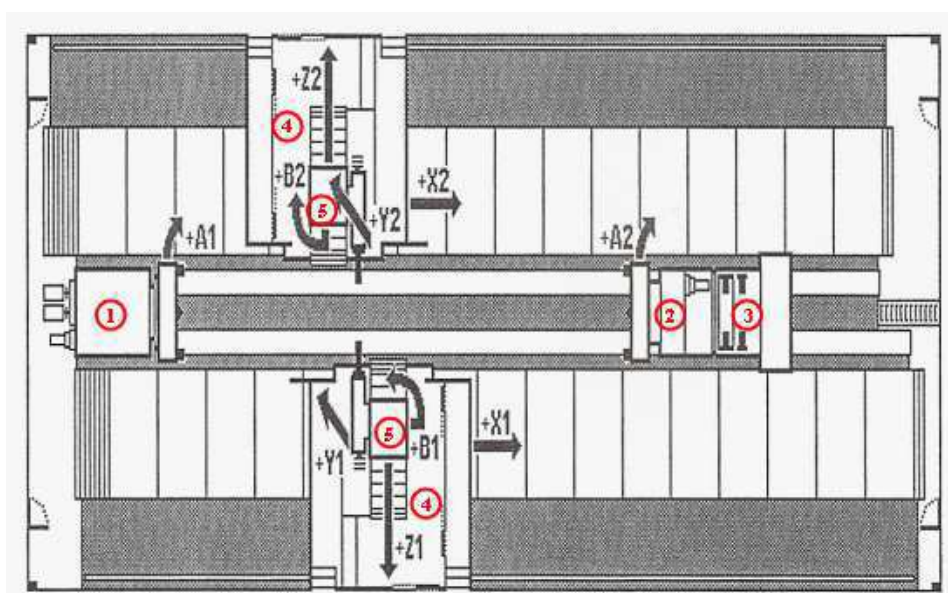


Obr.2.53 Speciální NC stroj typu PC 6 [8]



Obr.2.54 Speciální NC stroj typu PC 5 [12]

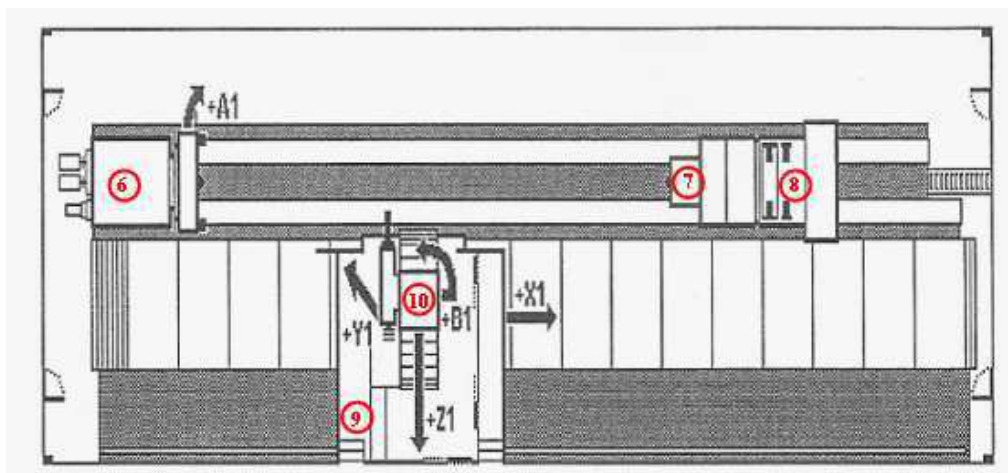
Spodní část stroje tvoří dvě třídráhová lože, která jsou ustavena na základu (symetricky vůči ose obrobku). Lože jsou z vnější strany doplněna pomocnou drahou. Na levé straně je na obou ložích upevněn spodek vřeteníku, jež nese vřeteník (1) s lícní deskou. Vřeteník je vybaven dvojím pohonem upínací desky. Jeden (hlavní) pohon je určen pro soustružnické operace, druhý (vedlejší) je určen pro frézovací operace (pohon A-osy sloužící k natáčení hřídele). Na pravé straně obou loží jsou posuvně uloženy saně posuvného vřeteníku (2) s lícní deskou. Vřeteník je vybaven pohonem A-osy, synchronně pracuje s pohonem A-osy pevného vřeteníku (synchronní otáčky obou vřeten). Saně posuvného vřeteníku jsou spojeny s rámem stojanu (3), který je kluzně uložen na loži. Do stojanu je z obou stran odkládáno technologické příslušenství. Na rámu je instalován hydraulický agregát, jež napájí všechny funkce hydrostatiky i hydrauliky posuvného vřeteníku. Zároveň je k agregátu připevněna chladnička pro tepelnou stabilizaci vřeteníku. Po dvou drahách lože a pomocné dráze u obou loží (zdvojené pracoviště) se hydrostaticky posouvají (v ose X) podélné saně (4). Saně jsou poháněné dvoupastorkovou skříní a AC-servomotorem. Na těchto (podélných) saních jsou hydrostaticky uloženy příčné saně (5) pro posuv v ose Z, ten je zajištěn kuličkovým šroubem a AC-servomotorem. Příčné saně nesou obráběcí věže (modul 1 500), ty jsou složeny z kotevní desky (upevněna na příčných saních), do níž je zakotven sloup, který nese natáčivě uložený stojan. Na stojanu se nachází svisle přestavitelné saně (pro pohyb v ose Y) s frézovacím vřeteníkem. Ke stojanu je ještě připevněn řetězový zásobník nástrojů, chapač, vozík a příčka automatické výměny nástrojů. Na vřeteník se automaticky upíná nástavec pro uchycení soustružnických nástrojů.



Obr.2.55 Schématické znázornění NC stroje typu PC6 (PC5) [7-vlastní úprava]

K ovládání stroje slouží ovládací panel, jež je obsluhou ovládán z plošiny zakotvené spolu s plošinou automatické výměny nástrojů na saních a zároveň pomocně opřené o kolejnici přes pojezdová kola. Eliminaci průhybu hřídele zajišťuje 6 kusů po loži přestavitelných opěr. Základem opěry je spodek opěry, který se motoricky přestavuje po loži (záběrem pastorku do hřebenu v loži). Ze spodku opěry se motoricky vysouvá pinola s podpěrnými kladkami nebo kluznými opěrkami pro obrobek. Nastavené polohy se automaticky zpevní. Mezi oběma loži je v základu instalován dopravník třísek.

NC stroj typu PC 4 je určen k obrábění načisto (s přídávky pro dokončovací operace nebo bez přídávků) předem ohrubovaných klikových hřídelí do maximálního oběžného průměru 1 800 mm a délce maximálně 14 000 mm. Spodní část stroje tvoří čtyřdráhové lože, které je doplněno o pomocnou dráhu. Na levé straně lože je upevněn spodek vřeteníku, jež nese vřeteník (6) s lícní deskou. Vřeteník je opět vybaven dvojím pohonem upínací desky (pro soustružnické nebo frézovací operace). Na pravé straně lože (proti vřeteníku) je posuvně uložen spodek koníku, který nese koník (7). Na loži za koníkem je ustavena rámová konstrukce (8), nesoucí závěsy pro odkládání technologického příslušenství a držák měřicí kostky (sloužící ke kalibraci měřicí sondy Renishaw). Na předních dvou drahách lože a na pomocné dráze se hydrostaticky posouvají (v ose X) podélné saně (9). Saně jsou poháněné dvoupastorkovou skříní a AC-servomotorem. Na podélných saních jsou hydrostaticky uloženy příčné saně (10), sloužící k posuvu v ose Z. Posuv je zajištěn AC-servomotorem přes kuličkový šroub. Příčné saně nesou obráběcí věž (modul MTS 1 500), skládající se z kotevní desky a do ní zakotveného sloupu, jež nese natáčivě uložený stojan. Na stojanu jsou z jedné strany svisle přestavitelné saně s frézovacím vřeteníkem a z druhé strany je upevněn držák pro výsuvnou lamelu.

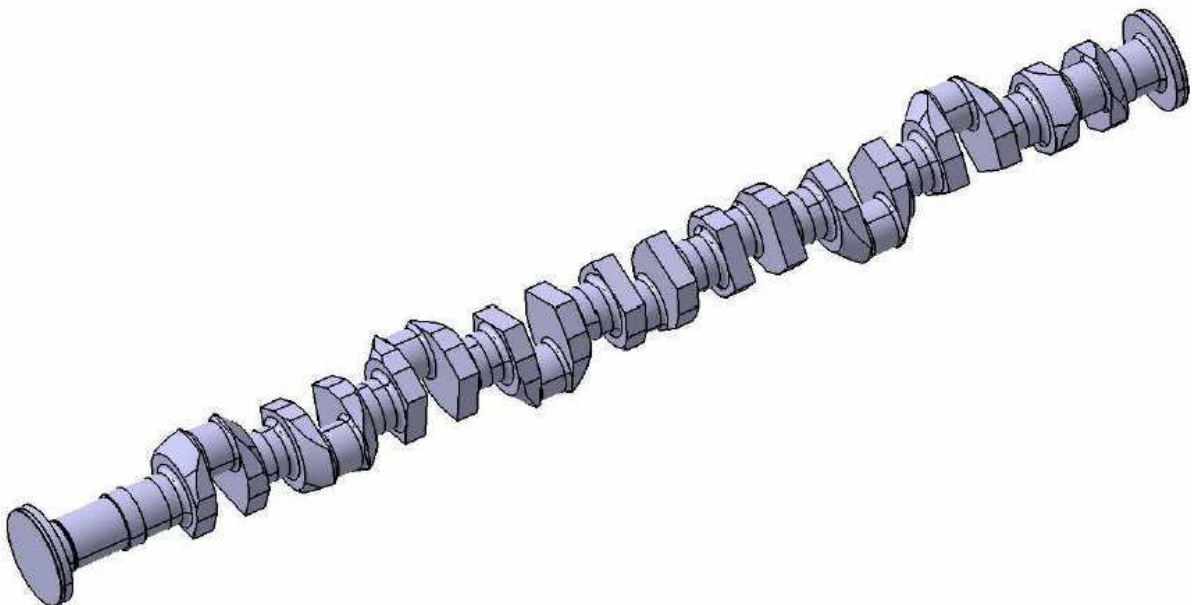


Obr.2.56 Schématické znázornění NC stroje typu PC4 [7-vlastní úprava]

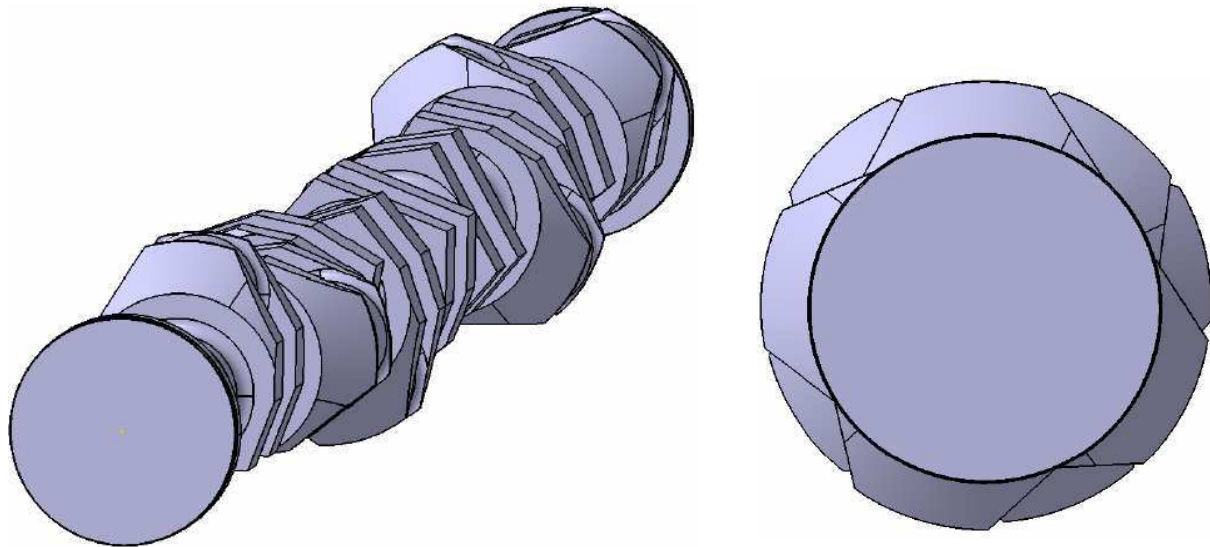
Výsuvná lamela slouží stejně jako u konvenčního univerzálního hrotového soustruhu k soustružení hlavních (ložiskových) čepů. Používají se dvě lamely s rozdílnou šířkou, jejichž výměna je mechanická. Na stojanu je též umístěn řetězový zásobník nástrojů, chapač, vozík a příčka automatické výměny nástrojů (IQV 60/C10). K ovládní stroje slouží ovládací panel, jež je obsluhou ovládán z plošiny zakotvené spolu s plošinou automatické výměny nástrojů na saních a zároveň pomocně opřené o kolejnici přes pojezdová kola (stejně jako u PC 5, PC 6). Eliminaci průhybu hřídele zajišťuje 7 kusů po loži přestavitelných opěr. Spodek opěry se motoricky přestavuje po loži záběrem pastorku do hřebenu v loži. Vrchní část opěry má dvě přestavitelné polohy ovládané hydraulickým válcem. Horní část opěry lze sejmut jeřábem. Podél lože je v základu instalován dopravník třísek.

2.4 Konkrétní podoba vybraného představitele pro účely práce

Za představitele, sloužícího k demonstraci uváděných obráběcích metod - jejich progresivity a zároveň sloužícího jako výchozí bod pro řešení práce, byla zvolena konkrétní kliková hřídel, uvedená na výkrese v příloze č.11. Dle výkresu je pro bližší představu tato součást vymodelována řešitelem práce v softwaru CATIA V5R19 (obr.2.57, 2.58).



Obr.2.57 Model hřídele dle výkresu v příloze č.11



Obr.2.58 Model hřídele z jiných úhlů pohledu

Její stručná charakteristika je následující. Jedná se o devětkrát zalomenou monoblokovou hřídel s poloměrem kliky 320 mm a délkou $10\,518,5 \pm 0,5$ mm. Polotovarem je volně kovaný výkovek (čepy o průměru cca 1 000 mm). Materiálem polotovaru je nízkolegovaná ušlechtilá chrom-molybdenová ocel 42CrMo4 (podle ČSN EN 10 083-3: 2007 a DIN 17 200) nebo-li ocel 15 142 (dle ČSN), určená k zušlechťování, aplikovaná na výše namáhané strojní součásti. Po zušlechtění dosahuje součást tvrdosti přibližně 58 HRC. Součást má být dle výkresu zušlechtěna na hodnotu meze pevnosti min. 785 - 930 MPa, hodnotu meze kluzu min. 590 MPa, hodnotu tažnosti min. 15 % (při $L = 5d$), hodnotu kontrakce min. 50 % a hodnotu nárazové práce (ISO - U zkouška) min. 25 J. Čepy nejsou povrchově tvrzeny.

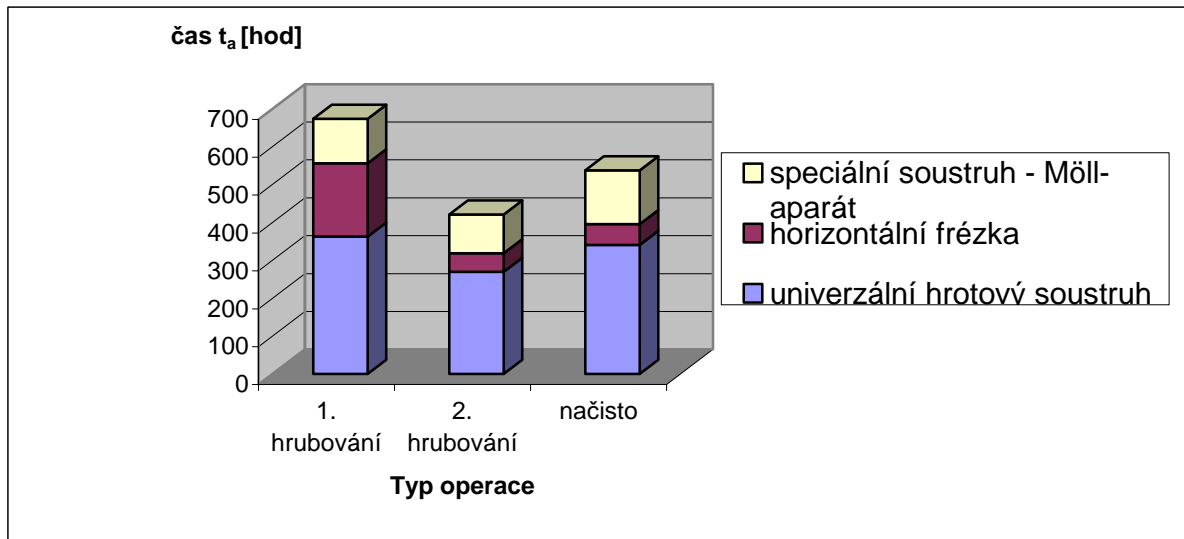
Dle charakteristiky součásti, údajů na výkrese a vlastností materiálu 42CrMo4 (příloha č.7) lze předpokládat, že 1. hrubování probíhá ve stavu žíhaném na měkko, zaručujícím lepší obrobiteľnost materiálu a 2. hrubování ve stavu zušlechtěném, kdy je součást po 1. hrubování kalena a následně popouštěna za vyšších teplot, čímž je v konečném důsledku dosaženo předepsaných mechanických vlastností z hlediska požadované funkce součásti (vysoká hodnota pevnosti při značné plasticitě a houževnatosti), avšak je tím vedle toho dosaženo také zhoršené obrobiteľnosti zušlechtěného materiálu z důvodu vzniklé sorbitické struktury.

2.5 Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na konvenčních strojích

Výrobní postup se strojními časy jednotlivých operací (vztahující se k součásti na výkresu v příloze č.11), vychází z technologické studie (na základě výpočtů) podnikových technologií pro dřívější účely společnosti (tato studie byla prováděna pro variantu hranatých tvarů ramen hřídele a proto je i tato práce v dalších částech zaměřena právě na hranatý tvar ramen). Tento postup zde slouží především jako vhodný orientační prvek při porovnávání rozdílů (progresivity) mezi metodami realizovanými na konvenčních a NC strojích, a také pro lepší pochopení vzájemných souvislostí. Postup neobsahuje vedlejší časy (upínání obrobku, nastavení a přestavení opěr, výměnu nástrojů, apod.) neboť jsou závislé od obsluhy stroje.

Tab.2 Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na konvenčních strojích

Operace	Pracoviště	Čas t_a [hod]	Typ operace
1. Soustružit ložiskové části (včetně koncových čepů a přírub na pravé a levé straně)	Univerzální hrotový soustruh	363	1. hrubování
2. Frézovat zdvihové čepy na čtyřhran, frézovat strany a tvary ramen	Horizontální frézka	193,5	
3. Soustružit zdvihové čepy	Speciální soustruh Möll-aparát	117	
4. Tepelné zpracování			technologické operace
5. Zkoušení materiálu			
6. Soustružit ložiskové části (včetně koncových čepů a přírub na pravé a levé straně) a jejich rádiusové přechody	Univerzální hrotový soustruh	270	2. hrubování
7. Frézovat strany a tvary ramen	Horizontální frézka	48,4	
8. Soustružit zdvihové čepy a jejich rádiusové přechody	Speciální soustruh Möll-aparát	102,3	
9. Soustružit ložiskové části (včetně koncových čepů a přírub na pravé a levé straně) a jejich rádiusové přechody	Univerzální hrotový soustruh	340,8	načisto
10. Frézovat strany a tvary ramen	Horizontální frézka	55,1	
11. Soustružit zdvihové čepy a jejich rádiusové přechody	Speciální soustruh Möll-aparát	141,7	
Celkem		1631,8	



Obr.2.59 Graf: Podíl jednotlivých strojů na obrábění představitele

2.6 Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na NC strojích

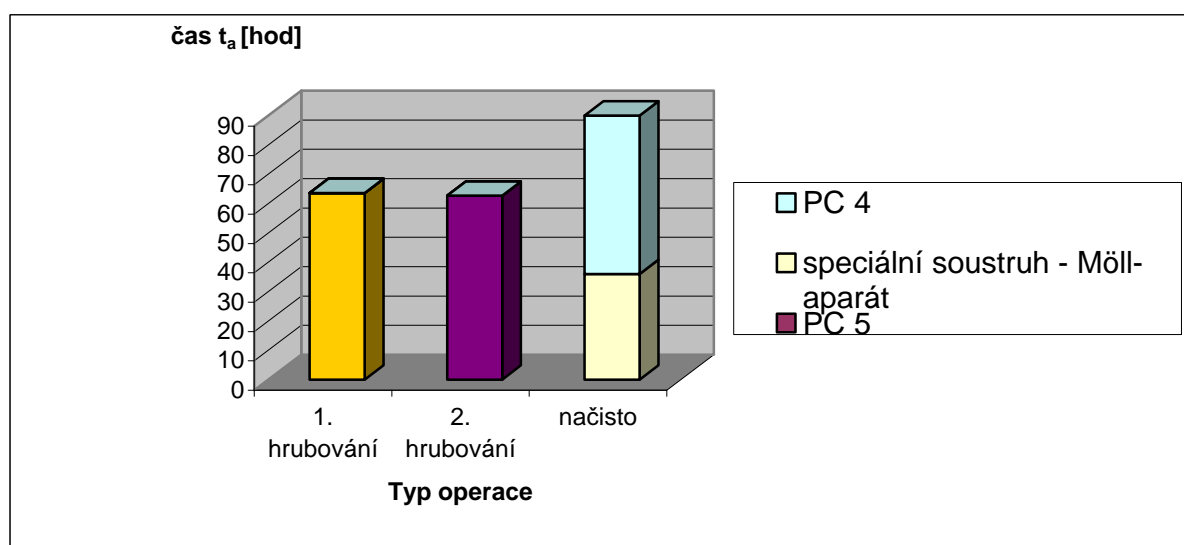
Výrobní postup se strojními časy jednotlivých úkonů (vztahující se opět k součásti na výkresu v příloze č.11), vychází z časové studie, během které byly časy měřeny při obrábění součásti na jednotlivých pracovištích. Postup opět neobsahuje vedlejší časy.

Tab.3 Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na NC strojích

Úkon (* - operace)	Pracoviště	Čas t_a [hod]	Typ operace
1. Rotačně frézovat ložiskové čepy mezi zdvihy (včetně rádiusových přechodů dokulata)	PC 6	13,5	1. hrubování
2. Frézovat plochy pro protizávaží	PC 6	5,1	
3. Rotačně frézovat zdvihové čepy (včetně rádiusových přechodů dokulata)	PC 6	16,2	
4. Frézovat tvar ramen	PC 6	15,6	
5. Frézovat vnitřní a vnější strany ramen	PC 6	4,2	
6. Rotačně frézovat koncové čepy, závěsy a příruby	PC 6	9	
7. Tepelné zpracování *			technologické

			operace
8. Zkoušení materiálu *			
9. Rotačně zafrézovat lůžka pro podpěry na všech ložiskových čepích	PC 5	2,4	2. hrubování
10. Frézovat tvar ramen	PC 5	3,6	
11. Rotačně frézovat rádiusový povrch ramen	PC 5	0,9	
12. Rotačně frézovat úkosy ramen (schodovitě)	PC 5	4,2	
13. Frézovat boky ramen ložiskových čepů	PC 5	3,6	
14. Frézovat boky ramen zdvihových čepů	PC 5	18,9	
15. Rotačně frézovat zdvihové čepy	PC 5	4,2	
16. Rotačně frézovat ložiskové čepy	PC 5	4,7	
17. Frézovat podpichy na zdvihových čepích	PC 5	7,2	
18. Frézovat podpichy na ložiskových čepích	PC 5	8,4	
19. Rotačně frézovat levý koncový čep	PC 5	1,7	
20. Soustružit levý koncový čep (včetně přírub)	PC 5	0,7	
21. Soustružit čelo pravé příruby	PC 5	1,1	
22. Soustružit čelo levé příruby	PC 5	1,1	
23. Rotačně zafrézovat lůžka pro podpěry na všech ložiskových čepích	PC 4	2,3	načisto
24. Frézovat vnitřní a vnější strany ramen	PC 4	14,7	
25. Rotačně frézovat zdvihové čepy (s přídavkem 0,2 mm pro rotační frézování)	PC 4	6	
26. Frézovat podpichy na zdvihových čepích (hrubování)	PC 4	13,5	
27. Soustružit podpichy na zdvihových čepích	Speciální soustruh Möll-aparát	36	
28. Rotačně frézovat zdvihové čepy (s přídavkem pro broušení)	PC 4	3	
29. Rotačně frézovat ložiskové čepy (s přídavkem 0,2 mm pro rotační frézování)	PC 4	6	
30. Soustružit podpichy na ložiskových čepích	PC 4	3,6	

31. Rotačně frézovat ložiskové čepy (s přídavkem pro broušení)	PC 4	3	načisto
32. Soustružit levý koncový čep	PC 4	0,7	
33. Soustružit pravý koncový čep	PC 4	0,4	
34. Soustružit čelo pravé příruby	PC 4	0,4	
35. Soustružit čelo levé příruby	PC 4	0,4	
Celkem		216,3	



Obr.2.60 Graf - Podíl jednotlivých strojů na obrábění představitele

Poznámka: Předposlední obráběcí operací na klikové hřídeli je vrtání. Vrtají se mazací otvory v čepch (viz podkapitola 2.1.4 a výkres v příloze č.11).

Poslední obráběcí operací je pak broušení. Brousí se ložiskové a klikové čepy (viz podkapitola 2.1.4 a výkres v příloze č.11).

Výrobou těchto speciálních strojů na vrtání a broušení klikových hřídelí se však společnost nezabývá a proto zde nejsou uváděny.

2.7 Současný stav obrábění představitele z hlediska možného prostoru pro jiná řešení

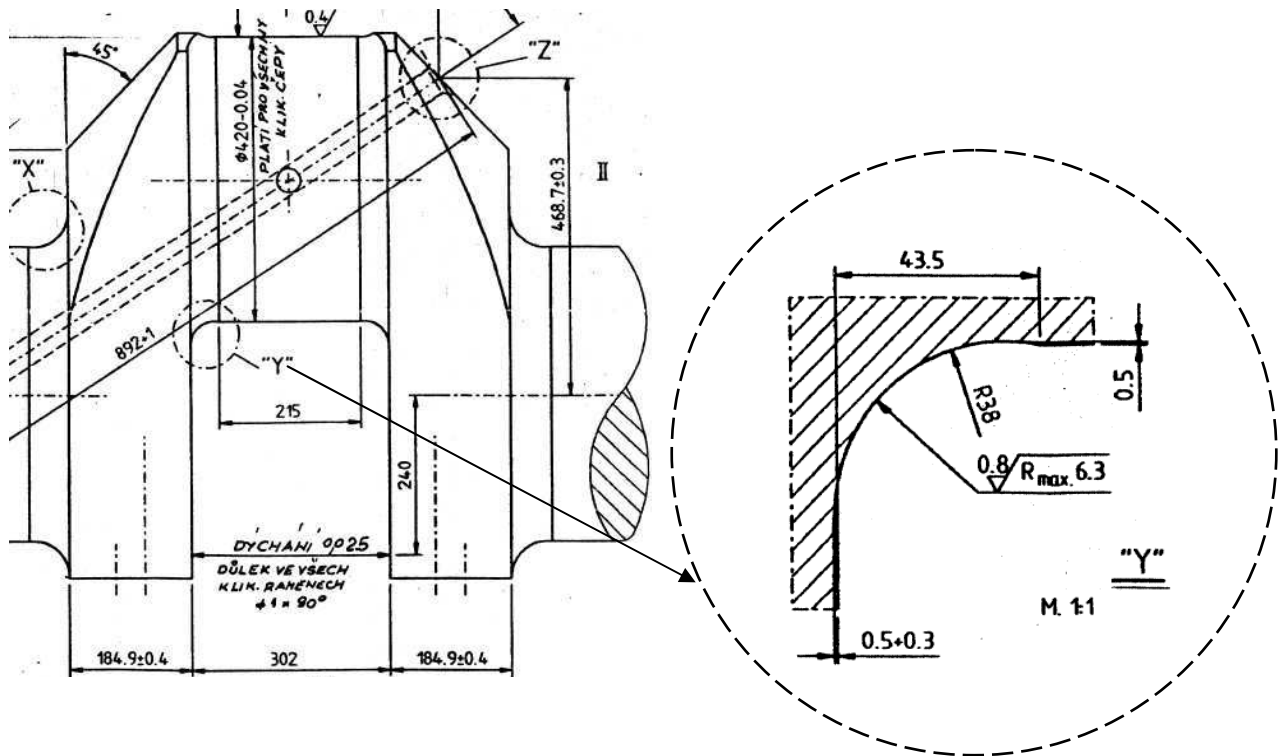
Z předchozího jasně vyplývá, že nasazení speciálních NC strojů (PC 6, PC 5 a PC 4), umožňujících obrábění několika metodami na jednom stroji, velmi značně zkracuje strojní časy obrábění představitele. Z devíti obráběcích operací, realizovaných na třech konvenčních strojích, je výrobní postup zúžen do pěti obráběcích operací, realizovaných na celkem čtyřech strojích (jednom konvenčním a třech speciálních NC strojích). Zkrácení vedlejších časů zde nelze přímo vyčíslit, ale nepochybně a logicky vzhledem k nižšímu počtu přepínání součástí jsou také tyto časy i přes různou obsluhu strojů značně zkráceny. Je patrné, že hledání nějakého progresivnějšího řešení obrábění představitele na speciálních NC strojích, je na první pohled velmi obtížné, neboť jsou tyto stroje vyvinuty právě pro určitou podobu metod obrábění představitele tak, aby bylo dosaženo maximální možné produktivity.

Možný prostor pro využití progresivnějších řešení obrábění by se však mohl naskýtat u obrábění rádiusových přechodů na zdvihových čepích (viz předešlý výrobní postup), jež jsou v praxi nazývány „podpichy“. K jejich obrábění načisto se i při nasazení speciálních NC strojů stále používá speciálního soustruhu - Möll-aparátu, přestože metoda rotačního čelního frézování čepů klikových hřídelí umožňuje vytvoření rádiusových přechodů mezi rameny a čepy hřídelí (viz obr.2.48). Vystává zde tedy otázka, zda by nešlo obrobit tuto tvarovou plochu i jiným - progresivnějším řešením, než je právě soustružení na Möll-aparátu. Pokud by bylo možno nějakým řešením, realizovaným na NC stroji (konkrétně PC 4), tuto plochu v požadovaných parametrech také obrobit, mohl by být Möll-aparát z dosavadního výrobního postupu odstraněn. Logicky by tím pádem zmizely vedlejší časy, spojené s upínáním a vyrovnáváním součástí na Möll-aparátu, dále časy manipulace se součástí mezi pracovišti (PC 4 a Möll-aparátem) a také vedlejší časy spojené s opětovným upínáním a vyrovnáváním součástí na PC 4. V nejlepším možném případě by mohlo nové řešení přinést i snížení strojního času obrábění.

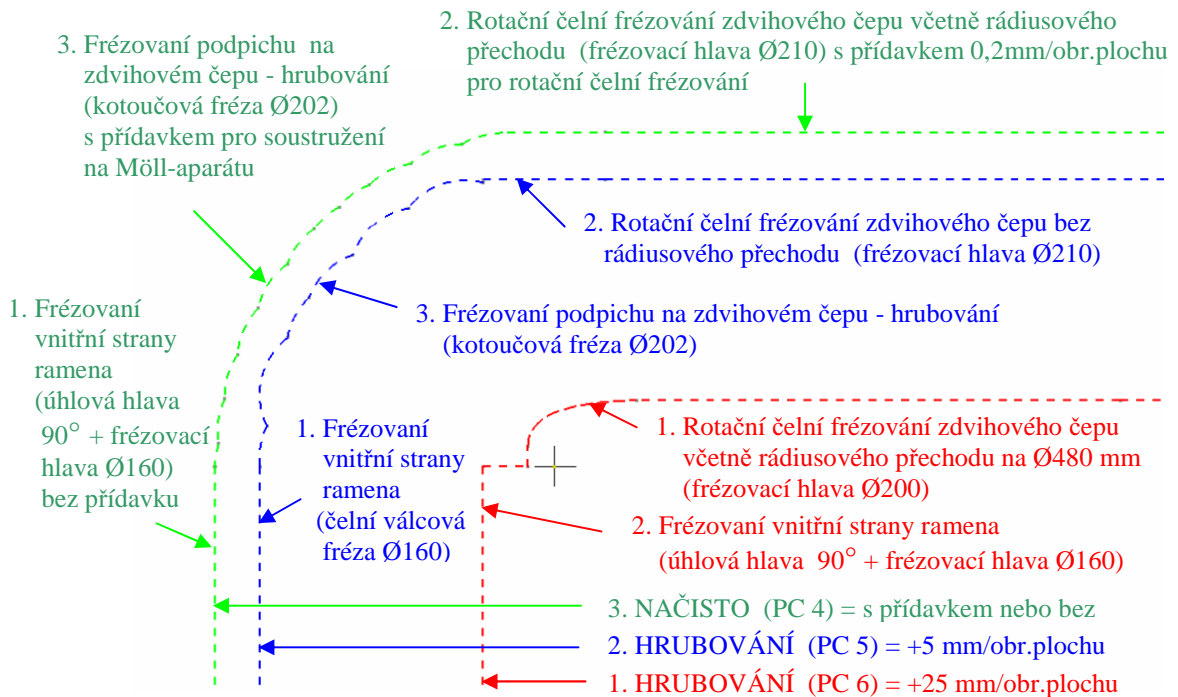
Na nová možná řešení má však vliv mnoho omezujících faktorů, vyplývajících z parametrů použitého stroje a obráběné součásti, z vlastností obráběného materiálu či z požadované kvality obrobené plochy a mnoha dalších.

Je však třeba vycházet ze současné - bližší podoby obrábění podpichů na zdvihových čepích a konfrontací údajů z technologického postupu, údajů na výkrese součásti a dosud zjištěných informací dospět ke konkrétnějším možnostem.

2.7.1 Rozbor technologického postupu v oblasti obrábění zdvihových podpichů



Obr.2.61 Zdvihový čep s podpichy z výkresu v příloze č.11 [7] **Obr.2.62** Detail podpichu zdvihového čepu [7]



Obr.2.63 Vizualní rozbor obrábění zdvihového podpichu na základě technologického postupu

1. HRUBOVÁNÍ - PC 6 (s přídavkem 25 mm na obráběnou plochu)

1. Rotační čelní frézování zdvihového čepu včetně rádiusového přechodu na průměr 480 mm

Pozn.: Frézování z polotovaru o průměru cca 1000 mm (volně kovaný výkovek s nerovnoměrnými přídávky - viz příloha č.6) po úkonu frézování ploch pro protizávaží, šířka čepu: 242 mm

Nástroj: frézovací hlava pro rotační čelní frézování - Ø 200 mm (výrobce SECO)

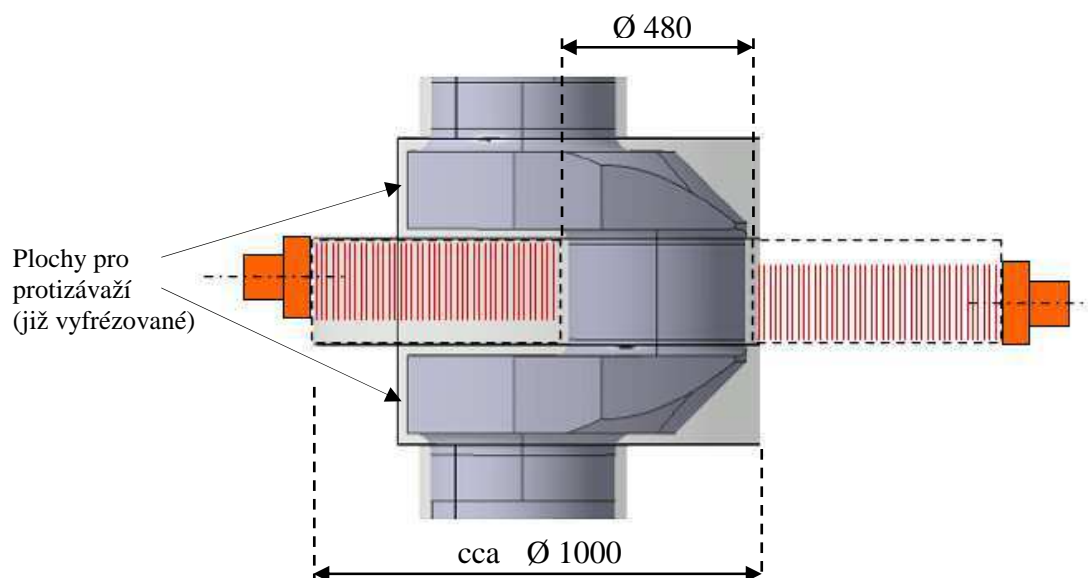
($b_s = 8 \text{ mm}$)

Řezné podmínky: $v_c = 105 \text{ m/min}$, $n = 160 \text{ ot/min}$, $v_f = 200 - 500 \text{ mm/min}$, $a_p = 12 \text{ mm}$

Počet řezů: cca 42 + 1 s 2 excentrickými posunutími

Počet průchodů: 2

Počet pracujících věží: 2 (viz obr.2.64)



Obr.2.64 Rotační čelní frézování zdvihového čepu na dva průchody pomocí dvou obráběcích věží

Výpočet rozměru rádiusového přechodu (Δr):

$$\alpha = 90^\circ, e_1 = b_s = 8 \text{ mm}$$

$$e_2 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_1 (D - e_1)]^{1/2} = 100 - [(100 - 8)^2 - 8 (200 - 8)]^{1/2}$$

$$e_2 = 100 - [8464 - 1536]^{1/2} = \underline{\underline{16,765 \text{ mm}}}$$

$$X = D/2 \sin \alpha \quad \Delta r = [Z^2 + (D/2 - e_2 - D/2 \cos \alpha)^2]^{1/2} - Z$$

$$X = 100 \quad \Delta r = [240,22^2 + (100 - 16,765 - 0)^2]^{1/2} - 240,22$$

$$\Delta r = [57\,705,648 + 6\,928,065]^{1/2} - 240,22 = \underline{14,011 \text{ mm}}$$

Analogicky:

$$X = 99,5 \Rightarrow \sin \alpha = 99,5/100 \Rightarrow \alpha = 84,268^\circ \quad X = 94 \Rightarrow \sin \alpha = 94/100 \Rightarrow \alpha = 70,052^\circ$$

$$\Delta r = \underline{10,919 \text{ mm}} \quad \Delta r = \underline{4,970 \text{ mm}}$$

$$X = 99 \Rightarrow \sin \alpha = 99/100 \Rightarrow \alpha = 81,89^\circ \quad X = 92 \Rightarrow \sin \alpha = 92/100 \Rightarrow \alpha = 66,926^\circ$$

$$\Delta r = \underline{9,749 \text{ mm}} \quad \Delta r = \underline{4,004 \text{ mm}}$$

$$X = 98 \Rightarrow \sin \alpha = 98/100 \Rightarrow \alpha = 78,522^\circ \quad X = 90 \Rightarrow \sin \alpha = 90/100 \Rightarrow \alpha = 64,158^\circ$$

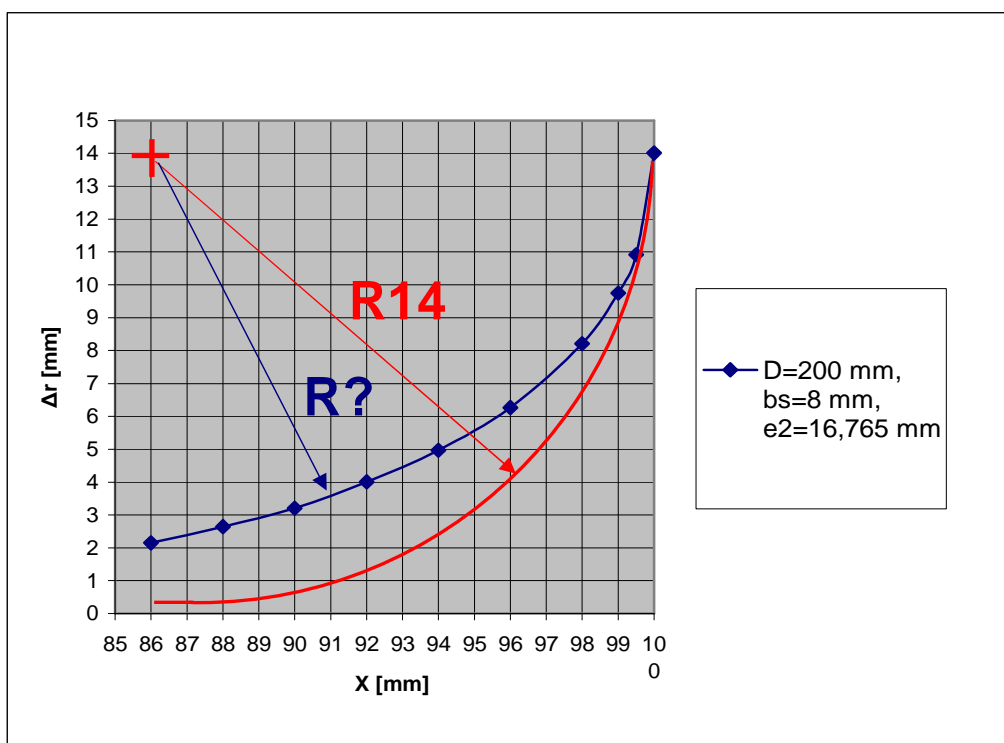
$$\Delta r = \underline{8,209 \text{ mm}} \quad \Delta r = \underline{3,205 \text{ mm}}$$

$$X = 96 \Rightarrow \sin \alpha = 96/100 \Rightarrow \alpha = 73,74^\circ \quad X = 88 \Rightarrow \sin \alpha = 88/100 \Rightarrow \alpha = 61,642^\circ$$

$$\Delta r = \underline{6,269 \text{ mm}} \quad \Delta r = \underline{2,644 \text{ mm}}$$

$$X = 86 \Rightarrow \sin \alpha = 86/100 \Rightarrow \alpha = 59,316^\circ$$

$$\Delta r = \underline{2,149 \text{ mm}}$$



Obr.2.65 Graf: Podoba rádiusového přechodu vzniklého rotačním čelním frézováním zdvihového čepu na vzdálenosti 14 mm od vnitřní strany ramena při daných parametrech

Z grafu na obr.2.65 je patrné a průkazné, že metodou rotačního čelního frézování skutečně nelze na rozhraní čepu a ramena dosáhnout pravidelného rádiusového přechodu (např. R14), vhodného k hrubování či dokonce k dokončování tvarových ploch, jakými jsou rádiusové přechody a proto se musí využívat jiných řešení. Při hrubovacích operacích, spojených s rotačním čelním frézováním čepů, je tedy třeba velmi pečlivě volit parametry obrábění (D , bs , e_n) s ohledem na požadovaný rozměr rádiusového přechodu v rozích čepů, neboť by mohlo snadno dojít k nežádoucímu podříznutí.

2. Frézování vnitřní strany ramena

Nástroj: frézovací hlava $\varnothing 160/60^\circ$ (výrobce CLARKSON)

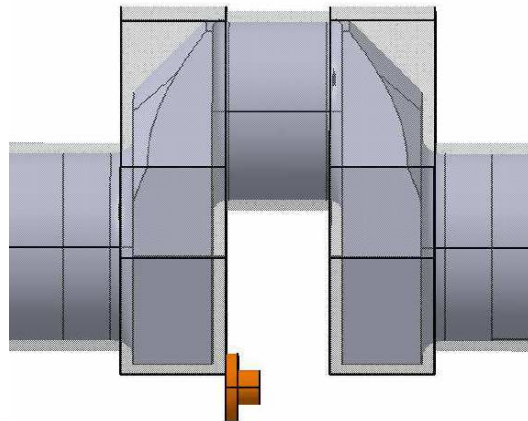
úhlová hlava 90° (výrobce PIBOMULTI)

Řezné podmínky: $v_c = 120$ m/min, $n = 240$ ot/min, $v_f = 420$ mm/min, $a_p = 5$ mm

Počet řezů: 1

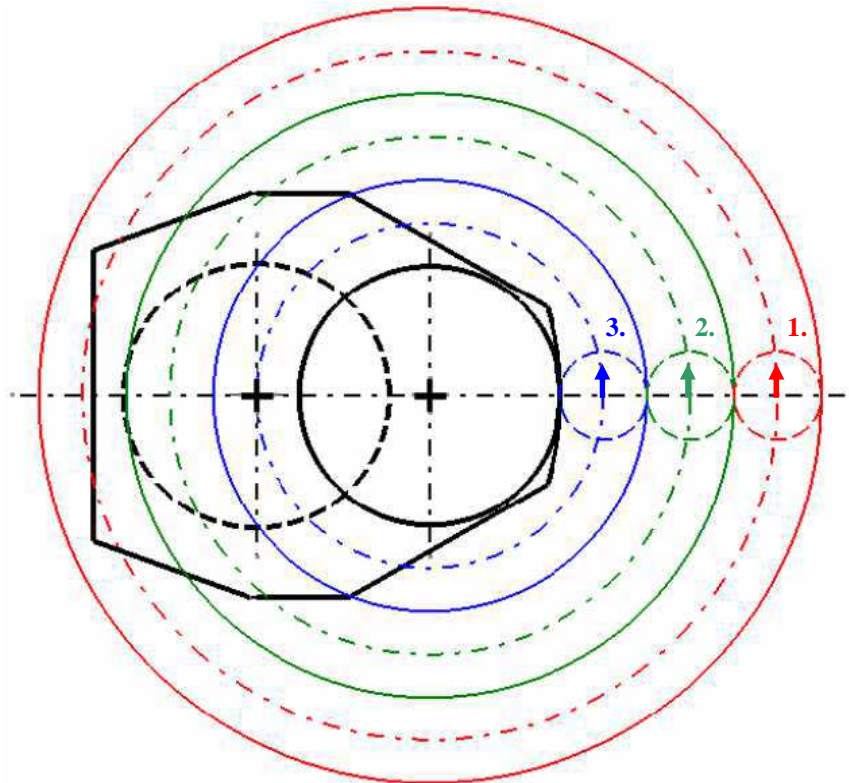
Počet průchodů: 3 (viz obr.2.67)

Počet pracujících věží: 2

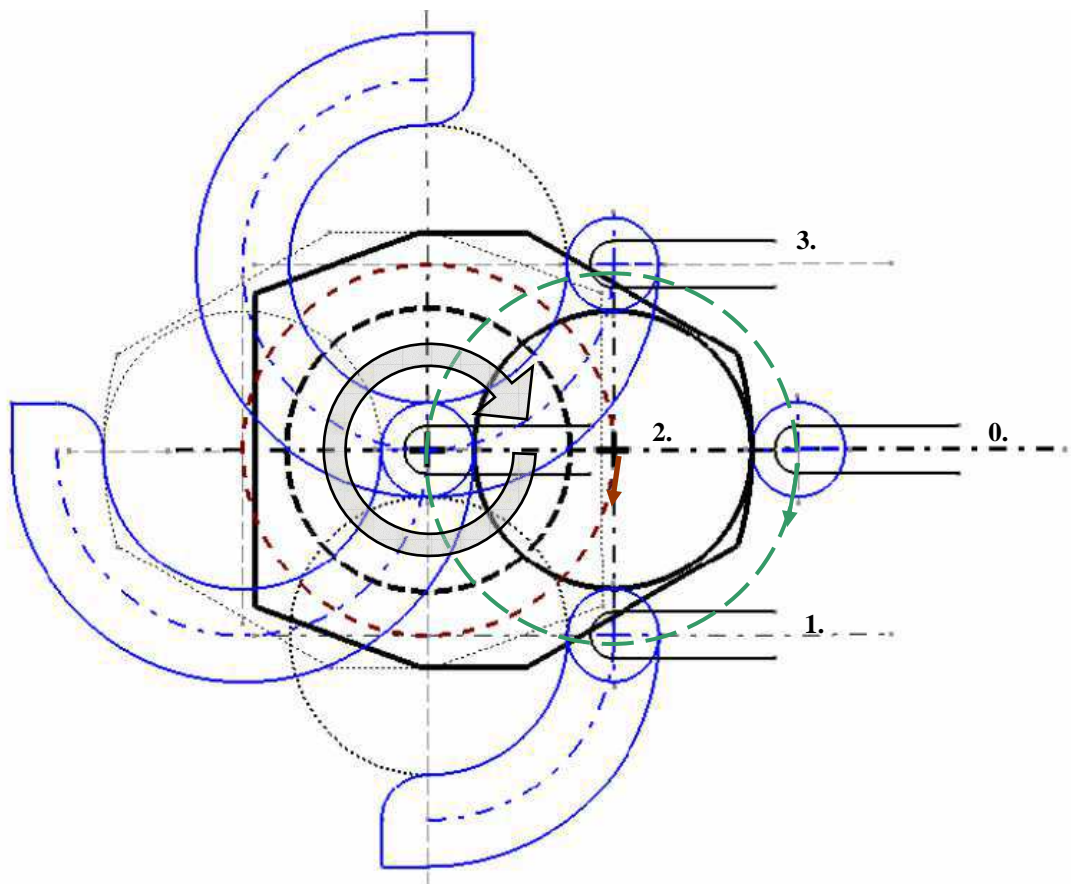


Obr.2.66 Frézování vnitřní strany ramena frézovací hlavou

Při této podobě metody frézování, realizované na NC stroji, je využíváno stejné kinematiky pohybu nástroje (respektive včetně obráběcí věže) prostorem, jako při metodě rotačního čelního frézování zdvihového čepu, kdy se nástroj pohybuje po kruhových drahách za zdvihovým čepem, jenž je také v pohybu - natáčí se spolu s hlavním čepem, který se otáčí okolo své osy. Střed zdvihového čepu se tak pohybuje po dráze, jejímž poloměrem je poloměr kliky (viz příloha č.1 a obr.2.52).



Obr.2.67 Relativní znázornění jednotlivých průchodů nástroje při frézování vnitřní strany ramena



Obr.2.68 Skutečné znázornění průchodu (konkrétně 3. průchod) nástroje během frézování vnitřní strany ramena

2. HRUBOVÁNÍ - PC 5 (s přídatkem 5 mm na obráběnou plochu)

1. Frézování vnitřní strany ramena

Nástroj: čelní válcová fréza $\varnothing 160/l = 90$ (výrobce WALTER)

Řezné podmínky: $v_c = 120$ m/min, $n = 240$ ot/min, $v_f = 450$ mm/min, $a_p = 8$ mm,

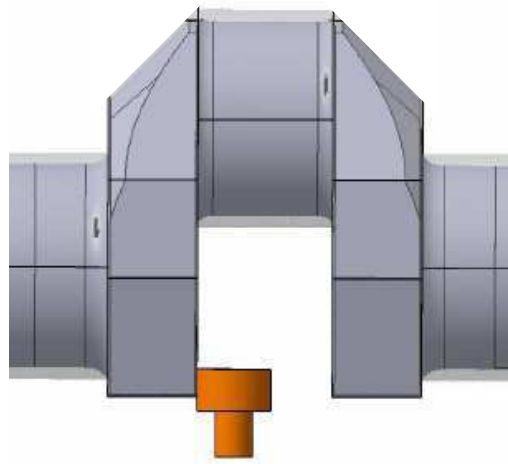
$$l_{\text{záběru}} = 60 \text{ mm}$$

Počet řezů: 3

Počet průchodů: 8

Počet pracujících věží: 2

Podoba metody frézování je v tomto případě z hlediska kinematiky pohybů nástroje (respektive vřetena obráběcí věže) totožná s předchozí. Pouze schéma průchodů nástroje bude odlišné (větší počet průchodů) díky jinému nástroji s odlišnými parametry záběru.



Obr.2.69 Frézování vnitřní strany ramena čelní válcovou frézou

2. Rotační čelní frézování zdvihového čepu - hotově

Nástroj: frézovací hlava pro rotační čelní frézování - $\varnothing 210$ mm (výrobce PRAMET)

$$(b_s = 12 \text{ mm})$$

Řezné podmínky: $v_c = 120 - 150$ m/min, $n = 180 - 220$ ot/min, $v_f = 400 - 700$ mm/min,

$$a_p = 12 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm}$$

Počet řezů: 2 + 1 s 5 excentrickými posunutími ($\Rightarrow X_r = D/2$)

Počet průchodů: 2

Počet pracujících věží: 2

3. Frézování podpichu na zdvihovém čepu - hrubování

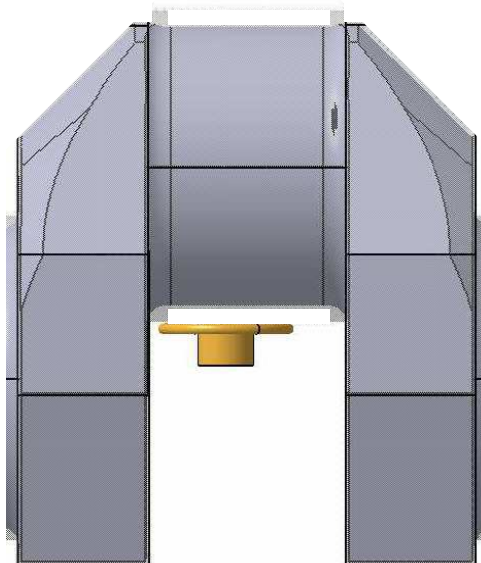
Nástroj: kotoučová fréza - \varnothing 202 mm (výrobce SANDVIK)

(kruhové plátky \varnothing 16 mm)

Řezné podmínky: : $v_c = 150$ m/min, $n = 240$ ot/min, $v_f = 600 - 800$ mm/min,

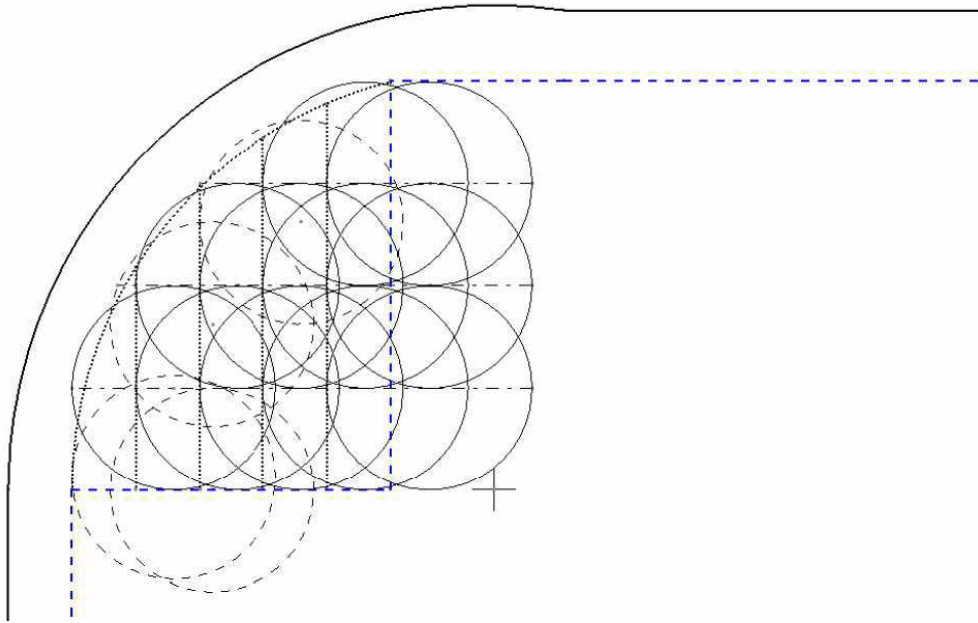
$a_p = 5$ mm

Počet pracujících věží: 2



Obr.2.70 Hrubování podpichu kotoučovou frézou

Rotující nástroj se během této podoby metody frézování opět pohybuje po kruhových drahách za pohybujícím se klikovým čepem, přičemž se osa klikového čepu a osa nástroje nacházejí v jedné rovině ($e = 0$). Nástroj postupně radiálně najíždí do jednotlivých pozic, ve kterých za vzájemného pohybu s hřídelí ubírá přebytečný materiál. V každé pozici tak nástroj setrvá po dobu jedné otáčky hlavního čepu, stejně jako u metody rotačního čelního frézování. Dle technologického postupu lze předpokládat průběh obrábění dle obr.2.71. Bohužel ani tato podoba metody frézování není vhodná pro dokončování tvarové plochy rádiusového přechodu. Neboť by nástroj (respektive rotující destičky na jeho obvodu) při obrábění krajní části rádiusového přechodu v blízkosti zdvihového čepu podříznul i tento čep (viz obr.2.73).



Obr.2.71 Předpokládané pozice nástroje (břitových destiček) nástroje během hrubování podpichu

3. NAČISTO - PC 4 (s přídavkem na broušení, pro Möll-aparát nebo bez přídavku)

1. Frézování vnitřní strany ramena

Nástroj: frézovací hlava $\varnothing 160/60^\circ$ (výrobce CLARKSON)

úhlová hlava 90° (výrobce PIBOMULTI)

Řezné podmínky:

- hrubování (přídavek 0,5 mm): $v_c = 160$ m/min, $n = 325$ ot/min, $v_f = 450$ mm/min,

$$a_p = 4,5 \text{ mm}$$

Počet řezů: 1

Počet průchodů: 3

Počet pracujících věží: 1

- hotově: $v_c = 200$ m/min, $n = 400$ ot/min, $v_f = 300$ mm/min, $a_p = 0,5$ mm

Počet řezů: 1

Počet průchodů: 3

Počet pracujících věží: 1

2. Rotační čelní frézování zdvihového čepu s přídavkem 0,2 mm na obráběnou plochu (pro rotační čelní frézování)

Nástroj: Frézovací hlava pro rotační čelní frézování - Ø 200 mm (výrobce SANDVIK)
($b_s = 10 \text{ mm}$)

Řezné podmínky: $v_c = 170 \text{ m/min}$, $n = 270 \text{ ot/min}$, $v_f = 500 - 900 \text{ mm/min}$, $a_p = 5 \text{ mm}$

Počet řezů: 1 se 4 excentrickými posunutími

Počet průchodů: 2

Počet pracujících věží: 1

Výpočet rozměru rádiusového přechodu (Δr):

$$\alpha = 90^\circ, e_1 = b_s = 10 \text{ mm}$$

$$e_2 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_1(D - e_1)]^{1/2} = 100 - [(100 - 10)^2 - 8(200 - 10)]^{1/2}$$

$$e_2 = 100 - [8100 - 2850]^{1/2} = \underline{27,543 \text{ mm}}$$

$$e_3 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_2(D - e_2)]^{1/2} = \underline{42,120 \text{ mm}}$$

$$e_4 = D/2 - [(D/2 - b_s)^2 - e_3(D - e_3)]^{1/2} = \underline{61,920 \text{ mm}}$$

$$X = D/2 \sin \alpha \quad \Delta r = [Z^2 + (D/2 - e_4 - D/2 \cos \alpha)^2]^{1/2} - Z$$

$$X = 100 \quad \Delta r = [210,22^2 + (100 - 61,920 - 0)^2]^{1/2} - 210,22$$

$$\Delta r = [44192,448 + 1450,086]^{1/2} - 210,22 = \underline{3,421 \text{ mm}}$$

Analogicky:

$$X = 99,5 \Rightarrow \sin \alpha = 99,5/100 \Rightarrow \alpha = 84,268^\circ \quad X = 98 \Rightarrow \sin \alpha = 98/100 \Rightarrow \alpha = 78,522^\circ$$

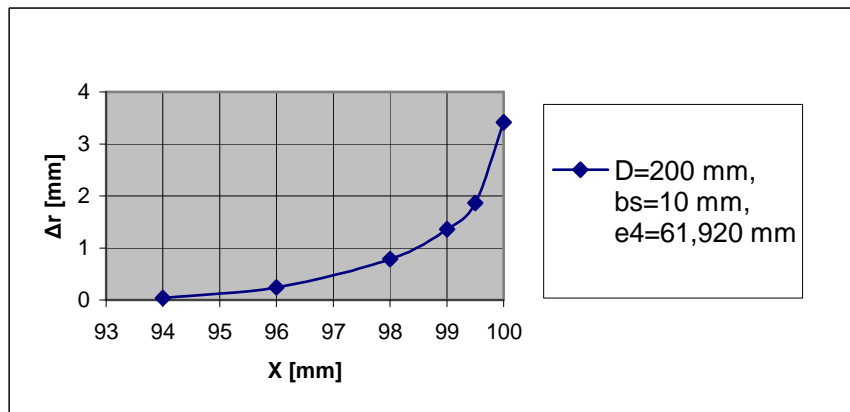
$$\Delta r = \underline{1,869 \text{ mm}} \quad \Delta r = \underline{0,785 \text{ mm}}$$

$$X = 99 \Rightarrow \sin \alpha = 99/100 \Rightarrow \alpha = 81,89^\circ \quad X = 96 \Rightarrow \sin \alpha = 96/100 \Rightarrow \alpha = 73,74^\circ$$

$$\Delta r = \underline{1,362 \text{ mm}} \quad \Delta r = \underline{0,241 \text{ mm}}$$

$$X = 94 \Rightarrow \sin \alpha = 94/100 \Rightarrow \alpha = 70,052^\circ$$

$$\Delta r = \underline{0,037 \text{ mm}}$$



Obr.2.72 Graf: Podoba rádiusového přechodu vzniklého rotačním čelním frézováním zdvihového čepu na vzdálenosti 6 mm od vnitřní strany ramena při daných parametrech [vlastní]

3. Frézování podpichu na zdvihovém čepu - hrubování

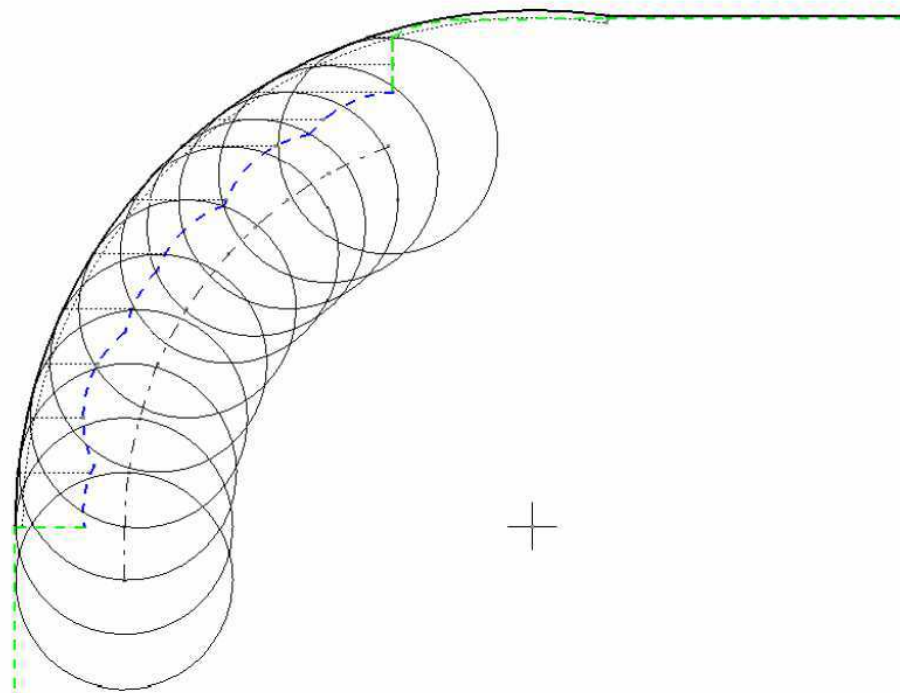
Nástroj: kotoučová fréza - \varnothing 202 mm (výrobce SANDVIK)

(kruhové plátky \varnothing 16 mm)

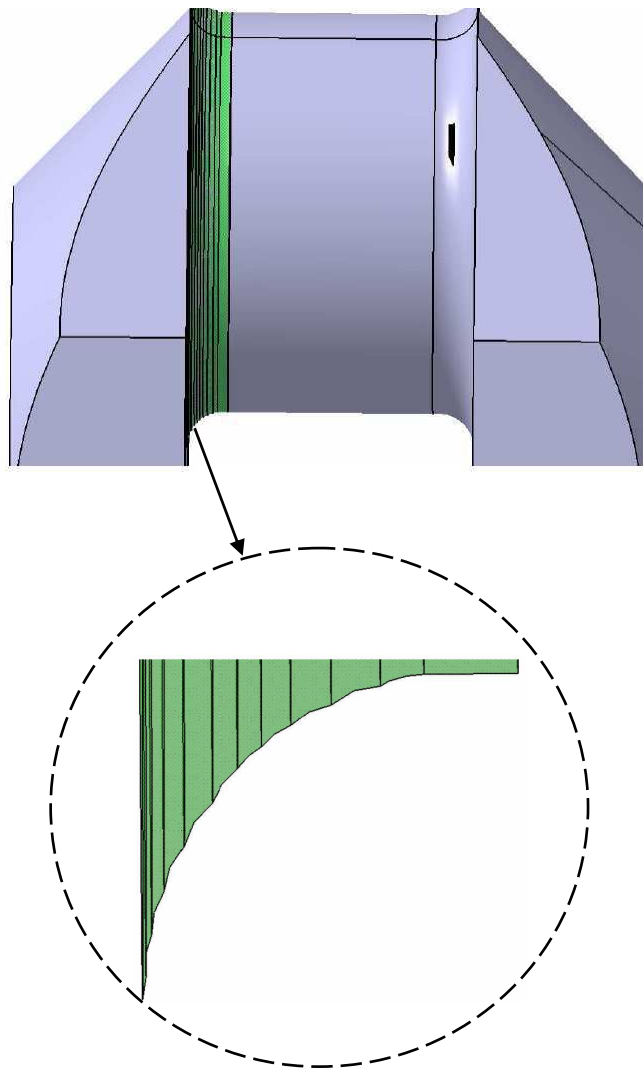
Řezné podmínky: : $v_c = 160$ m/min, $n = 250$ ot/min, $v_f = 400 - 700$ mm/min,

$$a_p = 2 - 4 \text{ mm}$$

Počet pracujících věží: 1



Obr.2.73 Předpokládané pozice nástroje (břitových destiček) nástroje během hrubování podpichu



Obr.2.74 Předpokládaná 3D podoba podpichu po hrubování na PC 4 (v softwaru CATIA)

4. NAČISTO - Möll-aparát

1. Soustružení podpichu

Nástroj: tvarový soustružnický nůž (výrobce SANDVIK)

Řezné podmínky: $v_c = 2,5$ m/min, $n = 720$ °/min, $v_f = 0,1$ mm/ot,

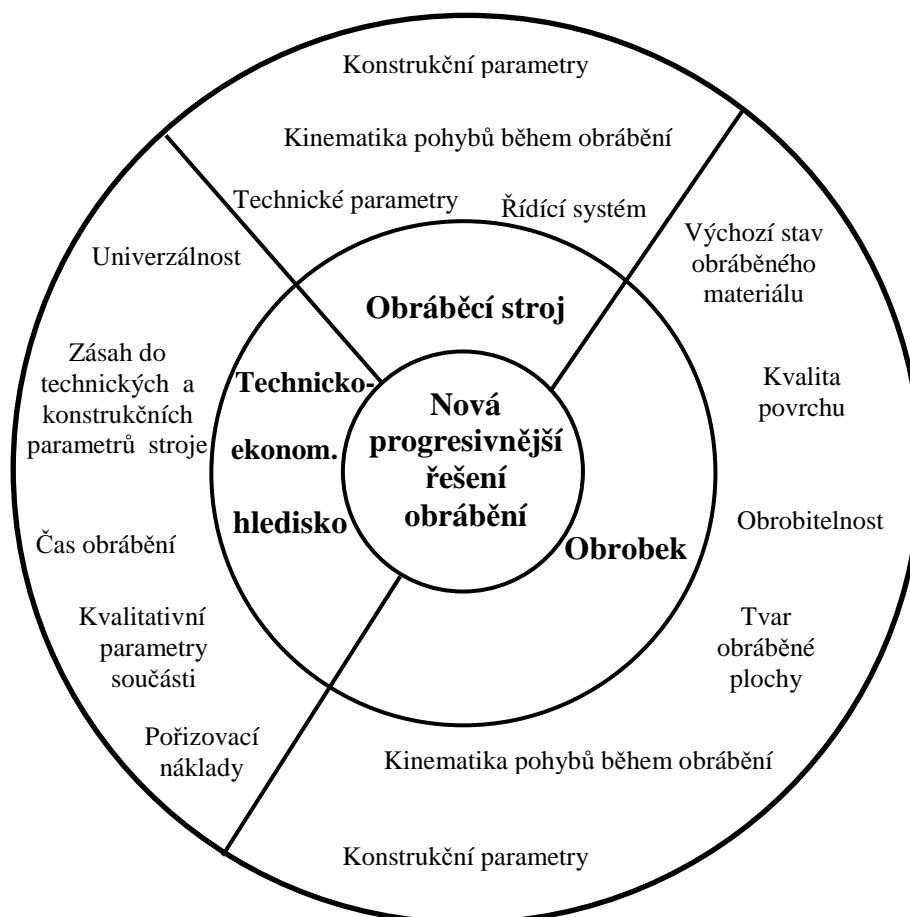
$$a_p = 0,5 + 0,05\text{mm}$$

Čas obrábění jednoho zdvihového podpichu: $t_a = 120$ min

3 Návrh nových progresivnějších řešení obrábění

Před návrhem nových možných řešení je třeba definovat důležité činitele, jež řešení nejvíce ovlivňují. Více či méně omezují rozsah potenciálních možností. Je proto třeba najít vhodný kompromis mezi jednotlivými činiteli, který zaručí odpovídající efektivitu obráběcího procesu. Zásadní činitele lze vztahovat k několika hlediskům. Za nejdůležitější hlediska lze považovat obráběcí stroj, obrobek a technicko-ekonomické hledisko. Každé z těchto hledisek ukrývá řadu činitelů, jež spolu tvoří kritéria nových možných progresivnějších řešení. Toto lze graficky shrnout do podoby uvedené autorem na obr.3.1.

3.1 Činitele ovlivňující nová progresivnější řešení



Obr.3.1 Důležitá hlediska a jejich činitele

3.1.1 Obráběcí stroj

Obráběcím strojem, jehož se bude konkrétní návrh řešení týkat, je stroj PC 4, jenž byl zhruba představen v předcházejících částech práce. Pro hledání řešení je však třeba definovat tento stroj trochu podrobněji - parametricky. Z technických parametrů (viz příloha č.3) lze mezi nejdůležitější zařadit některé, týkající se vřeteníku, obráběcí věže, podélných a příčných saní.

Tab. 4 Důležité parametry vřeteníku NC stroje typu PC 4

Rozsah otáček přes hlavní pohon [min^{-1}]	0,4 ÷ 180
Rozsah otáček přes pohon A-osy [min^{-1}]	0,005 ÷ 2
Výkon hlavního motoru [kW]	2 x 50

Tab. 5 Důležité parametry podélných a příčných saní NC stroje typu PC 4

Posuv příčných saní [mm]	1 250
Rozsah posuvu podélných a příčných saní [mm/min]	0,75 ÷ 6 000

Tab. 6 Důležité parametry obráběcí věže NC stroje typu PC 4

Natáčení stojanu (osa B) [°]	+ 15 / - 15
Svislé přestavení frézovacího vřeteníku (osa Y) [mm]	+ 900 / - 600
Nástrojový kužel frézovacích nástrojů	ISO 60
Otáčky frézovacího vřetene [min^{-1}]	5 ÷ 1 800
Krouticí moment max. [Nm]	3 800
Výkon pohonu [kW]	63
Uchycení soustružnických nástrojů	CAPTO C10
Šířka lamel pro soustružnické nástroje [mm]	30, 60
Upínací kužel vřetene / nástavku pro frézování - velikost 7 : 24	ISO 60
Upínací dutina nástavku pro soustružení Coromant Capto-velikost	C10
Max. hmotnost nástroje [kg]	70
Max. ohybový moment nástroje [Nm] (klopný moment vzhledem k místu uchycení nástroje)	150

Mezní polohy vřeteníku obráběcí věže jsou vizuálně i rozměrově znázorněny na výkresech v příloze č.4. Z těchto výkresů lze mezi jinými parametry vyčíst i další důležitý parametr, který se v příložených číselných parametrech stroje nevyskytuje, a tím je šířka vřeteníku (600 mm). Přestože se v tomto případě jedná o stroj PC 4 a ne PC 5 či PC 6, znázorněných v příloze č.4, neliší se tyto parametry stroje PC 4 od parametrů stroje PC 5 či PC 6. Zásadní odlišností jsou pouze počty obráběcích věží (viz podkapitola 2.3.2). Další odlišnosti se pak vyskytují pouze v parametrech základu stroje.

Řídicím systémem strojů je systém od společnosti SIEMENS. Požadavky strojů na řídicí systém z hlediska metod obrábění, pro které jsou tyto stroje konstruovány, jsou uvedeny v příloze č.5.

3.1.2 Obrobek

Obrobkem je jasně definovaná součást, jež během obrábění vykonává specifický pohyb obráběným prostorem (hlavní čepy otáčející se okolo A-osy hlavního vřeteníku a klikové čepy s rameny, obíhající po kruhových drahách stejného poloměru se středem v ose A). Konstrukce součásti pak obecně ovlivňuje konstrukční parametry použitých nástrojů a možnosti jejich pohybu v prostoru během obrábění.

Obráběnou plochou je tvarová plocha předhrubovaného rádiusového přechodu (podpichu) o předpokládané podobě, získané analýzou technologického postupu v podkapitole 2.7.1. Výslednou obrobenou plochou má být rádiusový přechod o rozměru $R = 38 \text{ mm}$, s parametrem drsnosti povrchu $R_{\max} = 6,3 \mu\text{m}$.

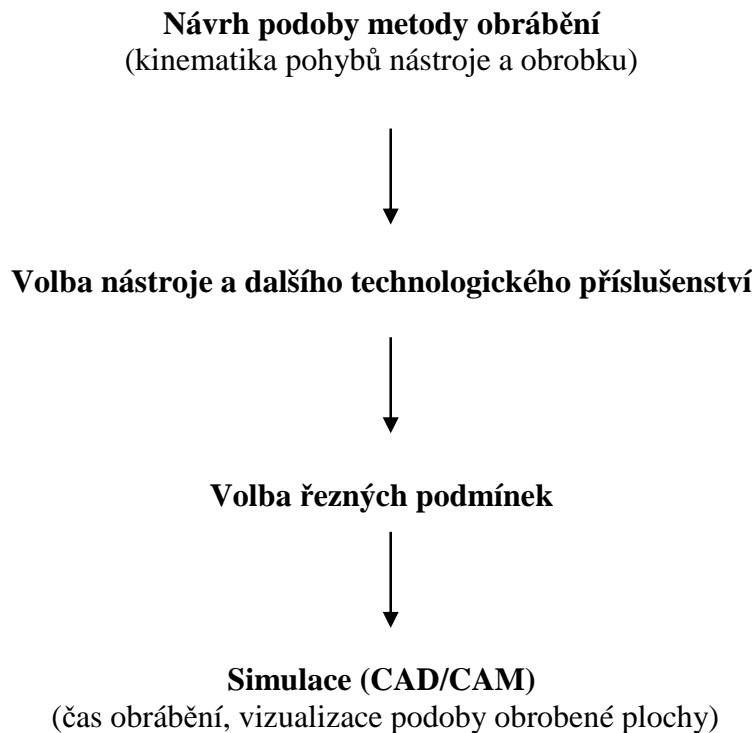
Obráběným materiálem je zušlechtná ocel (sorbitická struktura), jejíž tvrdost v obráběné vrstvě lze předpokládat vyšší než 48 HRC, čímž je ztížena obrobitelnost a zvýšeny nároky na použité nástroje z hlediska jejich materiálů i řezných podmínek.

3.1.3 Technicko-ekonomické hledisko

Z hlediska ekonomického, lze při porovnání nového řešení se současným stavem vycházet konkrétněji pouze ze současného času obrábění podpichu načisto, u nějž je známa konkrétní hodnota, a to 120 minut. Důležitou podmínkou z hlediska technicko-ekonomického hlediska jsou i pořizovací náklady na realizaci řešení a univerzálnost daného řešení. Řešení by se nemělo vztahovat pouze na konkrétního představitele o stanovených parametrech (především konstrukčních), ale na co možná největší skupinu. Řešení by dále nemělo zasahovat do současné parametrické a konstrukční podoby stroje. Z hlediska co největší minimalizace vstupních nákladů je zadavatelem požadováno, aby případné technologické příslušenství, nutné k realizaci řešení (respektive počátečnímu experimentu), vycházelo ze standardně nabízených produktů na trhu. V neposlední řadě by možné řešení určitě nemělo znamenat snížení kvalitativních parametrů výrobku, majících vliv na pozdější funkčnost součásti.

3.2 Postup návrhu nových řešení

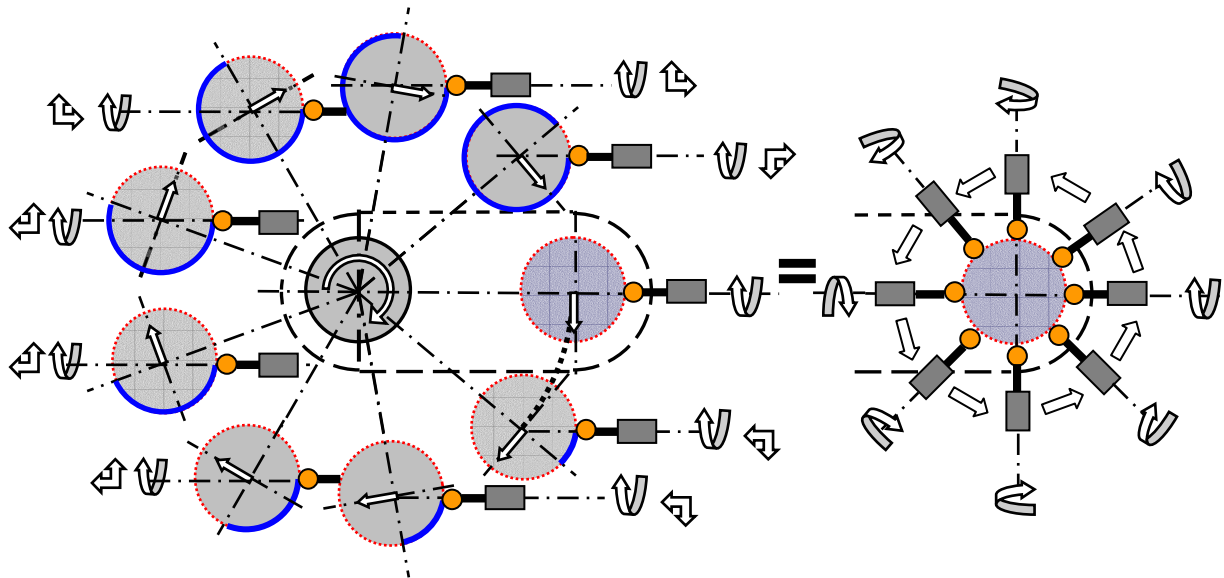
Z hlediska dosavadně získaných informací a dostupných možností řešitele lze postupovat v následujících krocích:



3.2.1 Návrh podoby metody obrábění

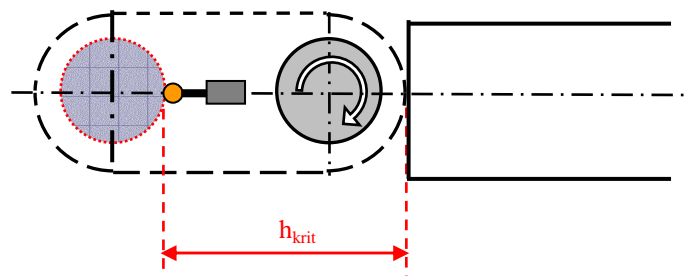
Z předchozí analýzy v kapitole 3 vyplývá, že většina používaných metod principiálně vychází z metody rotačního čelního frézování, pro niž jsou speciální NC stroje prioritně vyvinuty. Nové řešení tak nemůže příliš vybočovat od základu této metody. Při obrábění zdvihových podpichů tak bude muset obrobek z hlediska kompletního obrobění rádiusové plochy bezpochyby vykonávat „klasický“ pohyb, popisovaný v předchozích pasážích práce. Proto i nástroj bude muset sledovat pohyb obráběné plochy. Jako vhodný nástroj se vzhledem k podobě tvarové plochy nabízí fréza s kulovým čelem. V nejideálnějším případě si lze obrábění rádiusového přechodu představit tak, že použitá kulová fréza bude svým poloměrem odpovídat danému rozměru rádiusového přechodu. Nástroj by tak teoreticky relativním pohybem plochu s přídávkem 0,55 mm „obkroužil“ - obrobil podobně jako Möll-aparát. Proti tomuto, na první pohled „ideálnímu“ řešení však stojí v cestě především rozličnost konstruktéry předepisovaných rozměrů rádiusových přechodů. Pro každou klikovou hřídel totiž bývají jejich rozměry odlišné a především nestandardizované z hlediska běžně

nabízených rozměrů nástrojů, což vyplývá i z rozměru rádiusového přechodu $R = 38$ u klikové hřídele v příloze č.11.



Obr.3.2 Znázornění možné podoby metody obrábění rádiusového přechodu zdvihového čepu z hlediska skutečné (vlevo) a relativní (vpravo) kinematiky obrobku a nástroje během obrábění
Pozn.: modře znázorněna obrobená plocha

Do podoby možného řešení však vstupují kritéria vyplývající z konstrukčního provedení stroje a obrobku. Zásadním kritériem vyplývajícím z konstrukce obrobku, je hloubka obrábění v „kritické“ poloze, odpovídající vzájemné poloze nástroje a obrobku na obr.3.3, kdy během obrábění dochází ke značné komplikaci. Musí být zajištěna dostatečná hloubka obrábění (délka nástroje), jež zaručí obrobení požadované plochy a zároveň vyloučí kolizi ramena s nástrojem (respektive vřeteníkem obráběcí věže).



Obr.3.3 Hloubka obrábění v „kritické“ poloze

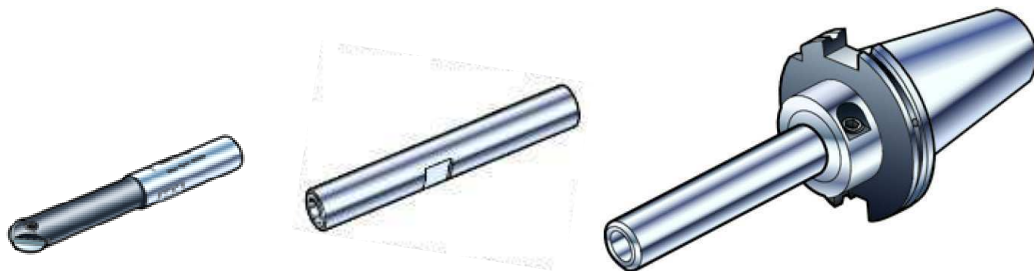
Z hlediska tuhosti systému stroj-nástroj-obrobek je žádoucí, aby byla hloubka obrábění, respektive délka nástroje co nejmenší. Z hlediska předepsaných parametrů stroje, konkrétněji

parametrů obráběcí věže (viz tab.6), je možno hloubky obrábění dosáhnout nástrojem o maximální hmotnosti 70 kg a maximálním ohybovém momentu 150 Nm vzhledem k místu uchycení (čelo vřeteníku obráběcí věže).

3.2.2 Volba nástroje a dalšího technologického příslušenství

V případě klikové hřídele, určené pro potřeby práce, je hodnota parametru $h_{krit} = 385,5$ mm. Z tohoto vyplývá, že se nemůže jednat o samostatný nástroj (frézu) s tak značným vyložení, ale o nástrojovou soustavu. Je tedy třeba najít vhodný nástrojový systém, zaručující maximální možnou přesnost a tuhost obrábění.

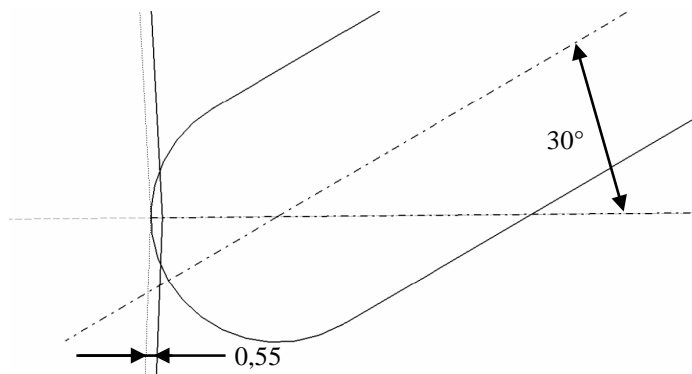
Jako nejvýhodnější se na současném trhu (přelom roku 2012/2013) z pohledu řešitele jeví nástrojový systém Hydro-Grip od firmy Sandvik Coromant. Maximální možné hloubky obrábění je možno dosáhnout složením dvou tužkových sklíčidel a dokončovací stopkové frézy s kruhovou destičkou. Tímto sestavením je získána celková délka - teoretická hloubka obrábění cca 403,4 mm (viz příloha č.8)



Obr.3.4 Nástrojový systém Hydro-Grip od firmy Sandvik Coromant [25], [26]

Jelikož má tužkové sklíčidlo (upínající frézu) vnitřní upínací průměr 12 mm, může být použita pouze fréza s upínací stopkou o průměru 12 mm a kruhovou destičkou o průměru 12 mm (viz příloha č.8). Tím pádem je zcela vyloučena možnost řešení, kdy by bylo možno obrábět rádiusový přechod jiným průměrem frézy (respektive kruhové destičky). Toto vynucené kritérium tedy zásadně ovlivňuje podobu metody obrábění. Za přijatelnou variantu lze především z hlediska výchozího stavu obráběného materiálu považovat spojení polohování zdvihového čepu (jež umožňuje hlavní vřeteník) při pozici nástroje mimo řez s kruhovou interpolací obráběcího nástroje v osách X a Z v okamžiku nepohybujícího se čepu. Vystává zde ovšem další problém, a tím je nutnost naklonění nástroje (nástrojové soustavy) v rovině XZ, aby bylo možno rádiusový tvar obrobit v celém profilu, aniž by přitom docházelo k boční kolizi s ramenem. Aby nedocházelo k obrábění nulovou řeznou rychlostí (vylamování břitů a zatlačování materiálu), vyskytující se na vrcholu kruhové destičky, je

třeba naklopit nástrojový systém i v rovině YZ. K realizaci tohoto naklonění je třeba dalšího nástrojového prvku, neboť naklonění nástrojového systému v rovině XZ je ještě možno realizovat „pouze“ pomocí natočení stojanu okolo osy B v rozmezí +15 až -15°. Co se týče naklonění nástroje, respektive nástrojového systému v rovině YZ, lze grafickou analýzou (viz obr.3.5) dospět k potřebné hodnotě naklonění 30°. Tato hodnota by měla zaručit obrábění nenulovou řeznou rychlostí při přídávku max. 0,55 mm, jenž je dle technologického postupu určen pro Möll-aparát.



Obr.3.5 Grafická analýza naklonění stopkové frézy s kruhovou destičkou o průměru 12 mm

Prvkem, umožňujícím dané naklonění a zároveň korespondujícím s upínacími parametry sklíčidla, může být z hlediska použitého stroje pouze úhlová hlava. Jako nejvhodnější volba se z pohledu řešitele jeví použití standardní uhlové hlavy od švýcarské firmy PIBOMULTI, jež má zastoupení i v ČR (konkrétně v Holoubkově - společnost TGS) a patří mezi špičku ve svém oboru. Konkrétním typem, splňujícím dané parametrické předpoklady, je úhlová hlava CTAR 40. Výstupní upínací kuželové pouzdro má velikost ISO 40, stejně jako upínací kužel na tužkovém sklíčidle Hydro-Grip. Jedinou komplikací je, že vstupní upínací kužel úhlové hlavy má velikost ISO 50. Z hlediska parametrů vřeteníku obráběcí věže je tak nutné do nástrojového systému zařadit i redukční pouzdro pro přechod z nástrojového kužele frézovacích nástrojů o velikosti ISO 60 na velikost ISO 50. Vzhledem k přehlednosti nabídkové dokumentace a blízké dostupnosti výrobce, bylo řešitelem zvoleno redukční pouzdro od společnosti PILSEN TOOLS v Plzni.

Z pohledu kritéria maximální možné hmotnosti nástroje pak takto sestavená nástrojová soustava zcela splňuje kladené požadavky, neboť dle výrobcí uváděných technických parametrů dosahuje celkové hmotnosti přibližně 53,5 kg (viz tab.7).

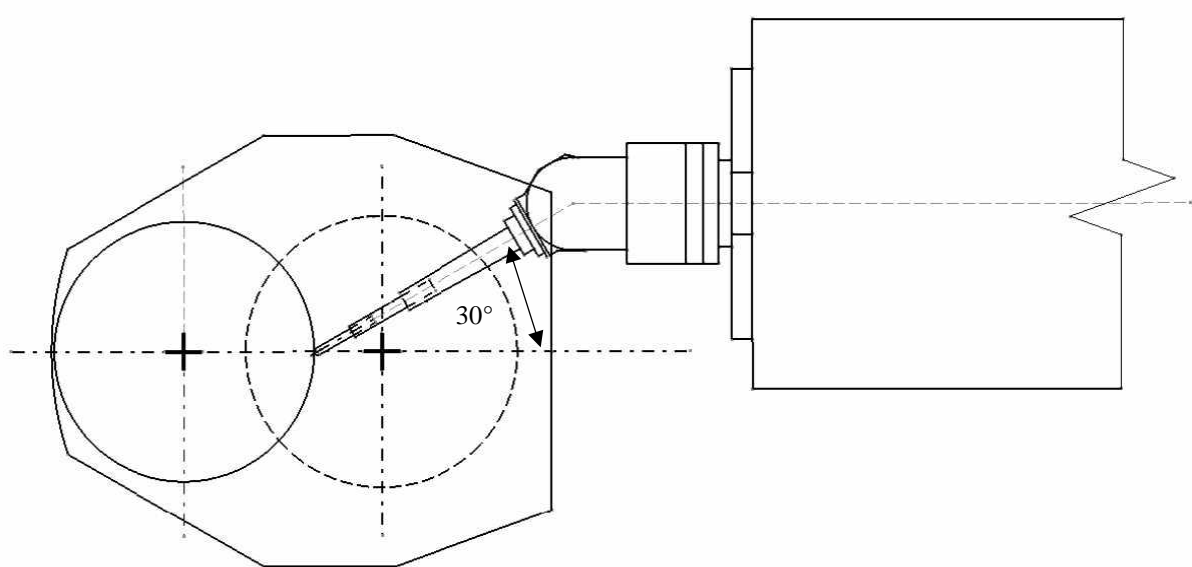
Tab. 7 Technologické příslušenství možného řešení

č.	Název	Typ	Výrobce	Hmotnost [kg]
1.	Redukční pouzdro	7:24 ČSN 22 0430 (ISO 60/ ISO 50)	PILSEN TOOLS	5,6
2.	Úhlová hlava	CTAR 40 (ISO 50)	PIBOMULTI	45
3.	Skličidlo	Hydro-Grip (tužkový typ), (ISO 40)	SANDVIK Coromant	2,2
4.	Skličidlo - válcová stopka	Hydro-Grip (tužkový typ)	SANDVIK Coromant	0,4
5.	Dokončovací fréza	Coromill Ball Nose Finishing	SANDVIK Coromant	0,3
Celková hmotnost nástroje (nástrojové soustavy)				53,5

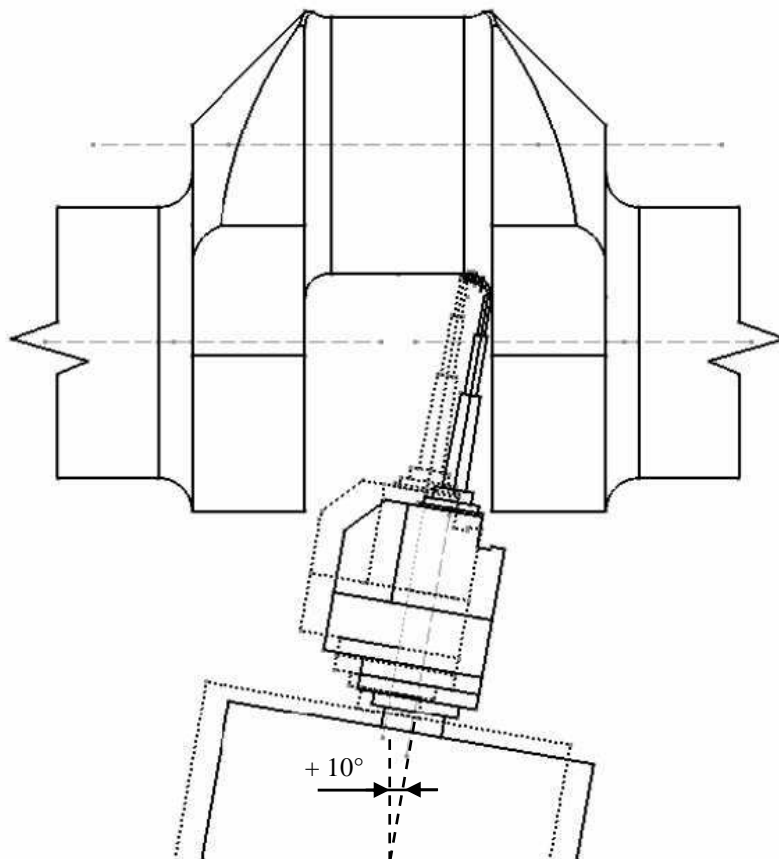
Co se týče kritéria maximálního ohybového momentu vzhledem k místu uchycení nástroje, lze při rozložení hmotnosti dané nástrojové soustavy předpokládat výskyt polohy těžiště (respektive působící síly od hmotnosti nástrojové soustavy) v rozmezí 150 až 250 mm od místa uchycení (čela vřeteníku obráběcí věže). Při hmotnosti 53,5 kg to znamená maximální sílu 535 N, působící na rameni 0,15 až 0,25 m, tedy ohybový moment 80,25 až 133, 75 Nm (při statickém zatížení). Zvolený způsob podoby metody obrábění (kruhová interpolace v osách X a Z při nepohybujícím se klikovém čepu) by pak měl zajistit i minimální navýšení této hodnoty při dynamickém zatížení nástrojové soustavy během procesu obrábění.

Díky znalosti technických parametrů stroje PC 4 z příloh č.3, č.4 a technických parametrů technologického příslušenství, potřebného k vytvoření nástrojového systému z přílohy č.8, lze podobu navrhovaného řešení přenést v daném měřítku do grafické podoby. Z obr.3.7 a obr.3.8 je pak patrné, že pro neměnitelné parametry řešení, jimiž je vzdálenost mezi rameny daného klikového čepu (302 mm) a délka nástrojového systému, je podoba tohoto řešení při nastavení měnitelných parametrů na optimální hodnoty (zjištěné grafickou analýzou) - úhlu natočení stojanu obráběcí věže na hodnotu +10° (respektive -10°) a úhlu naklonění nástroje v rovině YZ na hodnotu 30°, na hranici použití. Neboť vůle mezi obrobkem (ramenem) a úhlovou hlavou je minimální. Situaci navíc komplikuje další neměnitelný parametr řešení, kterým je konstrukční řešení samotné úhlové hlavy. Ta díky nesouměrnému tvaru těla umožňuje obrobit pouze pravý zdvihový podpich daného zdvihového čepu (viz obr.3.7). Pro obrobení levého zdvihového podpichu je nutno hlavu otočit o 180° (viz obr.3.8) a nástroj zrcadlově překlopit

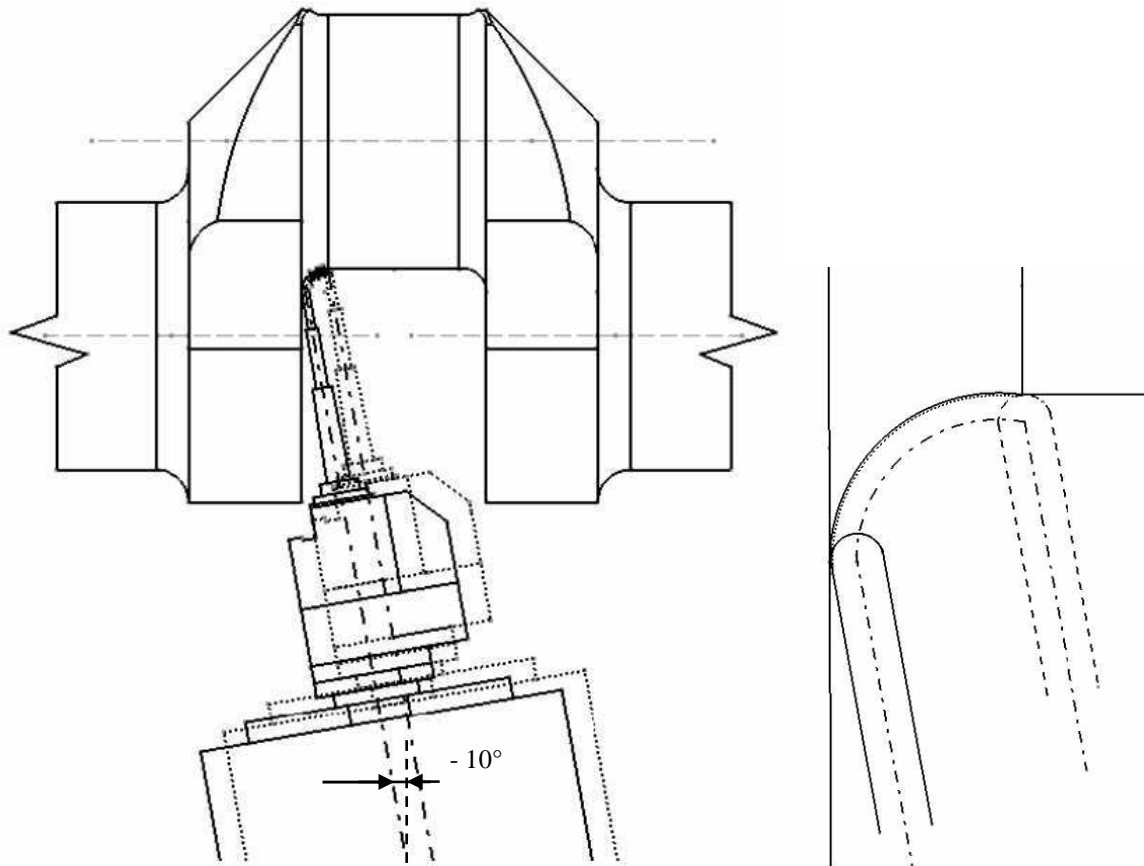
na opačnou stranu o 60° . Dále je třeba konstrukčně uzpůsobit čelo vřeteníku obráběcí věže pro dvojí polohu STOP BLOCKU, umístěného na upínací části hlavy a aretujícího úhlovou hlavu na dané pozici vůči nepohyblivému vřeteníku (viz příloha č.8).



Obr.3.6 Naklopení nástrojové soustavy pomocí úhlové hlavy v rovině YZ

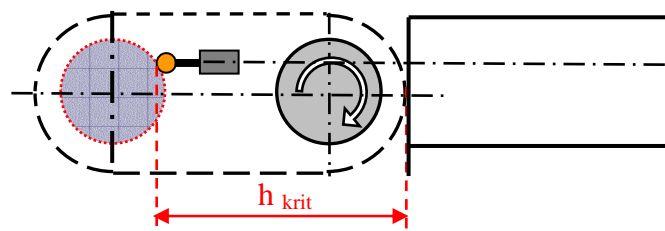


Obr.3.7 Natočení nástrojové soustavy pomocí obráběcí věže v rovině XZ při obrábění pravého podpichu

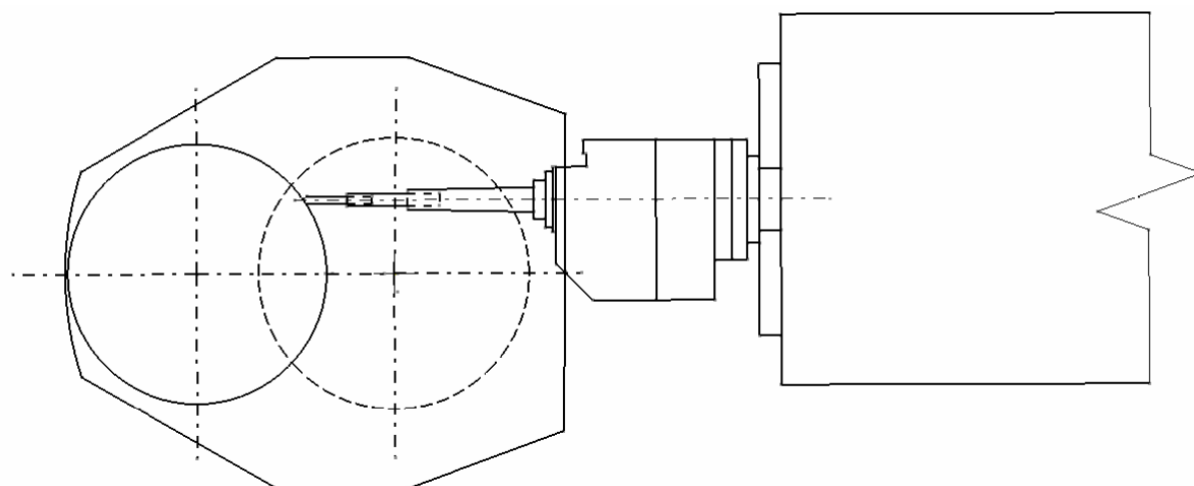


Obr.3.8 Natočení nástrojové soustavy pomocí obráběcí věže v rovině XZ při obrábění levého podpichu

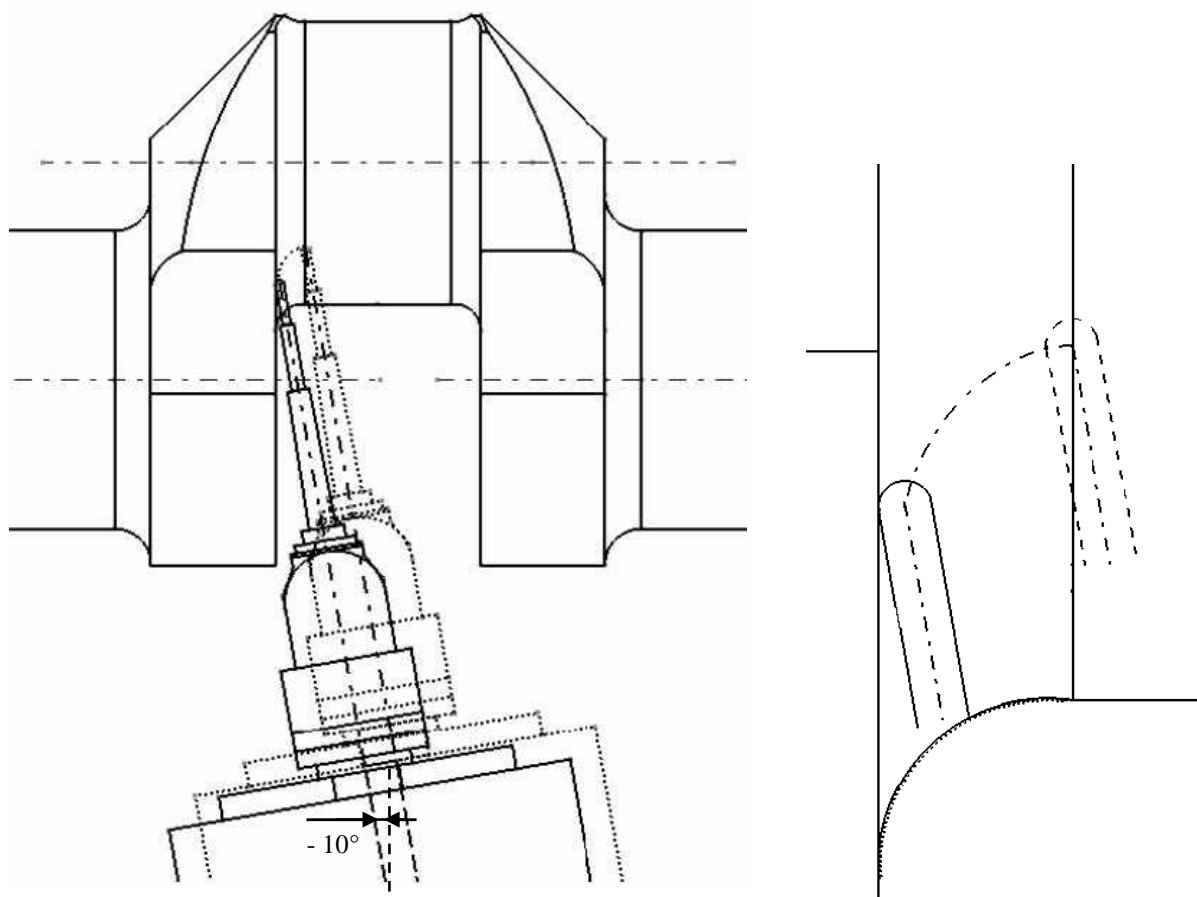
Jako vhodnější řešení se z hlediska menší komplikovanosti a větší univerzality jeví použití úhlové hlavy v pozici „na stojato“, kdy je možno využít užší části těla úhlové hlavy a také teoreticky větší tuhosti (vůči statickému působení hmotnosti nástrojové soustavy) díky příznivějšímu momentu setrvačnosti vyplývajícímu z polohy průřezu vůči ose setrvačnosti. Zvětšená délka nástrojové soustavy však neznamená také snížení hloubky obrábění v „kritické“ poloze oproti předchozímu řešení, neboť je vzhledem k vyvarování se obrábění nulovou řeznou rychlostí na vrcholu břitové destičky nutno nástroj umístit do pozice mimo osu zdvihového čepu - excentricky v ose Y a tedy blíže ke středu zdvihového čepu (viz obr.3.9.). Výsledná dráha nástroje v osách X a Z tedy nebude kruhová, ale spíše elipsovitá (viz obr.3.11).



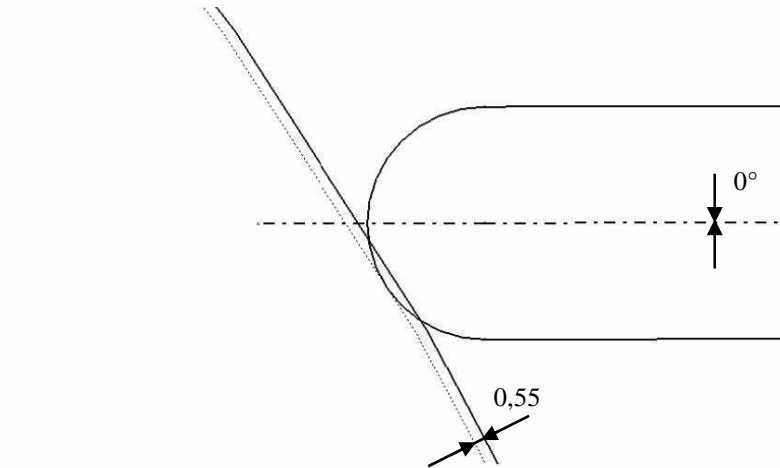
Obr.3.9 Hloubka obrábění v „kritické“ poloze



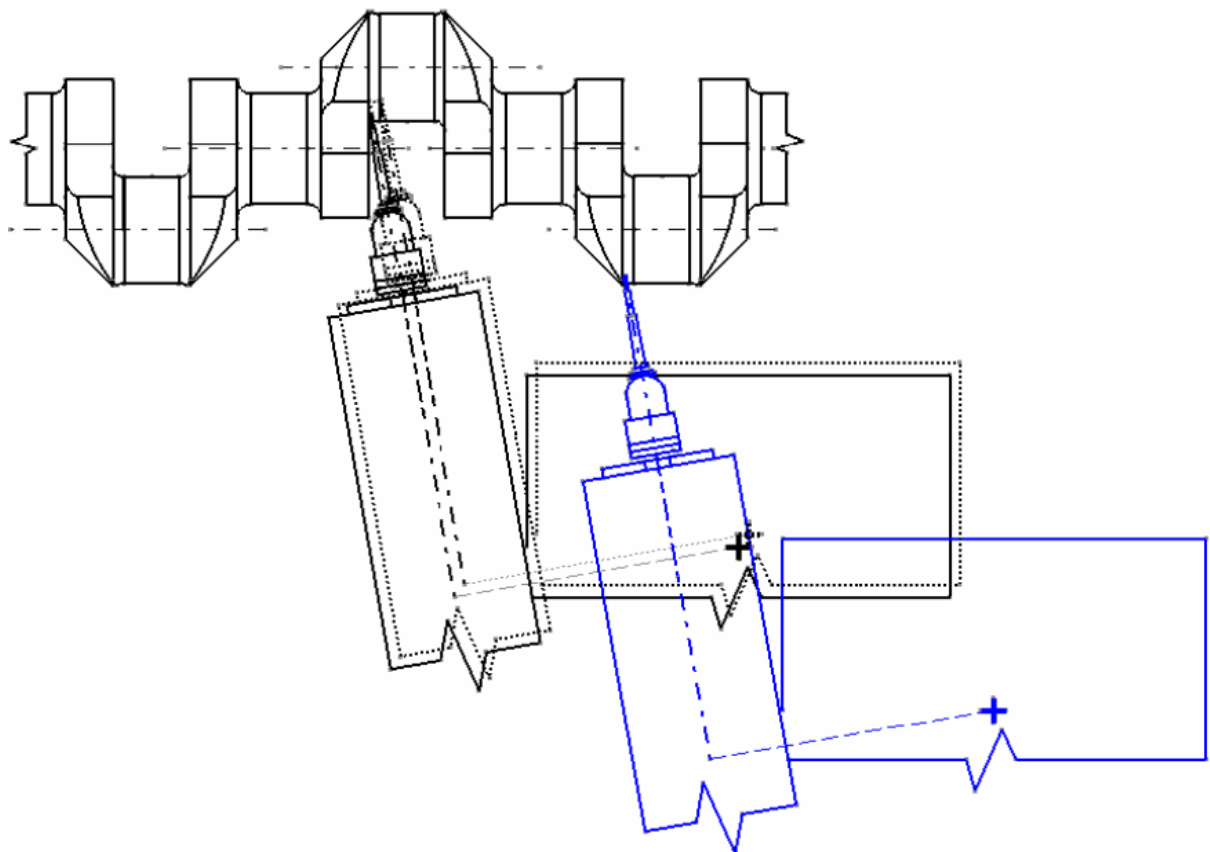
Obr.3.10 Nulové naklopení nástrojové soustavy v rovině YZ



Obr.3.11 Natočení nástrojové soustavy pomocí obráběcí věže v rovině XZ při obrábění levého podpichu



Obr.3.12 Grafická analýza nulového naklonění stopkové frézy s kruhovou destičkou o průměru 12 mm



Obr.3.13 Analýza nejmenší a největší vzdálenosti obráběcí věže od obrobku při obrábění levého podpichu

3.2.3 Volba řezných podmínek

Je-li vycházeno z technických parametrů stroje, patří k parametrům ovlivňujícím řezné podmínky především otáčky frézovacího vřetene. Maximální dosažitelnou hodnotou stroje (PC 4) je 1 800 otáček za minutu. Použitím úhlové hlavy CTAR 40 je tato maximální využitelná hodnota snížena na hodnotu 1 700 otáček za minutu (maximální dovolená hodnota otáček na vstupu úhlové hlavy), dle hodnot uvedených na výkresu v příloze č. 8. Čímž je na výstupu úhlové hlavy dosaženo 2 550 otáček za minutu (převod mezi vstupem a výstupem v poměru 1 : 1,5). Na základě upozornění odborného technika společnosti TGS, zastupující na českém trhu firmu PIBOMULTI, však tato hodnota platí pouze pro krátkodobé použití v délce 9 minut (viz příloha č.10). Pro nepřetržité použití je třeba snížit počet otáček na 70 % maxima, tedy na 1 190 otáček za minutu na vstupu úhlové hlavy (respektive) výstupu vřetena stroje, při získání 1 785 otáček za minutu na výstupu úhlové hlavy.

Dosažením této hodnoty do vzorce pro výpočet skutečné řezné rychlosti:

$$v_e = (D_e \cdot \pi \cdot n_{\max}) / 1000$$

$$v_e = (6,64 \cdot \pi \cdot 1\,785) / 1000$$

$$v_e = \underline{37,235 \text{ m/min}}$$

Pozn.: Hodnota D_e zjištěna z grafické analýzy v. softwaru CATIA

Vypočítaná hodnota skutečné řezné rychlosti zhruba odpovídá požadavkům kladeným na obrábění ocelí s tvrdostí nad 48 HRC (náležící do skupiny ISO H). Blíže odpovídá řezným podmínkám pro obrábění velmi tvrdých ocelí, pro něž platí rozsah řezné rychlosti v rozmezí 20 až 60 m/min. Mezi další řezné podmínky patří posuvová rychlost. Tento parametr je z hlediska stroje zastoupen posuvovou rychlostí podélných a příčných saní. Maximální dosažitelnou hodnotou u obou typů saní, je rychlost 6 000 milimetrů za minutu. Z hlediska použitého řezného nástroje, respektive použité kruhové destičky, je doporučenou hodnotou posuvová rychlost 0,15 až 0,35 mm na zub. Z hlediska obrobitelnosti materiálu a eliminace vzniku chvění, je autorem zvolena hodnota posuvové rychlosti 0,2 mm na zub. Ze vztahu pro výpočet posuvové rychlosti pak:

$$v_f = f_z \cdot z_{\text{eff}} \cdot n$$

$$v_f = 0,2 \cdot 1 \cdot 1\,785$$

$$v_f = \underline{357 \text{ mm/min}}$$

Z hlediska dosažení požadované struktury povrchu, respektive předepsané drsnosti $R_{\max} = 6,3 \mu\text{m}$, je nutné zvolit odpovídající velikost kroku frézy (posuv řádkování). Ze vztahu pro výpočet teoretické drsnosti:

$$R_{\text{teor}} = R_{\max} = h_{\max} \quad [22], [28]$$

$$R_{\text{teor}} = (D/2) - [(D^2 - f_c^2)/4]^{1/2} = f_c^2 / (4 \cdot D)$$

$$\Rightarrow f_c = (R_{\text{teor}} \cdot 4 \cdot D)^{1/2}$$

$$f_c = (R_{\text{teor}} \cdot 4 \cdot D)^{1/2}$$

Z praxe však vyplývá, „že skutečná dosahovaná drsnost je vždy větší, a to přibližně o 20 % teoretické hodnoty R_{teor} .“ [22]

$$\text{Proto: } 6,3 \mu\text{m} = 120 \% \Rightarrow 5,25 \mu\text{m} = 100 \% = R_{\text{teor}}$$

$$\Rightarrow f_c = (R_{\text{teor}} \cdot 4 \cdot D)^{1/2}$$

$$f_c = (0,00525 \cdot 4 \cdot 12)^{1/2}$$

$$\underline{f_c = 0,5 \text{ mm}}$$

3.2.4 Simulace (CAD/CAM)

Simulace je důležitá z hlediska předpokládaného času obrábění a kontroly podoby obrobeneho povrchu (struktury povrchu). Nejvíce s kinematickou podobou navrhovaného řešení obrábění zdvihových podpichů v softwaru CATIA koresponduje funkce 4-Axis Curve Sweeping, která však neumožňuje nastavení požadovaných naklopení nástroje při zachování požadované kinematiky. Simulace tak v tomto případě přináší pouze přibližný čas obrábění a přibližnou podobu obrobeneho povrchu.

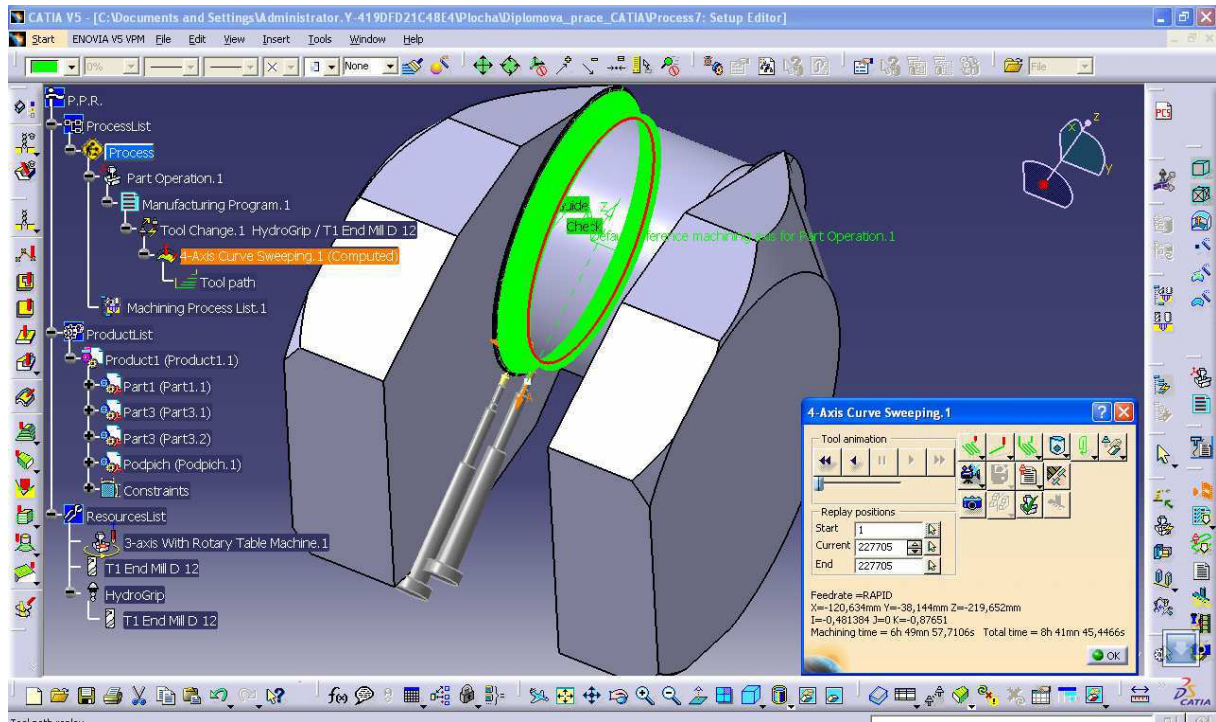
Simulační řezné podmínky:

$$f_c = 0,5 \text{ mm}$$

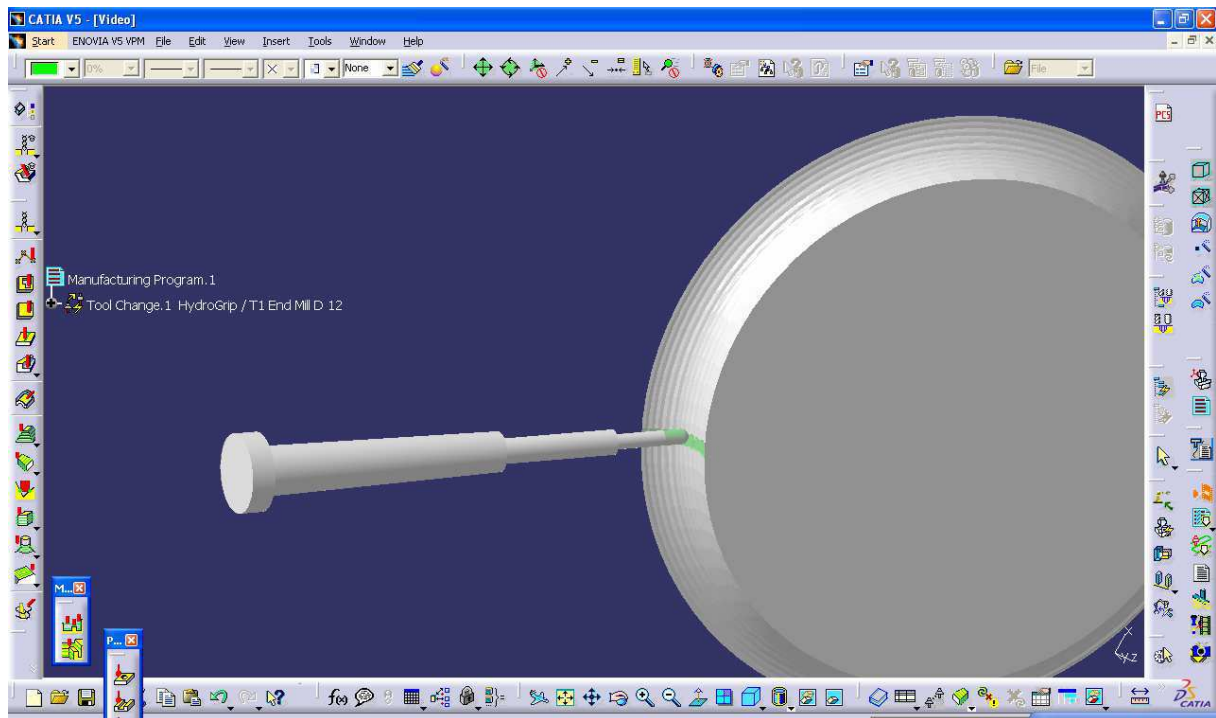
$$v_f = 357 \text{ mm/min}$$

$$n = 1785 \text{ ot/min}$$

Čas obrábění: 8h 42min (522 min)



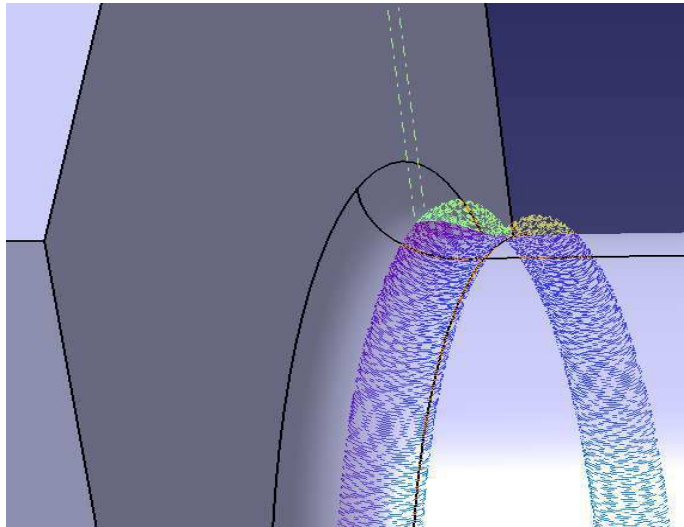
Obr.3.14 Výpočet drah nástroje a času obrábění v softwaru CATIA



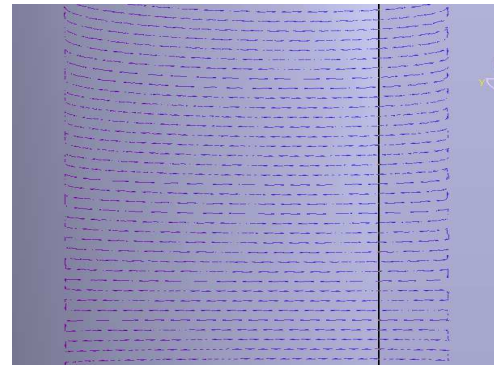
Obr.3.15 Model upínacích sklíčidel a stopkové frézy při simulaci obrábění v softwaru CATIA

Z hlediska struktury obrobeneho povrchu bylo simulací zjištěno, že při zvoleném kroku frézy 0,5 mm, je dosaženo předepsané drsnosti R_{max} v požadované toleranci, ovšem pro

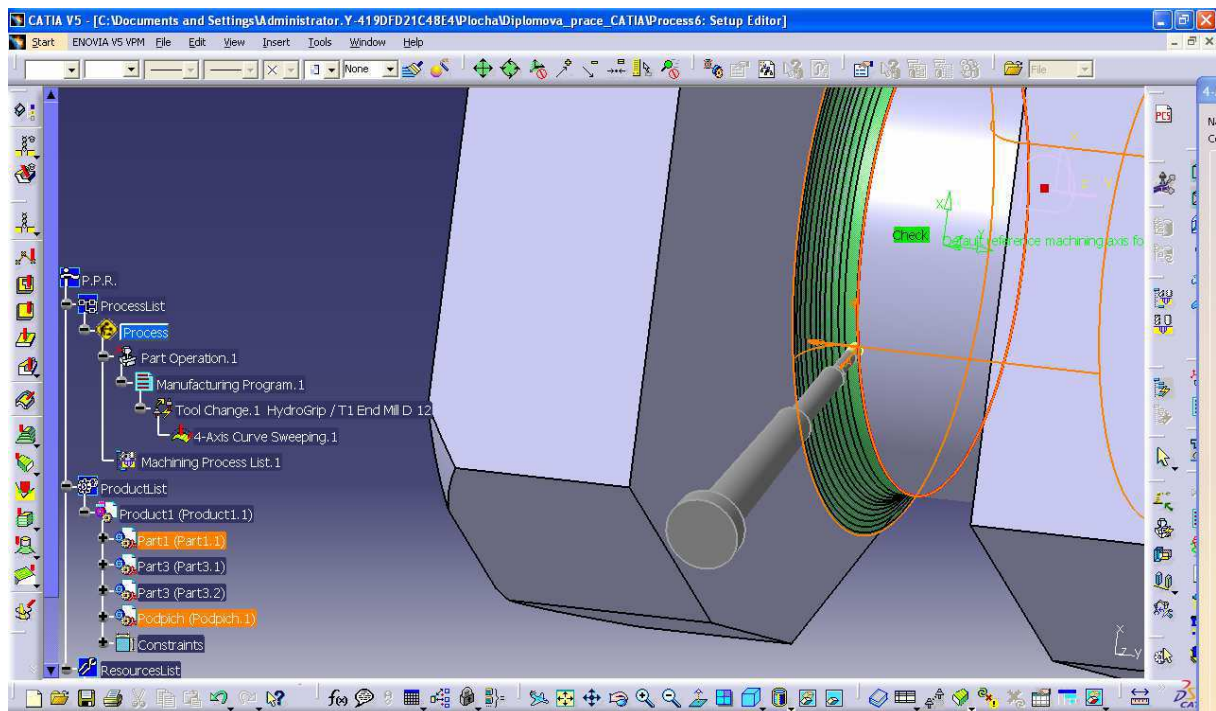
simulační podobu bez naklonění a pohybu nástroje po elipsovité dráze. Skutečnou podobu tak bude možno zjistit pouze reálným experimentem.



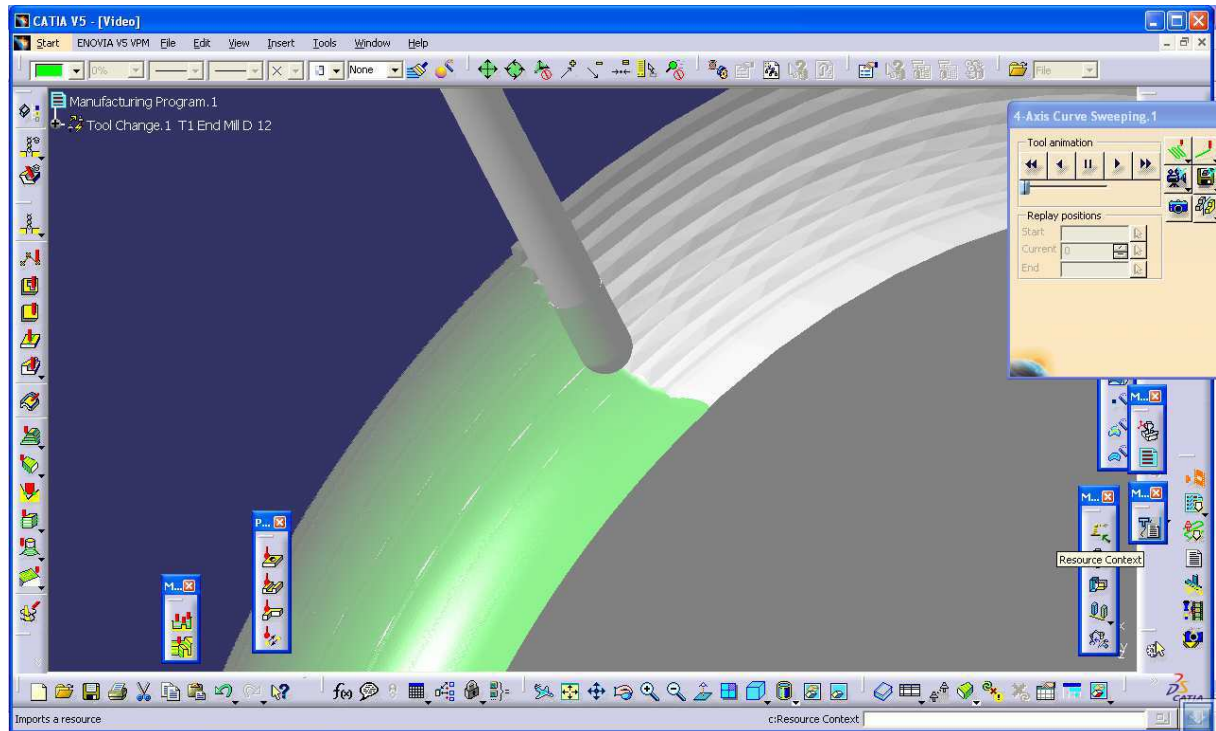
Obr.3.16 Vygenerované dráhy nástroje



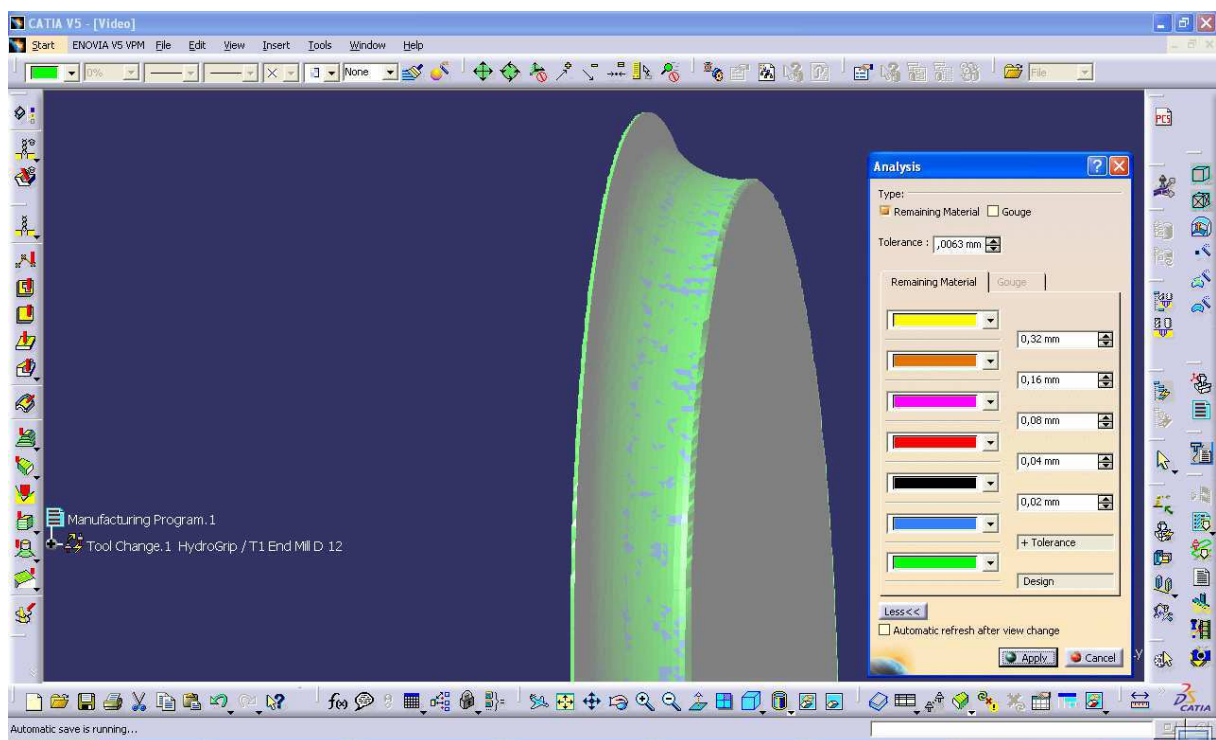
Obr.3.17 Detailnější pohled na dráhy



Obr.3.18 Podoba plochy před obráběním



Obr.3.19 Detailnější pohled na obráběnou plochu podpichu



Obr.3.20 Analýza povrchu obrobenej plochy podpichu

4 Technicko-ekonomické hodnocení

4.1 Předpokládané pořizovací náklady pro realizaci řešení č.1

Tab. 8 Předpokládané pořizovací náklady u řešení č.1

Název	Typ	Výrobce	Cena s DPH [Kč]
Redukční pouzdro	ČSN 22 043 (ISO60/ISO50)	PILSEN TOOLS	11 800
Úhlová hlava	CTAR 40 (ISO 50)	PIBOMULTI	568 587,50
Podpěrky úhlové hlavy		TGS	75 020
Skličidlo tužkové	HydroGrip (ISO 40)	SANDVIK Coromant	15 650
Skličidlo tužkové (válcová stopka)	HydroGrip	SANDVIK Coromant	8 920
Dokončovací fréza	Coromill Ball Nose Finishing	SANDVIK Coromant	10 270
Speciální úprava STOP-BLOCKU pro dvě různé polohy úhlové hlavy, aniž by bylo nutné jeho přestavování před každou změnou polohy hlavy		TGS	?
Celkem			> 690 247,50

4.2 Předpokládané pořizovací náklady pro realizaci řešení č.2

Tab. 9 Předpokládané pořizovací náklady u řešení č.2

Název	Typ	Výrobce	Cena s DPH [Kč]
Redukční pouzdro	ČSN 22 043 (ISO60/ISO50)	PILSEN TOOLS	11 800
Úhlová hlava	CTAR 40 (ISO 50)	PIBOMULTI	568 587,50
Podpěrky úhlové hlavy		TGS	75 020
Skličidlo tužkové	HydroGrip (ISO 40)	SANDVIK Coromant	15 650
Skličidlo tužkové (válcová stopka)	HydroGrip	SANDVIK Coromant	8 920
Dokončovací fréza	Coromill Ball Nose Finishing	SANDVIK Coromant	10 270
Celkem			≈ 690 247,50

4.3 Porovnání předpokládaného času obrábění

Tab. 10 Porovnání předpokládaného času obrábění

Reálný čas obrábění podpichu na Möll-aparátu [min]	Simulační čas obrábění podpichu na PC 4 pro řešení č.1 [min]	Simulační čas obrábění podpichu na PC 4 pro řešení č.2 [min]
120	≈ 522	≈ 522

4.4 Porovnání z hlediska důležitých činitelů

Tab. 11 Porovnání z hlediska důležitých činitelů

	Pořizovací náklady	Univerzálnost	Zásah do technických a konstrukčních parametrů stroje	Čas obrábění	Kvalitativní parametry obrobku
Řešení č.1	větší	menší	téměř žádný	přibližně stejný	?
Řešení č.2	menší	větší	téměř žádný	přibližně stejný	?

Z hlediska pořizovacích nákladů lze u řešení č.1, kdy je nutno počítat se speciální úpravou klasického STOP-BLOCKU pro dvě polohy úhlové hlavy (v podobě s opěrkami pro zvýšení tuhosti), předpokládat o něco vyšší náklady než u řešení č.2, kdy postačí klasická podoba STOP-BLOCKU s jedním otvorem pro jednu polohu úhlové hlavy. Z hlediska univerzálnosti lze za jednoznačně vhodnější řešení považovat řešení č.2, kdy je možno obrobit jak levý, tak pravý podpich zdvihového čepu bez nutnosti přepínání a překlápění úhlové hlavy. Z dalšího pohledu na univerzálnost lze předpokládat i větší rozsah použití řešení při variabilitě konstrukčních parametrů obráběného představitele, jelikož nastavená poloha úhlové hlavy (+10 / -10°) v kombinaci s užším tělem umožňuje jednak větší hloubku obrábění, potřebnou u představitele s větším poloměrem kliky a jednak umožňuje obrábění představitele s menší délkou zdvihových čepů (respektive s menší vzdáleností mezi rameny daného čepu). Z hlediska času obrábění lze předvídat u obou řešení přibližně stejnou hodnotu vzhledem ke stejné ploše obrábění, stejných řezných podmínkách a stejném řádkovacím kroku frézy. Z hlediska kvalitativních parametrů povrchu obrobku nelze dostupnou simulací získat relevantnější údaje, neboť software neumožňuje spojení potřebné kinematiky s potřebným nakloněním popřípadě excentrickým vyosením nástroje vůči ose obrobku (u řešení č.2). Vzhledem k eliminaci nulové rychlosti na vrcholu břitové destičky nelze předpokládat horší

stav než je ten simulovaný, ale určitě nelze rozhodnout, které řešení umožňuje dosažení lepších výsledků, neboť bude hrát roli i možné chvění. Stejně tak nelze předem odhadnout dopady jednotlivých řešení na stav integrity povrchu, jež je vzhledem k funkci součásti velmi důležitým prvkem, zjištěným až po reálném experimentu.

Přestože je na první pohled možno konstatovat, že úhlová hlava u řešení č.2 není zcela využita, lze oponovat tím, že vedle funkce naklápění má i další důležitou funkci, a tím je převodový poměr otáček, jenž umožňuje snížení zátěže na stroj při dosažení téměř shodných otáček, jako při maximálním výkonu stroje. Vedle toho samozřejmě slouží i jako prodlužování prvek nástrojové soustavy s poměrně příznivou tuhostí (považuje-li se za prioritní tuhost vůči působící hmotnosti nástrojové soustavy).

5 Závěr

Cílem této práce byl vedle rozšíření povědomí o poměrně málo známých metodách obrábění používaných při obrábění vybraného představitele - klikové hřídele na strojích produkovaných společností ŠKODA MACHINE TOOL a.s., především návrh progresivnějšího řešení, jímž by bylo možno eventuálně částečně nahradit současný stav obrábění. Návrh řešení má společnosti sloužit jako podklad k úvaze nad reálným experimentem.

V úvodu práce nejdříve autor stručně seznamuje čtenáře s obecně pojatou problematikou obrábění na těžkých obráběcích strojích a stanovuje cíle řešení. Poté následuje charakteristika představitele z pohledu jeho funkce, rozdělení, materiálu, konstrukce a výrobců, respektive uživatelů těžkých obráběcích strojů. V další části jsou nejdříve popisovány jednotlivé podoby konvenčních metod obrábění představitele (soustružení a frézování) a pro ně určené těžké obráběcí stroje. V návaznosti na předešlé je popisována progresivní metoda obrábění, používaná při obrábění představitele na speciálních NC strojích, metoda rotačního čelního frézování, pro kterou byly speciální NC stroje společností vyvinuty. Tyto stroje, označované jako PC 6, PC 5 a PC 4 jsou zde taktéž podrobněji popisovány. Rozdíl ve výrobě představitele na konvenčních a NC strojích je posléze demonstrován pomocí dvou výrobních postupů. Tyto postupy se týkají konkrétního představitele, uvedeného na výkrese v příloze č.11. (a vymodelovaného autorem dle výkresu pro lepší představivost v analytických částech práce). Na základě předcházejících poznatků je autorem vyhodnocen možný prostor pro jiná progresivnější řešení. Jako možný prostor je shledána oblast obrábění rádiusových přechodů mezi zdvihovým čepem a ramenem hřídele při obrábění načisto. Přičemž hlavní autorovo myšlenkou je zde odstranění stroje, zvaného Möll-aparát za účelem zjednodušení výrobního postupu představitele. Pro hlubší pochopení oblasti obrábění rádiusových přechodů je podrobně analyzován technologický postup současného stavu obrábění představitele, na jehož základě jsou autorem získány důležité údaje pro další část práce, kterou je návrh nových progresivnějších řešení. V této části jsou autorem navrženy dvě konkrétní možnosti realizace progresivnějšího řešení, vyplývající z daných omezení (kritérií). Pomocí softwaru CATIA, informací získaných komunikací s praxí a úvahou autora, je poté v závěrečné části práce sestavena podoba technicko-ekonomického hodnocení, jež bude pro daný účel (cíl práce) nejvíce zajímat zadavatele této práce. Diplomová práce splnila očekávání zadavatele.

Dosažené výsledky spolu se softwarovými soubory byly předány technickému úseku za účelem rozvahy nad uskutečněním reálného experimentu.

Z řešení diplomové práce vyplynulo, že je v současné době možno se standardně dostupnými prostředky realizovat některá konkrétní řešení, jimiž lze na speciálním NC stroji PC 4 progresivněji obrobít rádiusový přechod (v praxi zvaný „podpich“) mezi ramenem a zdvihovým čepem hřídele, především za účelem minimalizace nasazených strojů, minimalizace počtu přepínání součástí a minimalizace manipulace se součásti. Zároveň však vyplynula řada komplikací, jež tato řešení jednoznačně neupřednostňují a spíše nabádají k setrvání v pozici současného stavu, opírajícího se o konvenční stroj (Möll-aparát) a jeho na první pohled „neproduktivní“ metodu obrábění, jejíž princip se nezměnil od doby prvotních strojů.

Jako vhodnější řešení se vzhledem k působícím činitelům a především požadavku zadavatele vystačení si pouze se standardními prostředky, jeví použití úhlové hlavy CTAR 40 v pozici „na stojato“ (s nulovým naklopením nástroje) a nástrojovým systémem, tvořeným dvěma sklíčovými a stopkovou frézou s vyměnitelnou břitovou destičkou kruhového tvaru ze slinutých karbidů s depozicí tenké vrstvy, přičemž je vřeteník obráběcí věže natočen o $+10$ či -10° , v závislosti na tom, jaký rádiusový přechod je aktuálně obráběn. Vzhledem ke stejnému nástrojovému vybavení lze pro experimentální ověření doporučit i řešení č.1, jehož potenciál může být skryt především v oblasti kvalitativních parametrů obrobené plochy.

Hranice použití navrhovaného „standardního“ řešení je dána několika zásadními parametry, definovanými v předešlých částech práce. Mezi výhody tohoto řešení lze zařadit poměrně přijatelné pořizovací náklady (cca 690 247,5 Kč), minimální zásah do konstrukce stroje a značný rozsah univerzálnosti použití i pro jiné zástupce daného představitele, jehož parametry týkající se kritické polohy značně nepřekračují parametry ukázkové hřídele. Mezi nevýhody se jednoznačně řadí čas obrábění, závislý na předepsaném požadavku drsnosti obrobené plochy a parametrech nástroje, jež jsou pevně dány dostupnými možnostmi, respektive neměnitelnými kritérii. V porovnání se současným stavem je předpokládaný čas obrábění u nového řešení zhruba 4,35-krát vyšší.

Je možné konstatovat, že progresivnější cesta standardními prostředky není nereálná, ale jistě není zcela efektivní a její nasazení může najít uplatnění pouze v omezené míře při uvážení všech vznikajících komplikací. Není proto divu, že si Möll-aparát i přes svoji stoletou „konvenčnost“ drží ve výrobním postupu vedle speciálních NC strojů stále svoji pozici.

Možné a zdůvodnitelné uplatnění by toto řešení (popřípadě jeho princip přenesený do speciálních - nestandardních a více vyhovujících prostředků, umožňujících optimálnější rezné podmínky) mohlo po experimentálním ověření nalézt v případech, kdy se výrobcí představitelé již nevyplatí pořízení „konvenčního“ stroje (Möll-aparátu) daných parametrů oběžného věnce, a to z důvodu malého počtu vyráběných součástí v daném rozmezí průměrů čepů, tedy předpokládané nízké kapacitní vytíženosti „konvenčního“ stroje, ale zároveň při dostatečných rezervách v kapacitní vytíženosti NC stroje (PC 4). V takovém případě by mohla být výhodnější i časově náročnější varianta obrábění. Tato aplikace by se zřejmě týkala především „menších“ zástupců představitelé, s menším průměrem čepů a menším počtem zalomení, u nichž by časy obrábění nebyly tak značné.

Úplným závěrem lze říci, že progresivnější řešení obrábění nemusí v případě těžkých obráběcích strojů znamenat i řešení vhodnější.

Z pohledu autora bylo řešení této práce velmi přínosné, neboť si mohl poznatky získané z širokého spektra absolvovaných předmětů osvojit v praxi na konkrétním případě, navíc ve společnosti zvučného jména, jejíž výrobní zaměření je velmi specifické. Autor tak doufá, že práce osloví mnohé čtenáře a rozšíří tak zájem o tuto zajímavou oblast obrábění.

Je však třeba podotknout, že k hlubšímu proniknutí do dané problematiky a možná komplexnějšímu pohledu, je třeba mnohem delší praxe, neboť daná problematika vyžaduje široký záběr znalostí a především zkušeností.

Seznam použité literatury a internetových zdrojů

- [1] ČERNOCH, S. *Strojně technická příručka.*, 11. doplněné vydání, Praha: SNTL, 1959.
- [2] DOBROVOLNÝ, B. *Technická příručka pro konstruktéry.*, 2. rozšířené vydání, Praha: Dr Eduard Grégr a syn, 1944.
- [3] BRENÍK, P. *Konstrukce a výpočty velkých obráběcích strojů.* Praha: SNTL, 1967.
- [4] DEJMEK, J. *Frézy a frézování.* Praha: Ústav pro učební pomůcky průmyslových a odborných škol, 1946.
- [5] DOBROVOLNÝ, B. *Příručka pro soustružníky.* Praha: Vydavatelstvo ROH, 1954.
- [6] LÁSZLÓ, V., PETRŽELA, J., POKUTA, P., KLIBER, J. *Vývoj a zavedení nové technologie kování malých středních kusů zalomených klikových hřídelí v záпустce.* [online]. [cit. 2012-11-16]. Dostupné z WWW: <http://www.metal2013.com/files/proceedings/metal_09/Lists/Papers/121.pdf>. Hradec nad Moravicí: Vítkovice Heavy Machinery, a.s., Vítkovice ITS, a.s., VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009.
- [7] ŠKODA Machine Tool, a.s.. *Podnikové podklady, konzultace.* Plzeň, 2012.
- [8] ŠKODA Machine Tool, a.s.. [online]. [cit.2012-11-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.cz-smt.cz/>>.
- [9] *ŠKODA Machine Tool News.*, firemní informační magazín 2/2008, článek: Zájem o soustruhy na klikové hřídele roste, Plzeň: ŠKODA Machine Tool, 2008.
- [10] *Vypracování bakalářské/diplomové práce.* [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.fst.zcu.cz/pro-studenty/jak-na-to-FST/diplomova-bakalarska-prace-FST/vypracovani-prace-FST.html>>. Plzeň: ZČU.
- [11] *U-noviny pro akademiky /listopad-prosinec 2012/.*, článek: Uznání za světově unikátní řešení, Plzeň: ZČU, 2012.
- [12] ŘEHOŘ, J. *Netradiční obrábění - 5. přednáška z předmětu KTO/MTC.* Plzeň: ZČU, Katedra technologie obrábění.
- [13] Sandvik Coromant. *Rotační frézování - volba metody, volba nástrojů, metodické pokyny.* [online]. [cit.2012-11-20]. Dostupné z WWW: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/turn_milling/pages/default.aspx>.
- [14] Vítkovice Heavy Machinery a.s.. [online]. [cit. 2012-11-22]. Dostupné z WWW: <http://www.vitkovice.cz/gallery/main/list/id/226/site/9?KeepThis=true&TB_iframe=true&height=650&width=481>.
- [15] Ingersoll Cutting Tools. *Frézovací nástroje 2012.*, 2012.
- [16] *Bearbeitung einer schweren Kurbelwelle bei der GHH Sterkrade.* [online]. [cit. 2012-12- 21]. Dostupné z WWW: <<http://www.metropoleruhr.de/kultur/film-foto/industriefilm-ruhr-2011/ghh-werk-sterkrade.html>>.

- [17] Deutsche Fotothek. [online]. [cit. 2012-12-21]. Dostupné z WWW: <http://fotothek.slub-dresden.de/fotos/df/st/0146000/df_st_0146745.jpg>.
- [18] *MM Spektrum* 2012/10, str.84 ,rubrika: Výroba/obrábění, článek: Automatický systém aktivního řízení lunet pro ustavení klikových hřídelí při opr.. [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/automaticky-system-aktivniho-rizeni-lunet-pro-ustaveni-klikovych-hrideli-pri-opr.html>>.
- [19] PILSEN STEEL, s.r.o.. [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.pilsensteel.cz/cs/reference/>>.
- [20] Vítkovice Heavy Machinery a.s.. *Jubilejní čtyřtisící zalomená hřídel* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.vitkovicemachinery.com/news/message/detail/id/727/lang/cs/site/18>>.
- [21] Rajče.net, galerie uživatele jdlavicka [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z WWW: <http://jdlavicka.rajce.idnes.cz/Plzen-Skoda_Kovarny_-_den_otevrenych_dveri/>.
- [22] BRYCHTA, J., SADÍLEK, M., ČEP, R., PETRŮ, J. *Progresivní metody v obrábění*. [online]. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z WWW: <http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/Progresivni_metody_v_obrabeni_FINAL.pdf>., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Katedra obrábění a montáže, 2011.
- [23] PILSEN TOOLS, s.r.o.. [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z WWW: <http://www.pilsentools.cz/dokum/k-listy/REDUKCNI_POUZDRA80.pdf>.
- [24] TGS nástroje-stroje-technologické služby s.r.o.. [online]. 2013. Dostupné z WWW: <<http://www.tgs.cz/cs/>>.
- [25] Sandvik Coromant. *Rotační nástroje - frézování 2012.*, 2012.
- [26] Sandvik Coromant. *Rotační nástroje - nástrojové systémy 2012.*, 2012.
- [27] Bohdan Bolzano s.r.o.. [online]. [cit. 2012-12-14]. Dostupné z WWW: <http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf>.
- [28] Pramet. *Příručka obrábění 2004*. [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupné z WWW: <http://www.mavslovakia.sk/pdf/pramet/prirucka_cz.pdf>.

Seznam obrázků

Obr. 2.1	Jednotlivé části hřídele	3
Obr. 2.2	Volné kování polotovaru velké monoblokové hřídele na počátku 20. století - Vítkovice	4
Obr. 2.3	Volné kování polotovaru velké monoblokové hřídele v současnosti - Plzeň	4
Obr. 2.4	Poloskládaná hřídel	5
Obr. 2.5	Zalisování	5
Obr. 2.6	Celoskládaná hřídel	5
Obr. 2.7	Části poloskládané hřídele	5
Obr. 2.8	Kování středního kusu	5
Obr. 2.9	Kování středního kusu	5
Obr. 2.10	Součinitel tvaru α v závislosti na druhu namáhání a poměru ρ/d	6
Obr. 2.11	Zápich-odlehčení	6
Obr. 2.12	Empirické vzorce pro výpočet hlavních rozměrů klikové hřídele dle typu pístového stroje	7
Obr. 2.13	Mazací otvory	7
Obr. 2.14	Vzdálenost - a	7
Obr. 2.15	Protizávaží	7
Obr. 2.16	Největší celistvá kliková hřídel na světě (PILSEN STEEL s.r.o., 1997)	8
Obr. 2.17	Vložka	9
Obr. 2.18	Obrábění klikového čepu	9
Obr. 2.19	Rozpěrné šrouby	9
Obr. 2.20	Univerzální hrotový soustruh řady SR	10
Obr. 2.21	Měření „dýchání“ klikové hřídele	10
Obr. 2.22	Suport s výsuvnými lamelami	11
Obr. 2.23	Pohled na podpěru	11
Obr. 2.24	Schématické znázornění univerzálního hrotového soustruhu při obrábění hlavních čepů	11
Obr. 2.25	Möll-aparát	12
Obr. 2.26	Schématické znázornění Möll-aparátu při obrábění klikových čepů	12
Obr. 2.27	Möll-aparát okolo roku 1910	13
Obr. 2.28	Möll-aparát okolo roku 1940	13
Obr. 2.29	Rozevíretelný věnec dnes	13
Obr. 2.30	Pozice zdvihového čepu při obrábění	13

Obr. 2.31	Nástroj při obrábění zdvihového čepu	13
Obr. 2.32	Vertikální frézovací stroj s pevným stolem	14
Obr. 2.33	Ustavování velké klikové hřídele	14
Obr. 2.34	Horizontální frézovací stroj při obrábění středního kusu	14
Obr. 2.35	Obecná podoba rotačního čelního frézování	15
Obr. 2.36	Kinematická drsnost obrobené plochy u rotačního čelního frézování.....	16
Obr. 2.37	Znázornění vzájemných závislostí, souvisejících s velikostí excentrického posunutí frézy vůči ose obrobku, kde t = těživa, b_s = čelní rozměr břitové destičky	16
Obr. 2.38	Rotační čelní frézování klikového čepu na NC stroji	17
Obr. 2.39	Pohled na frézovací hlavu	17
Obr. 2.40	Závislost šířky záběru (šířky válcové plochy na obrobku) a počtu excentrických posunutí nástroje na čelním rozměru b_s vyměnitelné břitové destičky	18
Obr. 2.41	Velikosti excentrických posunutí nástroje a šířka válcové plochy v závislosti na parametrech D a b_s	18
Obr. 2.42	Hrubovací nástroj	20
Obr. 2.43	Dokončovací nástroj s více destičkami	20
Obr. 2.44	Dokončovací nástroj s méně destičkami	20
Obr. 2.45	Bezpečnostní destička u hrubovacího nástroje	20
Obr. 2.46	Bezpečnostní destička u dokončovacího nástroje.....	20
Obr. 2.47	Rotační čelní frézování čepu s excentrickým posunutím nástroje $e_n < D/2$	21
Obr. 2.48	Pohled na obráběný čep z profilu	21
Obr. 2.49	Rotační čelní frézování čepu s excentrickým posunutím nástroje $e_n = D/2$	22
Obr. 2.50	Pohled na obráběný čep z profilu	22
Obr. 2.51	Znázornění pohybů vykonávaných nástrojem (respektive vřetenem obráběcí věže) a obrobkem (respektive hlavním vřetenem stroje) v prostoru, při čelním rotačním frézování hlavních (ložiskových) čepů, dole pak profilová pozice při obrábění oběma vřeteny obráběcích věží najednou	23
Obr. 2.52	Znázornění pohybů vykonávaných nástrojem (respektive vřetenem obráběcí věže) a obrobkem (respektive hlavním vřetenem stroje) v prostoru, při čelním rotačním frézování klikových (zdvihových) čepů	23
Obr. 2.53	Speciální NC stroj typu PC 6	24
Obr. 2.54	Speciální NC stroj typu PC 5	24
Obr. 2.55	Schématické znázornění NC stroje typu PC6 (PC5)	25
Obr. 2.56	Schématické znázornění NC stroje typu PC4	26
Obr. 2.57	Model hřídele dle výkresu v příloze č.11	27

Obr. 2.58 Model hřídele z jiných úhlů pohledu	28
Obr. 2.59 Graf: Podíl jednotlivých strojů na obrábění představitele	30
Obr. 2.60 Graf - Podíl jednotlivých strojů na obrábění představitele	32
Obr. 2.61 Zdvihový čep s podpichy z výkresu v příloze č.11	34
Obr. 2.62 Detail podpichu zdvihového čepu	34
Obr. 2.63 Vizualní rozbor obrábění zdvihového podpichu na základě technologického postupu	34
Obr. 2.64 Rotační čelní frézování zdvihového čepu na dva průchody pomocí dvou obráběcích věží	35
Obr. 2.65 Graf: Podoba rádiusového přechodu vzniklého rotačním čelním frézováním klikového čepu na vzdálenosti 14 mm od vnitřní strany ramena při daných parametrech.....	36
Obr. 2.66 Frézování vnitřní strany ramena frézovací hlavou	37
Obr. 2.67 Relativní znázornění jednotlivých průchodů nástroje při frézování vnitřní strany ramena	38
Obr. 2.68 Skutečné znázornění průchodu (konkrétně 3. průchod) nástroje během frézování vnitřní strany ramena na speciálním NC stroji	38
Obr. 2.69 Frézování vnitřní strany ramena čelní válcovou frézou	39
Obr. 2.70 Hrubování podpichu kotoučovou frézou	40
Obr. 2.71 Předpokládané pozice nástroje (břitových destiček) nástroje během hrubování podpichu	41
Obr. 2.72 Graf: Podoba rádiusového přechodu vzniklého rotačním čelním frézováním klikového čepu na vzdálenosti 6 mm od vnitřní strany ramena při daných parametrech	43
Obr. 2.73 Předpokládané pozice nástroje (břitových destiček) nástroje během hrubování podpichu	43
Obr. 2.74 Předpokládaná 3D podoba podpichu po hrubování na PC 4 (v softwaru CATIA)	44
Obr. 3.1 Důležitá hlediska a jejich činitelé	45
Obr. 3.2 Možné podoby metody obrábění rádiusového přechodu klikového čepu z hlediska skutečné (vlevo) a relativní (vpravo) kinematiky obrobku a nástroje během obrábění	49
Obr. 3.3 Hloubka obrábění v „kritické“ poloze	49
Obr. 3.4 Nástrojový systém Hydro-Grip od firmy Sandvik Coromant	50
Obr. 3.5 Grafická analýza naklonění stopkové frézy s kruhovou destičkou o průměru 12 mm	51
Obr. 3.6 Naklonění nástrojové soustavy pomocí úhlové hlavy v rovině YZ	53

Obr. 3.7	Natočení nástrojové soustavy pomocí obráběcí věže v rovině XZ při obrábění pravého podpichu	53
Obr. 3.8	Natočení nástrojové soustavy pomocí obráběcí věže v rovině XZ při obrábění levého podpichu	54
Obr. 3.9	Hloubka obrábění v „kritické“ poloze	54
Obr. 3.10	Nulové naklopení nástrojové soustavy v rovině YZ	55
Obr. 3.11	Natočení nástrojové soustavy pomocí obráběcí věže v rovině XZ při obrábění levého podpichu	55
Obr. 3.12	Grafická analýza nulového naklopení stopkové frézy s kruhovou destičkou o průměru 12 mm	56
Obr. 3.13	Analýza nejmenší a největší vzdálenosti obráběcí věže od obrobku při obrábění levého podpichu	56
Obr. 3.14	Výpočet drah nástroje a času obrábění v softwaru CATIA.....	60
Obr. 3.15	Simulační model upínacích sklíčidel a stopkové frézy při simulaci obrábění v softwaru CATIA	59
Obr. 3.16	Vygenerované dráhy nástroje	59
Obr. 3.17	Detailnější pohled na dráhy	59
Obr. 3.18	Podoba plochy před obráběním	60
Obr. 3.19	Detailnější pohled na obráběnou plochu podpichu	60
Obr. 3.20	Analýza povrchu obrobené plochy podpichu	61

Seznam tabulek

Tab. 1	Podmínky zkoušky drsnosti pro frézu INGERSOLL (Ø 125 mm)	20
Tab. 2	Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na konvenčních strojích	28
Tab. 3	Výrobní postup představitele pro metody obrábění používané na NC strojích	29
Tab. 4	Důležité parametry vřeteníku NC stroje typu PC 4	46
Tab. 5	Důležité parametry podélných a příčných saní NC stroje typu PC 4	46
Tab. 6	Důležité parametry obráběcí věže NC stroje typu PC 4	46
Tab. 7	Technologické příslušenství možného řešení	52
Tab. 8	Předpokládané pořizovací náklady u řešení č.1	62
Tab. 9	Předpokládané pořizovací náklady u řešení č.2	62
Tab.10	Porovnání předpokládaného času obrábění	62
Tab.11	Porovnání z hlediska důležitých činitelů	63

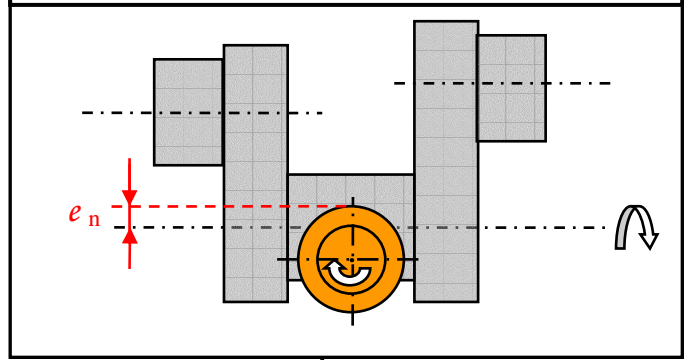
Seznam příloh

Příloha č.1	Postup obrábění hlavních a klikových čepů klikové hřídele na speciálních NC strojích metodou rotačního čelního frézování	75
Příloha č.2	Technické parametry speciálních NC strojů typu PC 6 a PC 5	81
Příloha č.3	Technické parametry speciálního NC stroje typu PC 4	84
Příloha č.4	Konstrukční řešení speciálních NC strojů typu PC 6 a PC 5, (PC 4)	87
Příloha č.5	Požadavky speciálních NC strojů (PC 6, PC 5 a PC 4) z hlediska řídicího systému	91
Příloha č.6	Ukázkový kovářský náčrt pro výrobu polotovaru volně kované monoblokové hřídele	95
Příloha č.7	Vlastnosti materiálu 42CrMo4	97
Příloha č.8	Technické a konstrukční parametry technologického příslušenství možných progresivnějších řešení	99
Příloha č.9	Výkres úhlové hlavy CTAR 40 s opěrným vylepšením pro zvýšení tuhosti od zástupce firmy PIBOMULTI v ČR - společnosti TGS	107
Příloha č.10	Komunikace s dodavateli, popřípadě výrobcí technologického příslušenství ..	109
Příloha č.11	Výkres konkrétního představitele - klikové hřídele (volně vloženo)	116

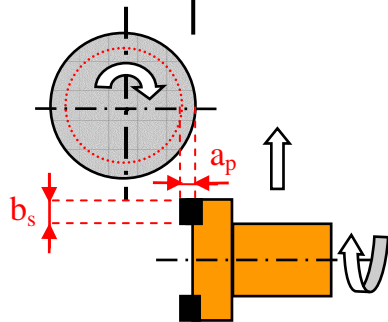
PŘÍLOHA č. 1

**Postup obrábění hlavních a klikových čepů klikové hřídele
na speciálních NC strojích metodou rotačního čelního frézování,
znázorněný ve formě vývojových diagramů**

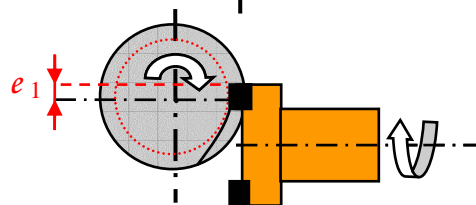
**Čelní rotační frézování hlavního
(ložiskového) čepu s jedním
průchodem nástroje (= úzký čep)**



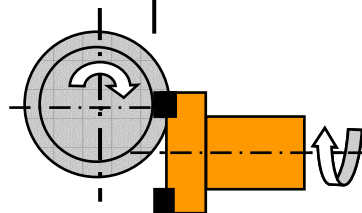
Radiální nájezd rotujícího nástroje (čelní frézovací hlava) nastaveného na požadovanou hloubku záběru řezu - a_p k otáčejícímu se obrobku

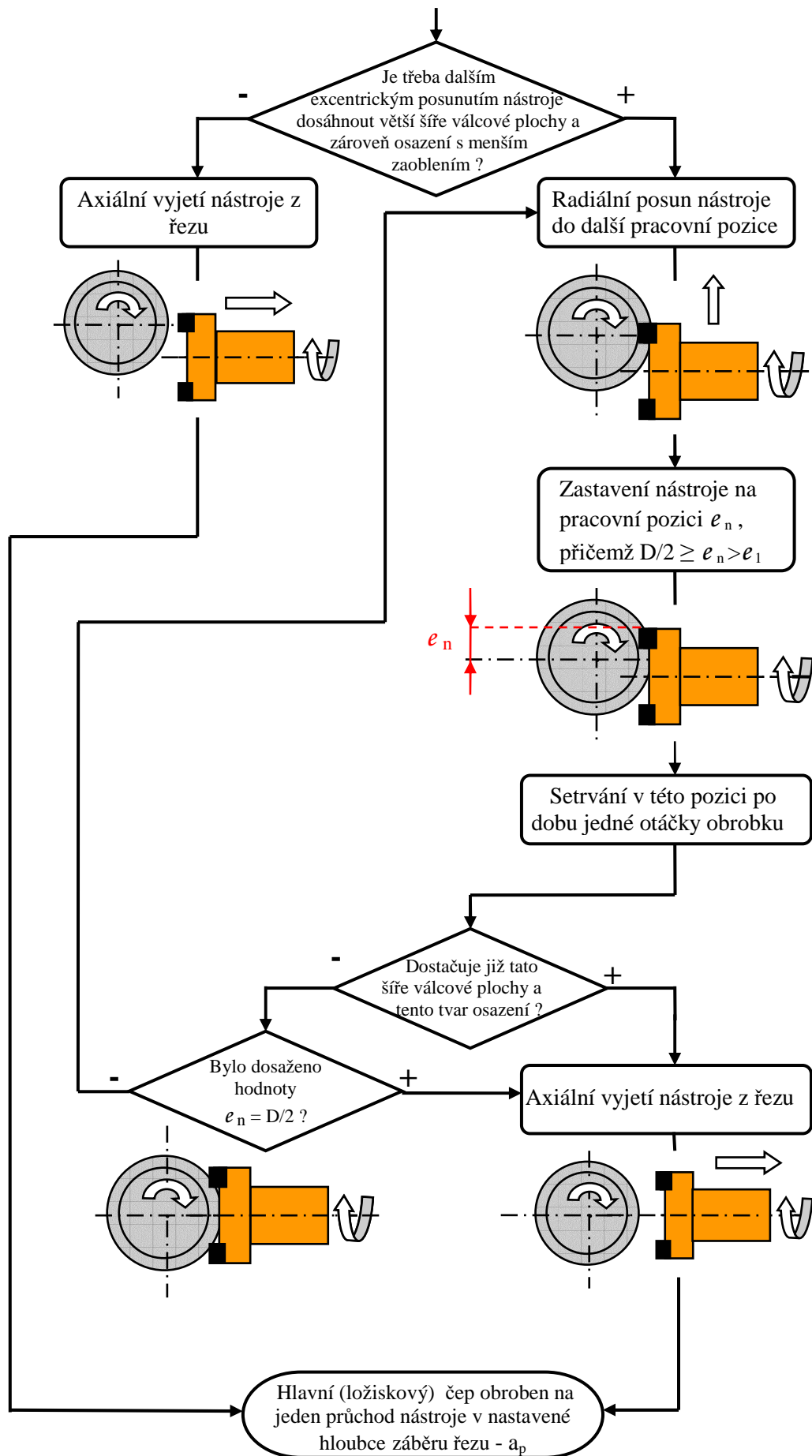


Zastavení nástroje na první pracovní pozici s excentrickým posunutím e_1 ,
kdy $e_{1 \max} = b_s$ (velikost těžvy omezena rozměrem břitové destičky)

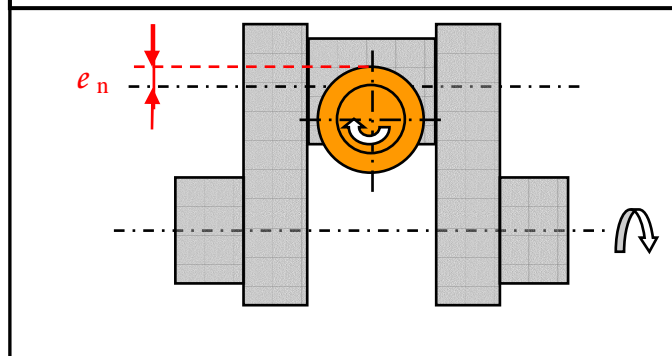


Setrvání v této pozici po dobu jedné otáčky obrobku

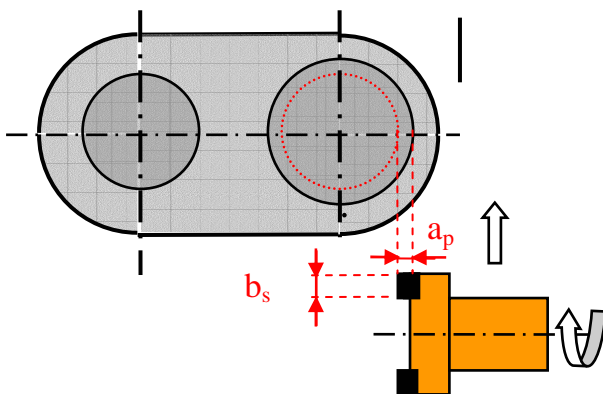




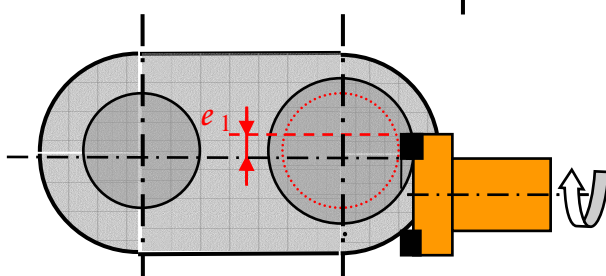
Čelní rotační frézování klikového
(zdvihového) čepu s jedním
průchodem nástroje (= úzký čep)



Radiální nájezd rotujícího nástroje (čelní frézovací hlava) nastaveného na požadovanou hloubku záběru řezu - a_p k nepohybujícímu se obrobku

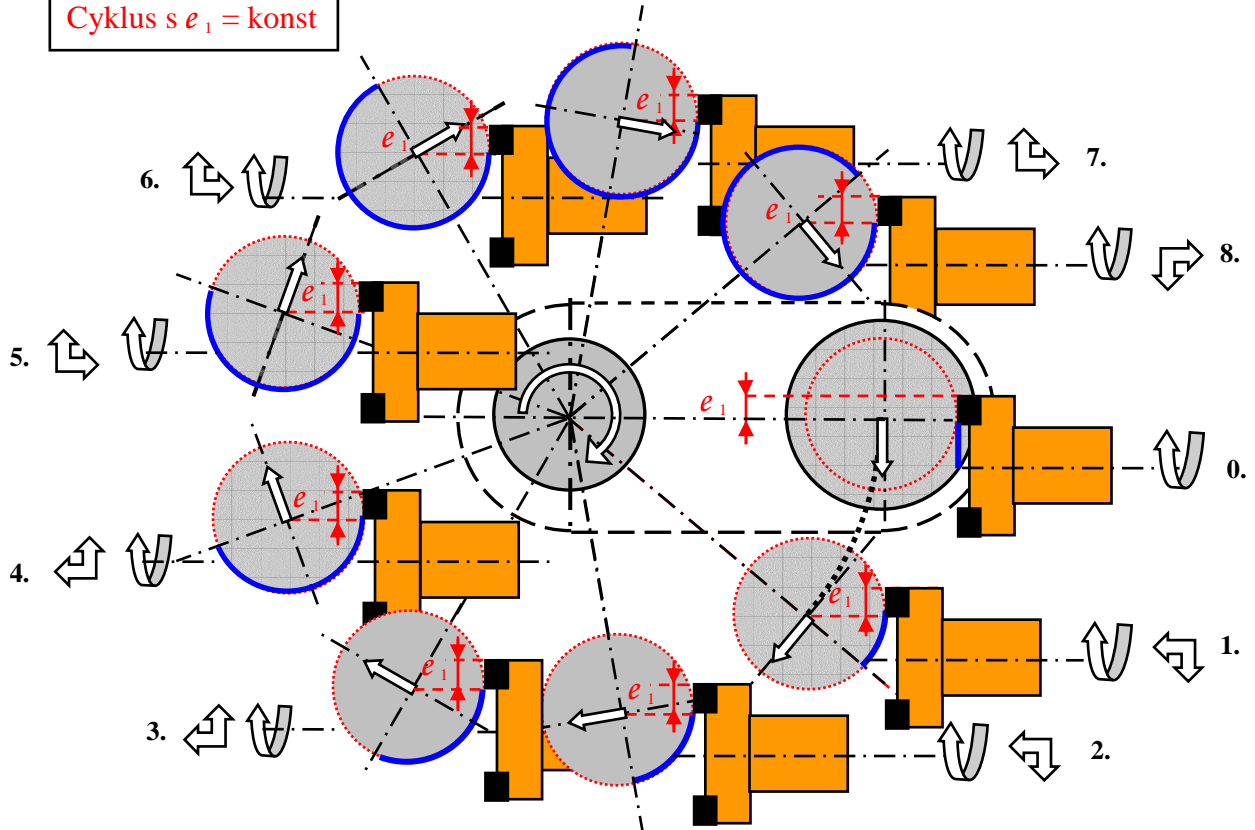


Zastavení nástroje na první pracovní pozici s excentrickým posunutím e_1 , kdy $e_{1 \max} = b_s$
(velikost těživy omezena rozměrem břitové destičky)

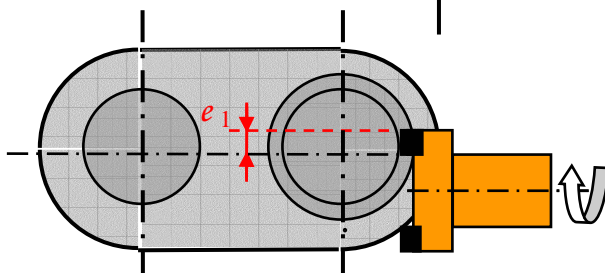


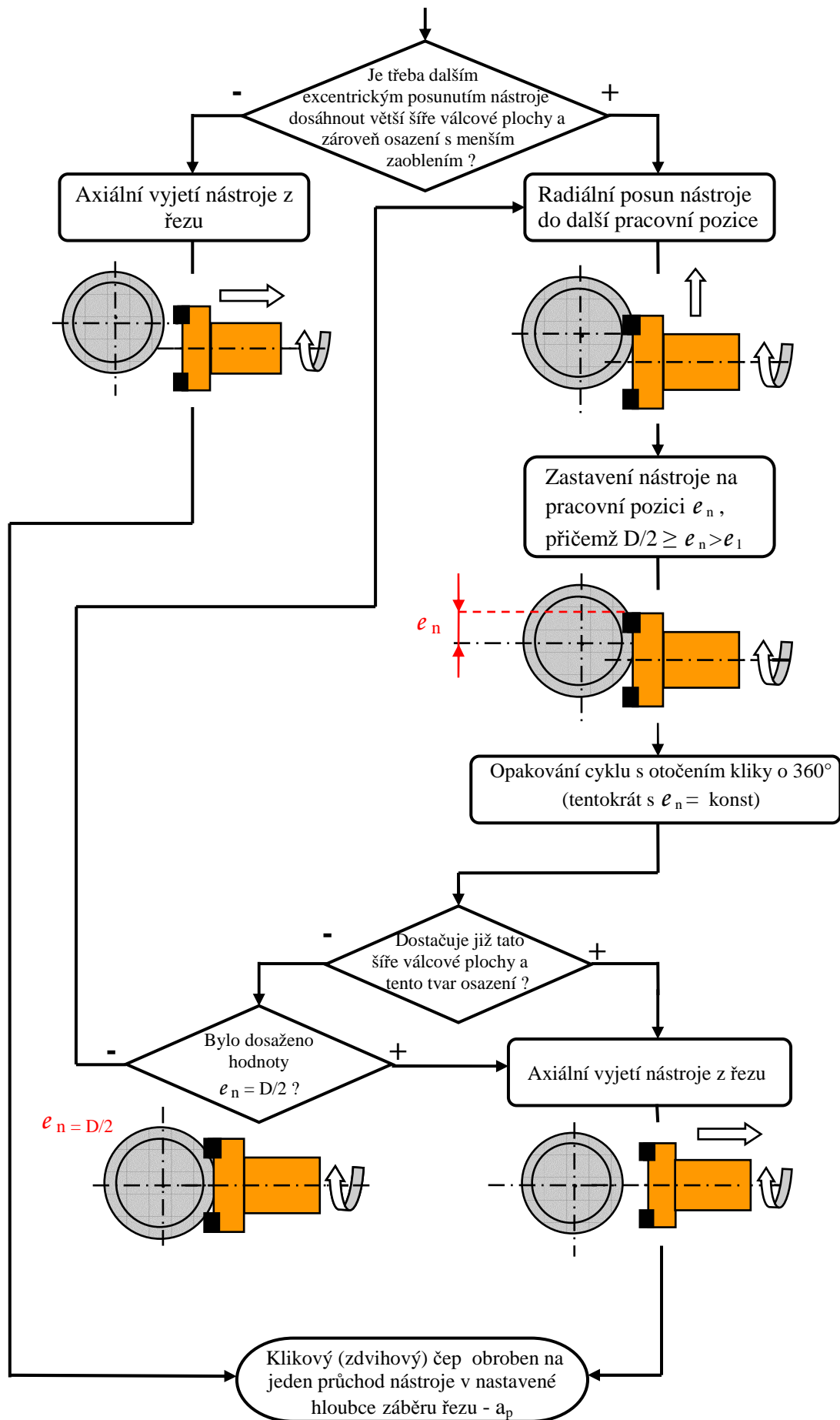
Rotace obrobku okolo osy hlavního čepu (otočení kliky o $360^\circ \rightarrow 1$ otáčka hlavního čepu). Pohyb nástroje v osách Y a Z (kruhá interpolace) za pohybujícím se klikovým čepem, přičemž excentrické posunutí nástroje $e_1 = \text{konst}$.

Cyklus s $e_1 = \text{konst}$



Zastavení obrobku a nástroje (rotujícího) na počáteční pozici (zde označena jako 0. pozice)





PŘÍLOHA č. 2

Technické parametry speciálních NC strojů typu PC 6 a PC 5

POPIS	PC 6	PC 5
Pracovní rozsah		
Oběžný průměr obrobku max. [mm]	1 800	1 800
Délka obrobku max. [mm]	19 000	19 000
Hmotnost obrobku max. [kg]	150 000	80 000
Výška hrotů nad plochým vedením [mm]	1 700	1 700
Lože		
Šířka lože [mm]	2 180	2 180
Výška lože [mm]	900	900
Vřeteník pevný		
Rozsah otáček přes hlavní pohon [min^{-1}]	0,4 ÷ 180	0,4 ÷ 180
Rozsah otáček přes pohon A-osy [min^{-1}]	0,005 ÷ 2	0,005 ÷ 2
Úhel špičky [°]	90	90
Výkon hlavního motoru [kW]	2 x 50	2 x 50
Průměr upínací desky [mm]	1 800	1 600
Rozsah upínacích průměrů [mm]	500 ÷ 1 400	400 ÷ 1 250
Maximální nosnost [kN]	375	375
Vřeteník posuvný		
Rozsah otáček (A-osa) [min^{-1}]	0,005 ÷ 2	0,005 ÷ 2
Max. otáčky ve funkci koníka [min^{-1}]	180	180
Úhel špičky [°]	90	90
Průměr upínací desky [mm]	1 800	1 600
Rozsah upínacích průměrů [mm]	500 ÷ 1 400	400 ÷ 1 250
Maximální nosnost [kN]	375	280
Saně podélné a příčné		
Posuvná síla podélně a příčně [kN]	100	100
Posuv podélných saní [mm]	19 000	19 000
Posuv příčných saní [mm]	1 250	1 250
Rozsah posuvu podélných a příčných saní [mm/min]	0,75 ÷ 6 000	0,75 ÷ 6 000
Obráběcí věž - modul MTS 1500		
Natáčení stojanu (osa B) [°]	+15 / -15	+15 / -15
Svislé přestavení frézovacího vřeteníku (osa Y)[mm]	+900 / -600	+900 / -600
Nástrojový kužel frézovacích nástrojů	ISO 60	ISO 60
Otáčky frézovacího vřetene [min^{-1}]	5 ÷ 1 800	5 ÷ 1 800
Krouticí moment max. [Nm]	5 400	5 400
Výkon pohonu [kW]	90	90
Uchycení soustružnických nástrojů	CAPTO C10	CAPTO C10
Chladicí zařízení s kapalinou ve třech stupních [l/min]	Q ₁ = 48	Q ₁ = 48
	Q ₂ = 62	Q ₂ = 62
	Q ₃ = 110	Q ₃ = 110
Opěra pro klikovou hřídel [ks]	6	6
Rozsah průměrů [mm]	250 ÷ 800	250 ÷ 800
1 / 2		

POPIS	PC 6	PC 5
Automatická výměna nástrojů IQV 60/C10		
Upínací kužel vřetena / nástavku pro frézování - velikost 7 : 24	ISO 60	ISO 60
Stopka nástroje pro frézování, se zvětšeným průměrem nákrůžku	DIN 69 871- C60	DIN 69 871- C60
Nástavek stopky nástroje pro frézování	DIN 69 872- A60	DIN 69 872- A60
Upínací dutina nástavku pro soustružení Coromant Capto-velikost	C10	C10
Max. hmotnost nástroje [kg]	70	70
Max. ohybový moment nástroje [Nm] (klopný moment vzhledem k místu uchycení nástroje)	150	150
Poloměr chapače [mm]	720	720
Max. počet úložných míst v zásobníku	27	27
Počet úložných míst v zásobníku pro frézovací nástroje [ks]	20	20
Max. průměr nástroje při osazení všech míst v zásobníku [mm]	185	185
Max. průměr nástroje při vynechání míst mezi nástroji [mm]	360	360
Max. hmotnost nástrojů v zásobníku [kg]	1 150	1 150
Max. nevyváženost řetězu ve svislém směru [kg]	400	400
Max. rychlost pojezdu řetězu v zásobníku [m.min-1]	12	12
Max. rychlost pojezdu vozíku [m.min-1]	10	10
Max. rychlost pojezdu saní příčky [m.min-1]	5	5
2 / 2		

PŘÍLOHA č. 3

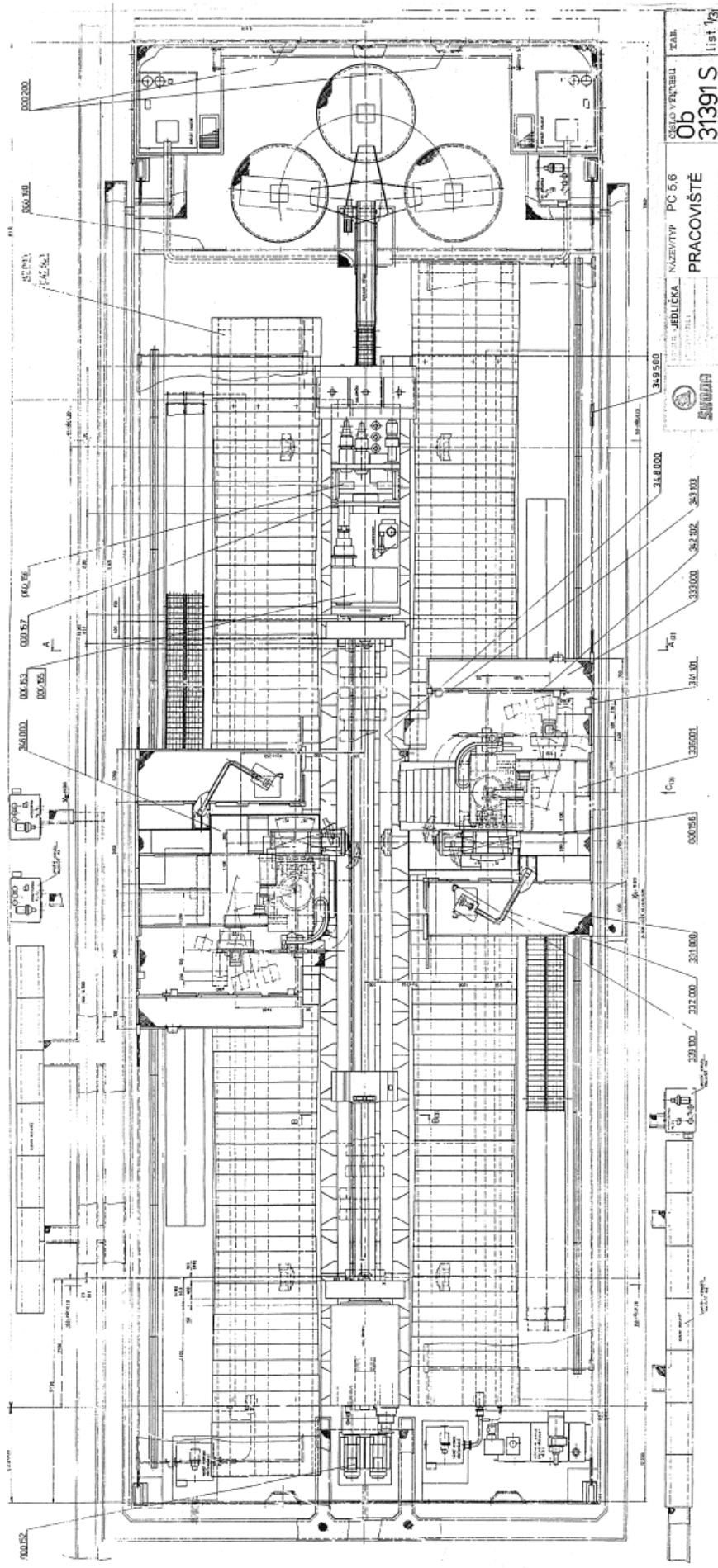
Technické parametry speciálního NC stroje typu PC 4

POPIS	PC 4
Pracovní rozsah	
Oběžný průměr obrobku max. [mm]	1 800
Délka obrobku max. [mm]	14 000
Hmotnost obrobku max. [kg]	56 000
Hmotnost obrobku s použitím 1 opěry [kg]	70 000
Hmotnost obrobku s použitím 2 opěr [kg]	90 000
Výška hrotů nad plochým vedením [mm]	1 700
Lože	
Šířka lože [mm]	3 150
Výška lože [mm]	900
Vřeteník	
Rozsah otáček přes hlavní pohon [min^{-1}]	0,4 ÷ 180
Rozsah otáček přes pohon A-osy [min^{-1}]	0,005 ÷ 2
Úhel špičky [°]	90
Výkon hlavního motoru [kW]	2 x 50
Průměr upínací desky [mm]	1 600
Rozsah upínacích průměrů [mm]	400 ÷ 1 250
Maximální nosnost [kN]	280
Koník	
Průměr pinoly [mm]	450
Výsuv pinoly [mm]	400
Rychloposuv na loži [mm/min]	2 000
Saně podélné a příčné	
Posuvná síla podélně a příčně [kN]	100
Posuv podélných saní [mm]	20 000
Posuv příčných saní [mm]	1 250
Rozsah posuvu podélných a příčných saní [mm/min]	0,75 ÷ 6 000
Obráběcí věž - modul MTS 1500	
Natáčení stojanu (osa B) [°]	(+15) / (-15)
Svislé přestavení frézovacího vřeteníku (osa Y) [mm]	(+900) / (-600)
Nástrojový kužel frézovacích nástrojů	ISO 60
Otáčky frézovacího vřetene [min^{-1}]	5 ÷ 1 800
Krouticí moment max. [Nm]	3 800
Výkon pohonu [kW]	63
Uchycení soustružnických nástrojů	CAPTO C10
Šířka lamel pro soustružnické nástroje [mm]	30, 60
Chladicí zařízení s kapalinou ve třech stupních [l/min]	$Q_1 = 48$
	$Q_2 = 62$
	$Q_3 = 110$
Opěra pro klikovou hřídel [ks]	7
Rozsah průměrů [mm]	250 ÷ 800
1 / 2	

POPIS	PC 4
Automatická výměna nástrojů IQV 60/C10	
Upínací kužel vřetena / nástavku pro frézování - velikost 7 : 24	ISO 60
Stopka nástroje pro frézování, se zvětšeným průměrem nákrážku	DIN 69 871-C60
Nástavek stopky nástroje pro frézování	DIN 69 872-A60
Upínací dutina nástavku pro soustružení Coromant Cpto-velikost	C10
Max. hmotnost nástroje [kg]	70
Max. ohybový moment nástroje [Nm] (klopný moment vzhledem k místu uchycení nástroje)	150
Poloměr chapače [mm]	720
Max. počet úložných míst v zásobníku	27
Počet úložných míst v zásobníku pro frézovací nástroje [ks]	20
Počet úložných míst v zásobníku pro soustružnické nástroje [ks]	7
Max. průměr nástroje při osazení všech míst v zásobníku [mm]	185
Max. průměr nástroje při vynechání míst mezi nástroji [mm]	360
Max. hmotnost nástrojů v zásobníku [kg]	1 150
Max. nevyváženost řetězu ve svislém směru [kg]	400
Max. rychlost pojezdu řetězu v zásobníku [m.min-1]	12
Max. rychlost pojezdu vozíku [m.min-1]	10
Max. rychlost pojezdu saní příčky [m.min-1]	5

PŘÍLOHA č. 4

Konstrukční řešení speciálních NC strojů typu PC 6 a PC 5,(PC 4)



OSLO VYČERANÍ ZNA.
Ob
31391S list 1/3

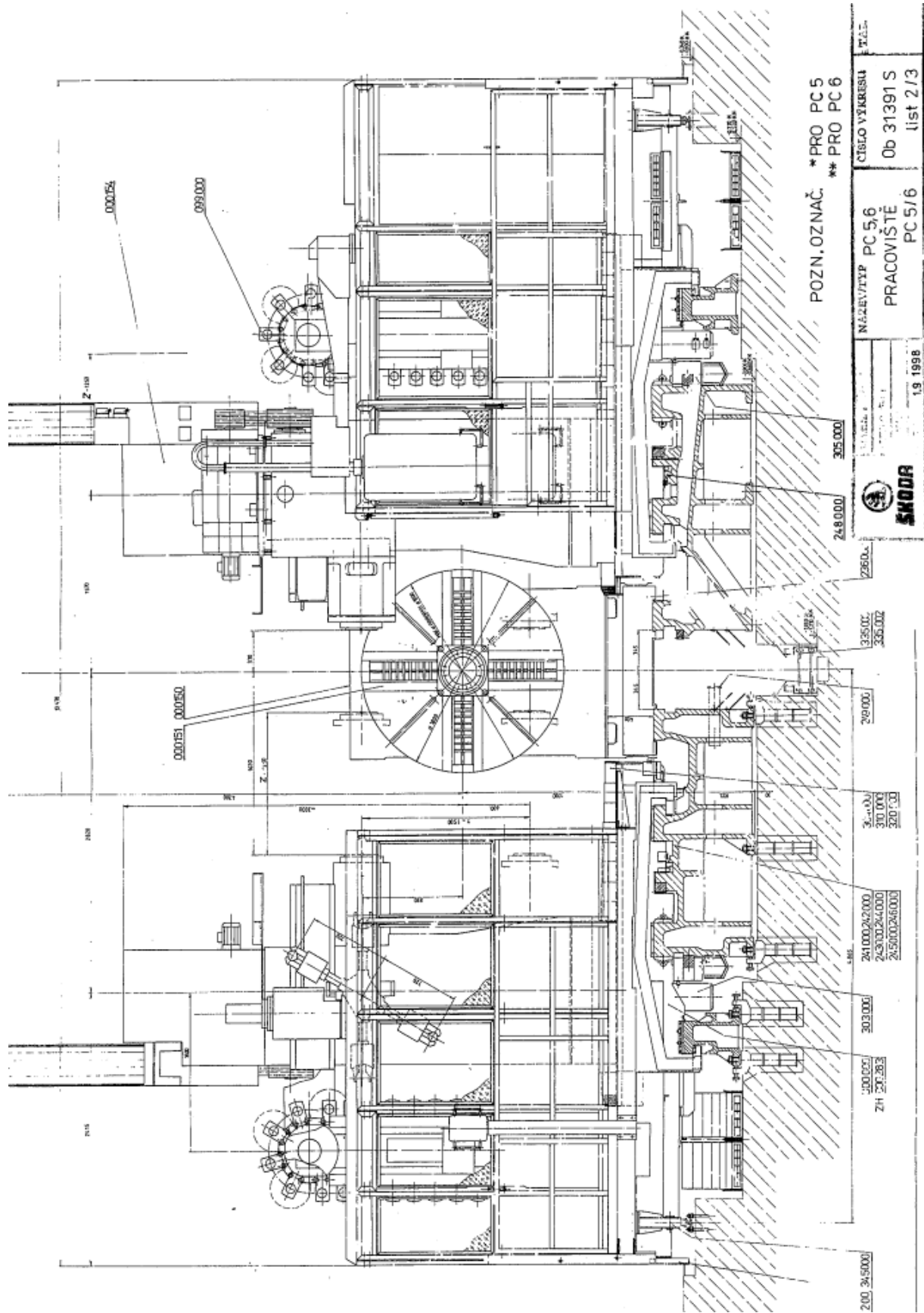
NÁZEV TYPU PC 5.6
PRACOVISTÉ

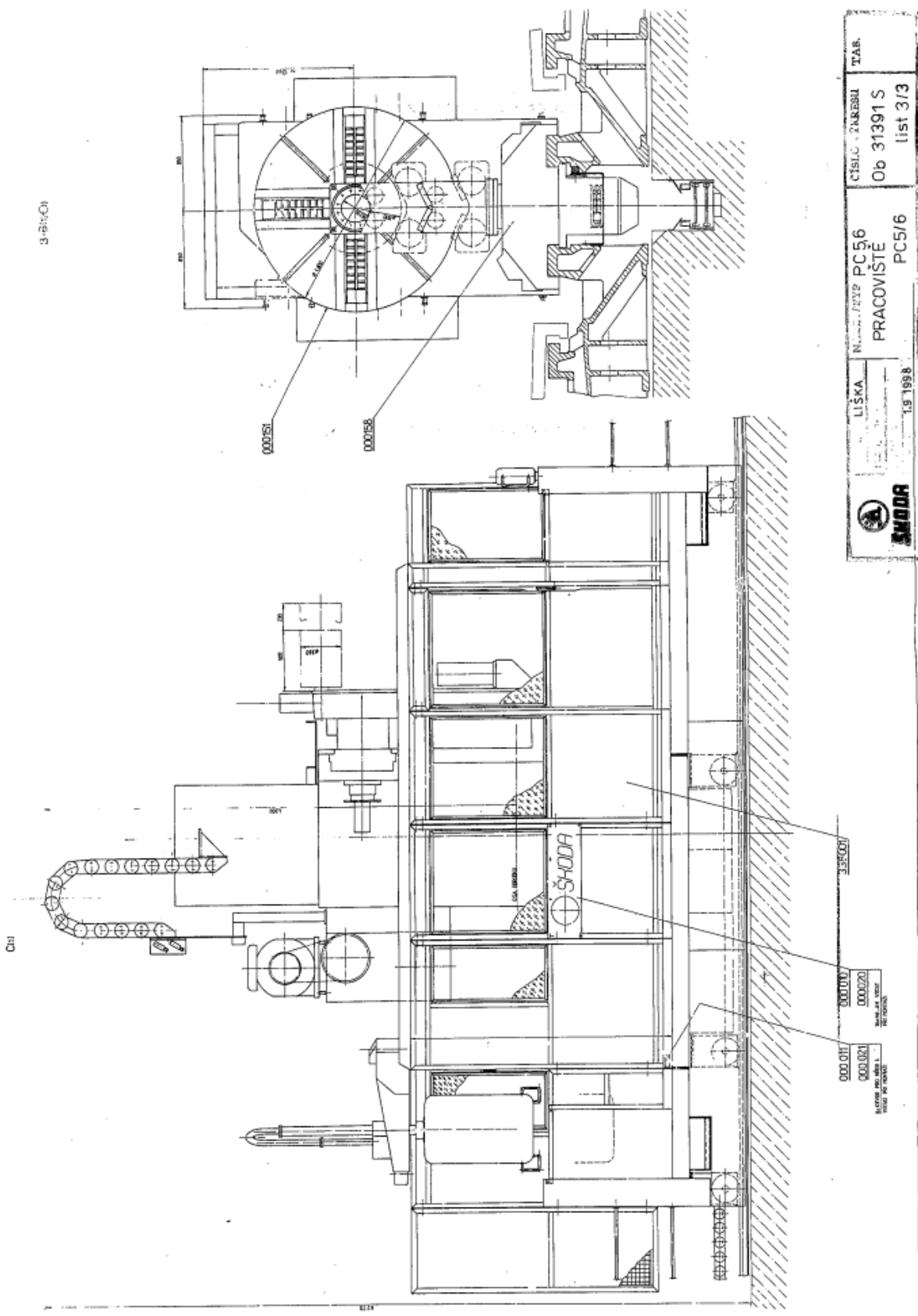
JEDLĚKA
 JEDLĚKA
 JEDLĚKA

34.8000
 34.8000
 34.8000

34.8000
 34.8000
 34.8000

34.8000
 34.8000
 34.8000





PŘÍLOHA č. 5

Požadavky speciálních NC strojů (PC 6, PC 5 a PC 4) z hlediska řídícího systému

POPIS PRACOVNÍCH OS NC STROJŮ (PC 6, PC 5, PC 4*)	
Označení	Popis
1. obráběcí věž (hlavní)	
X1	Posuv hlavní obráběcí věže v podélném směru
Y1	Posuv vřeteníku hlavní obráběcí věže ve svislém směru
Z1	Posuv hlavní obráběcí věže v příčném směru
B1	Otáčení hlavní obráběcí věže kolem osy Y1
S1	Otáčky vřetene hlavní obráběcí věže
2. obráběcí věž (vedlejší)	
X2	Posuv vedlejší obráběcí věže v podélném směru
Y2	Posuv vřeteníku vedlejší obráběcí věže ve svislém směru
Z2	Posuv vedlejší obráběcí věže v příčném směru
B2	Otáčení vedlejší obráběcí věže kolem osy Y2
S2	Otáčky vřetene vedlejší obráběcí věže
Pevný vřeteník	
A1	Polohování pevného vřeteníku při frézovacích operacích
S3	Otáčky hlavního vřeteníku při soustružení
Posuvný vřeteník	
A2	Polohování pevného vřeteníku při frézovacích operacích (je vlečen dle osy A1)
<p>* - Popis jednotlivých os je určen pro PC 6 a PC 5. PC 4 má označení jednotlivých os analogické, s tím rozdílem, že na PC 4 není vedlejší obráběcí věž a chybí posuvný vřeteník, který je nahrazen hrotem koníku.</p>	
1 / 1	

POŽADAVKY NA ŘÍDÍCÍ SYSTÉM NC STROJE (PC 6, PC 5, PC 4)

Základní označení

	Posuv	Otáčení	Fréza	
Přední suport	osa X1, Y1, Z1	osa B1	vřeteno S1	výměna nástroje T1
Zadní suport	osa X2, Y2, Z2	osa B2	vřeteno S2	výměna nástroje T2
	Otáčení	Upínací deska		
Vřeteník	osa A	vřeteno S3		
	Otáčení pinoly	Otáčení upínací desky koníku		
Koník	osa Q3			
	Posuv pístonu opěry	Posuv koníku		
Příslušenství	osa Q1	osa Q2		

Konfigurace

NC kanál 1 (3)	NC kanál 2 (4)	NC kanál 5
osy X1, Y1, Z1, B1, vřeteno S1		
osy X2, Y2, Z2, B2, vřeteno S2	osy X2, Y2, Z2, B2, vřeteno S2	
osy A, Q3, vřeteno S3	osy A, Q3, vřeteno S3	
		osy Q1, Q2

Pozn.: Konfigurace zadní suport - je umožněn nezávislý provoz předního a zadního suportu s tou podmínkou, že musí být dále konfigurováno, ke kterému suportu patří osa A1 a vřeteno S3.

Podmínky pro umožnění obrábění:

Základního tvaru klikové hřídele - tvar ramena

Natočení obrobku osou A1 a upnutí

NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
A1 - otáčení obrobku a upnutí	X2, Y2, Z2 - interpolace os
X1, Y1, Z1 - interpolace os	S2 - obrábění vřetenem
S1 - obrábění vřetenem	

Ložiskového čepu klikové hřídele

Otáčení obrobku vřetenem S3 (soustružení případně frézování)

NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
S3 - otáčení obrobkem	X2, Y2, Z2 - interpolace os
X1, Y1, Z1 - interpolace os	S2 - obrábění vřetenem
S1 - obrábění vřetenem (fréza nebo soustr. nůž)	(fréza nebo soustružnický nůž)

Otáčení obrobku osou A1 (frézování)

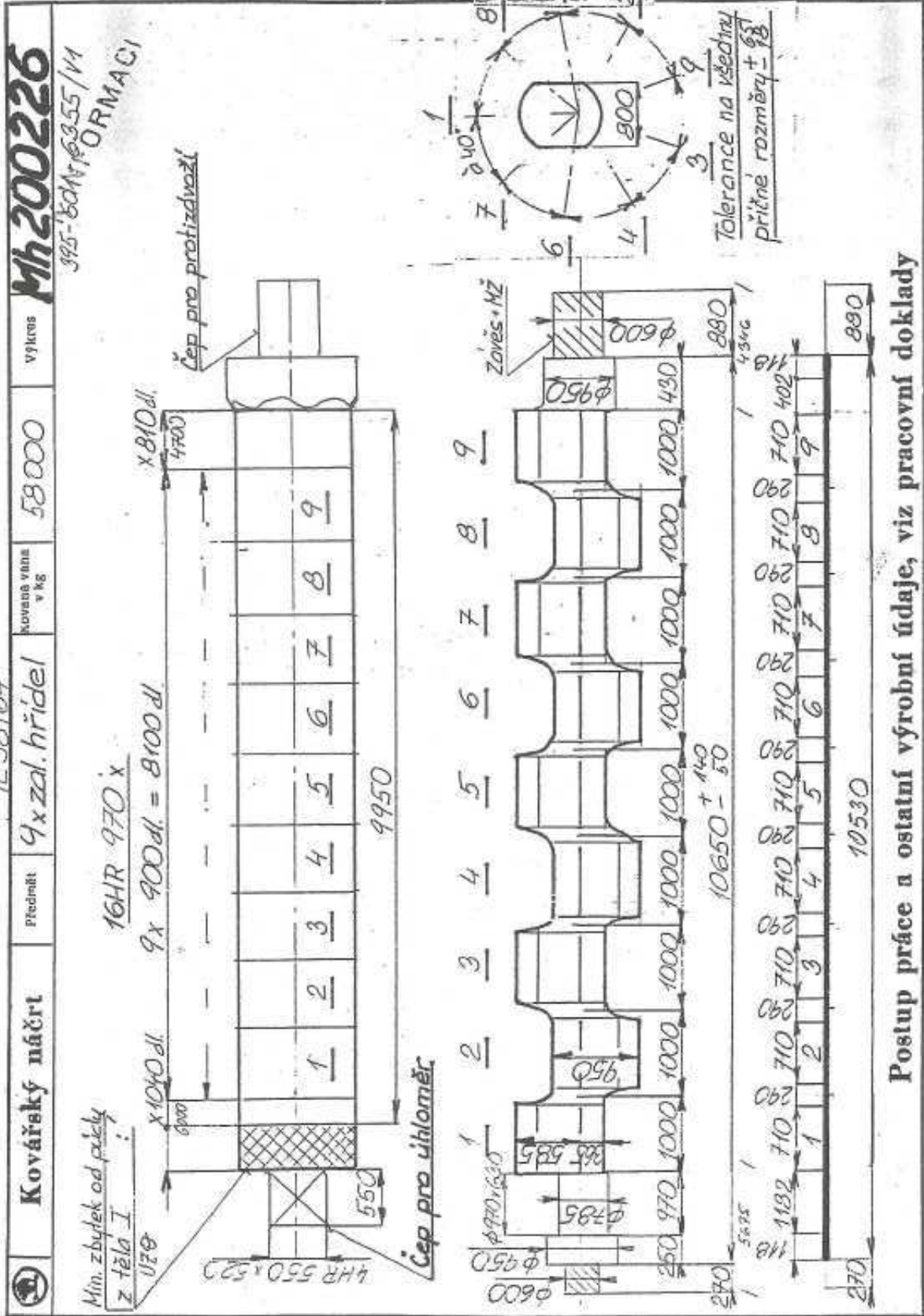
NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
A1 - otáčení obrobkem	X2, Y2, Z2 - interpolace os (najetí na souř.)
X1, Y1, Z1 - interpolace os (najetí na souřadnice)	S2 - obrábění vřetenem
S1 - obrábění vřetenem	

<u>Vnitřního boku ložiskového čepu klikové hřídele</u>	
Otočení obrobku osou A1 a upnutí	
NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
A1 - otáčení obrobku a upnutí	X2, Y2, Z2 - interpolace os
X1, Y1, Z1 - interpolace os	S2 - obrábění vřetenem
S1- obrábění vřetenem	
Otáčení obrobku osou A1	
NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
A1 - otáčení obrobkem	X2, Y2, Z2 - interpolace os (najetí na souř.)
X1, Y1, Z1 - interpolace os (najetí na souřadnice)	S2 - obrábění vřetenem
S1 - obrábění vřetenem	
<u>Vnitřního boku zdvihového čepu klikové hřídele</u>	
Otočení obrobku osou A1 a upnutí	
NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
A1 - otáčení obrobku a upnutí	X2, Y2, Z2 - interpolace os
X1, Y1, Z1 - interpolace os	S2 - obrábění vřetenem
S1- obrábění vřetenem	
Otáčení obrobku osou A1	
NC kanál 1 (program 1)	NC kanál 2 (program 2)
B1 - natočení suportu a upnutí	B2 - natočení suportu a upnutí
A1 - otáčení obrobkem	X2, Y2, Z2 - interpolace os (najetí na souř.)
X1, Y1, Z1 - interpolace os (najetí na souřadnice)	S2 - obrábění vřetenem
S1 - obrábění vřetenem	
<u>Zdvihového čepu klikové hřídele</u>	
Otáčení obrobku osou A1	
NC kanál 1 (program 1)	
B1 - natočení suportu a upnutí	
B2 - natočení suportu a upnutí	
A1, X1, Y1, Z1 - interpolace os	
vlečení osy A2 podle A1	
vlečení osy X2 podle X1	
vlečení osy Y2 podle Y1	
vlečení osy Z2 podle Z1	
S1 - obrábění vřetenem	
S2 - obrábění vřetenem	
Pozn.: - kruhová interpolace lineárních os Y1 a Z1 - lineární interpolace rotační osy A1 - lineární interpolace osy X1	
2 / 2	

PŘÍLOHA č. 6

**Ukázkový kovářský náčrt pro výrobu polotovaru volně kované
monoblokové hřídele**

9L 58/64



01 - 4246

PŘÍLOHA č. 7

Vlastnosti materiálu 42CrMo4

Přehled vlastností oceli 42CrMo4 (42CrMoS4)										1.7225 (1.7227)								
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																	
TDP	ČSN EN 10083-3: 2007																	
Dřívější označení	42CrMo4 (42CrMoS4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 (42CrMoS4) podle DIN 17200, 15 142 podle ČSN																	
Použití	Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťení docílit pevností nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se do méně razantního kalcického prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalcických trhlín v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používaným oceli k zušlechťování.																	
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V									
Složení hotového výrobku ²⁾	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-									
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm	R _e min. MPa			R _m MPa			A min. %		Z min. %		KV min. J						
	d ≤ 16	900			1100 - 1300			10		40		-						
	16 < d ≤ 40	750			1000 - 1200			11		45		35						
	40 < d ≤ 100	650			900 - 1100			12		50		35						
	100 < d ≤ 160	550			800 - 950			13		50		35						
160 < d ≤ 250	500			750 - 900			14		55		35							
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost				Žiháno na měkko				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)									
	HB max. 255				HB max. 241				HRC min. 53									
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																	
	Tvrdost v HRC																	
	⁵⁾ Mez 1,5 3 5 7 9 11 13 15 20 25 30 35 40 45 50																	
	+H		max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
			min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29
	+HH		max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
		min.	56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34	
+HL		max.	58	58	58	57	56	54	53	51	49	46	44	42	41	40	40	
		min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Křivky prokalitelnosti</p> </div> </div>																		
Technologické vlastnosti																		
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C																	
Tepelné zpracování	Normalizační žihání °C	Žihání na měkko °C	Isotermické žihání °C	Teplota kalení °C	Kalcíci prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C											
	850 až 880	680 až 720	800 až 900 670 - 3 hod.	820 až 860	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5											
	Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.) Jako kalcíci prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalcickým trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žihání před zušlechťením.																	
	Body přeměny : A _{c1} = 745°C, A _{c3} = 790°C, M _s = 300°C																	
Obrobitelnost	Obrábí se ve stavu žíhaném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žíhaném a dokončí po zušlechťení.																	
Stříhatelnost	Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žihá nebo řízeně vychlazuje.																	
¹⁾ obsah síry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %. ²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně. ³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. R _e – mez kluzu, R _m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L ₀ = 5,65√S ₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty). ⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní. ⁵⁾ +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH – zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.																		

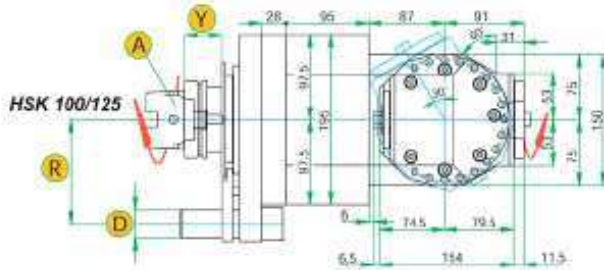
PŘÍLOHA č. 8

Technické a konstrukční parametry technologického příslušenství možných progresivnějších řešení

CTAR 40 / CTARH 40

3'000 rpm

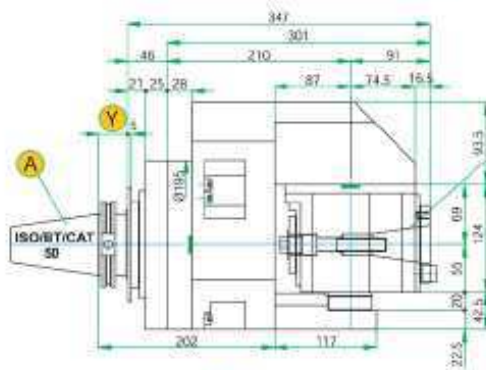
Internet: www.pibomulti.com mail: info@pibomulti.com USA Internet: www.pibomulti-na.com mail: info@pibomulti-na.com



CTAR 40
 COUPLÉ D'INDOON PAS 15°
 INDEXER LINGS TIFT TEILLING 15°
 LOCATOR PIN THREAD 15°

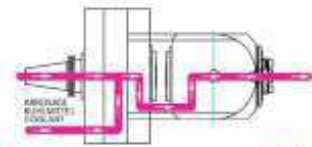


CTARH 40
 DENTURE HIRTH 360° PAS 1.0°
 HIRTH-VERZÄHNUNG 360° TEILLUNG 2.5°
 HIRTH-COUPUNG 360° THREAD 2.5°



ISO 40 DIN 2080
ISO 40 DIN 69871-A
BT 40
CAT 40
CAT 40 UNC

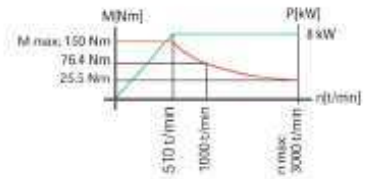
HSK 63 SUR DEMANDE
AUF ANFRAGE - ON REQUEST



ARROSAGE CENTRAL
INNERE KÜHLMITTELZUFUHR
COOLANT THROUGH CENTRE

voir page / siehe Seite / see page 39-40

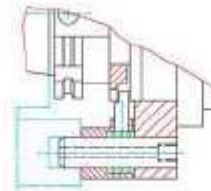
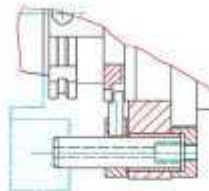
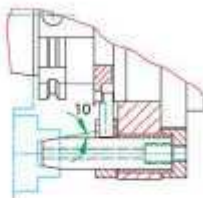
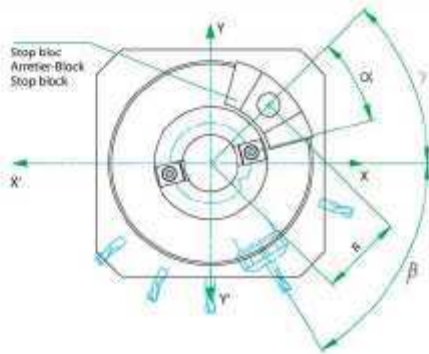
BRÛCHE SPINDEL SPINDLE	kW	Nm		kg
3000 11741 11742	8.0 kW	150 Nm	1 à 1.5	~ 45 kg



INDEXION - INDEXIERUNG - LOCATION DEVICE

CH Internet : www.pibomulti.com mail : info@pibomulti.com USA Internet : www.pibomulti-na.com mail : info@pibomulti-na.com

Conditions requises pour une indexion	Benötigte Details für eine Indexierung	Location device requirements
ØD	Ø du doigt d'indexion	Ø des Positionierungsstiftes
D2	Ø du nez de broche (partie tournante)	Ø der Spindelnase (drehend)
R	Rayon du doigt d'indexion	Radius des Positionierungsstiftes
A	Distance α - face d'appui	Distanz α - Auflagefläche
B	Extrémité du doigt d'indexion	Stirnseite des Positionierungsstiftes
C	Epaisseur du stop bloc	Höhe des Arretier-Blocks
α	Angle entre taquets et indexion	Winkel zw. Mitnehmer und Indexierung
β	Angle entre axe X et sortie de broche	Winkel zw. X-Achse und Spindelausgang
θ	Angle entre l'axe X et le stop bloc	Winkel zw. X-Achse und Arretier-Block

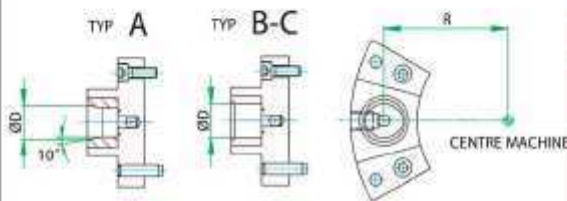


TYPE A Goupille cônica 10° mobile
TYP A 10° Kon. Beweglicher Stift
TYPE 10° Conical moving pin

TYPE B Goupille cylindrique mobile
TYP B Zyl. Beweglicher Stift
TYPE Cylindrical moving pin

TYPE C Goupille cylindrique fixe
TYP C Fester Stift, Zyl.
TYPE Cylindrical fixed pin

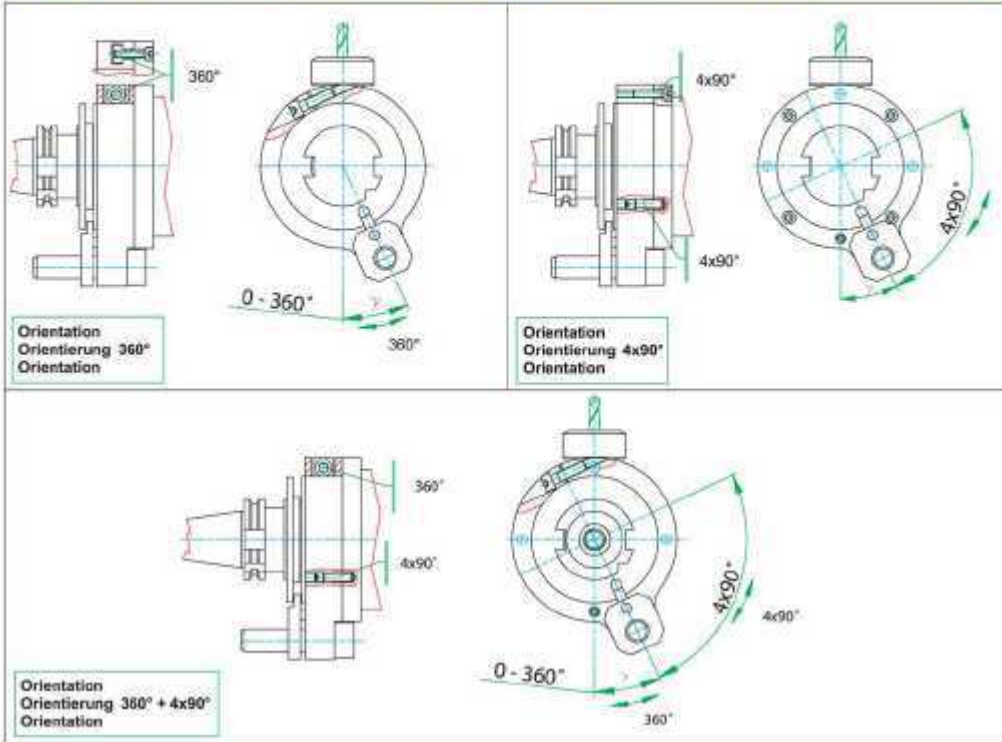
STOP BLOC / ARRETIER-BLOCK / STOP BLOCK



ISO	HSK	R	ØD	REF.
30 / HSK 40-50		55	Ø 15 G6	076-05-206-20 (Type C)
40 / HSK 63		65	Ø 18 G6	076-05-206-30 (Type C)
		ou 80	Ø 18 G6	076-05-206-10 (Type A) 076-05-206-30 (Type B-C)
50 / HSK 80-100		80 ou 100	Ø 18 G6 ou	076-05-206-10 (Type A) 076-05-206-30 (Type B-C)
		ou 110	Ø 25	175-205-25-30 (Type A)

ORIENTATION - ORIENTIERUNG - ORIENTATION

Internet : www.pibomulti.com mail : info@pibomulti.com Internet : www.pibomulti-na.com mail : info@pibomulti-na.com



Dokončovací stopková fréza CoroMill® Ball Nose Finishing

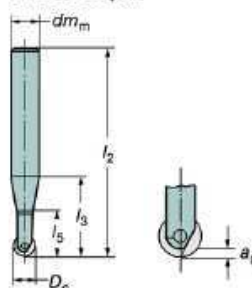
Ocelová nebo karbidová stopka

Průměr 8 - 32 mm



Tolerance
 $D_c = h9$
 $dm_m = h6$

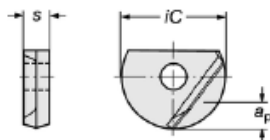
Válcová stopka



Provedení s metrickými rozměry

Velikost VBD	D_c , mm	Objednací kód	Rozměry, mm						Max. a_p	n_{max} (1)
			$\frac{D_c}{mm}$	l_2	l_3	l_5	dm_m			
Válcová stopka										
8	8	R216F-08A12C-035	0.2	92	35	19	12	1.2	40000	
		R216F-08A12C-053	0.2	110	53	19	12	1.2	40000	
		R216F-08A12C-075	0.2	132	75	19	12	1.2	23400	
		R216F-08A12S-035	0.2	92	35	19	12	1.2	40000	
		R216F-08A12S-053	0.2	110	53	33.5	12	1.2	33600	
		R216F-08A12S-075	0.2	132	75	19	12	1.2	16800	
10	10	R216F-10A12C-053	0.2	110	53	22	12	1.5	40000	
		R216F-10A12C-075	0.3	132	75	22	12	1.5	23400	
		R216F-10A12S-038	0.2	95	38	22.4	12	1.5	40000	
		R216F-10A12S-053	0.2	110	53	38.7	12	1.5	40000	
		R216F-10A12S-075	0.2	132	75	21.8	12	1.5	20300	
		R216F-10A12S-085	0.4	145	85	21.5	16	1.8	21000	
12	12	R216F-12A12C-053	0.3	110	53	12	1.8	40000		
		R216F-12A12S-026	0.2	83	26	12	1.8	40000		
		R216F-12A12S-053	0.2	110	53	12	1.8	40000		
		R216F-12A16C-085	0.4	145	85	21.5	16	1.8	21000	
		R216F-12A16S-085	0.3	145	85	22.5	16	1.8	19800	

Břitové destičky pro dokončovací stopkovou frézu CoroMill® Ball Nose Finishing



Tolerance, mm (inch):
 $iC = +0/-0.016 (+0/-0.00063)$

Provedení s metrickými rozměry

Lehké	Ø	Objednací kód	Rozměry, mm						Max. a_p	iC	s
			P	M	K	S	H				
			9C	9C	9C	9C	9C				
	8	R216F-08 24 E-L	☆	☆	☆	☆	☆	☆	4	8	2.4
	10	R216F-10 26 E-L							5	10	2.6
	12	R216F-12 30 E-L							6	12	3
	16	R216F-16 40 E-L	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	16	4
	20	R216F-20 50 E-L	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	20	5
	25	R216F-25 60 E-L							12.5	25	6
	30	R216F-30 70 E-L							15	30	7
	32	R216F-32 70 E-L							16	32	7
			P15	M15	K15	S10	H10	H15			

Hydro-Grip - tužkové provedení

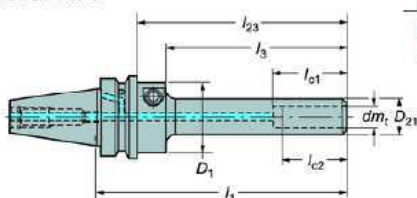
Vysoce přesné sklíčidlo

Tužkový typ

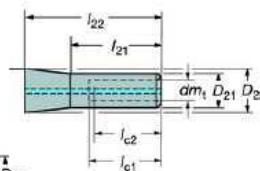
Metrické rozměry otvoru
392.272CGB/.55CGB
392.45CGB



Provedení 1



Provedení 2



Příslušenství

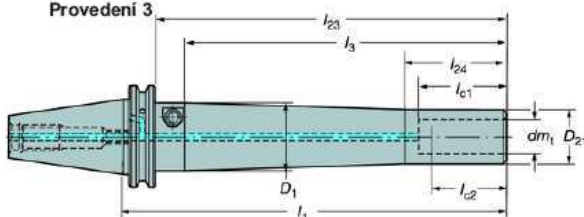
Nedodává se s nástrojem, nutno objednat samostatně.



Viz strana G135.

l_1 = programovací délka

Provedení 3



Příruba Cat V

Konstruktivní provedení	Kužel	Objednací kód	Řezná kapalina ¹⁾	Rozměry v mm, inch											BLQ ³⁾	NBLQ ⁴⁾	Velikost kleštiny
				dm_1	D_1	D_{21}	l_1	l_3	l_{23}	l_{24}	l_{c1}	$l_{c2}^{(2)}$	$\frac{D}{d}$				
1	40	392.45CGB-40 12 086	7	12	40	19.5	86	50	66.95	40	37	1.1	2.5	25000	12		
1		392.45CGB-40 12 136	7	.472	1.575	.768	3.386	1.968	2.636	1.575	1.457	1.2	2.5	15000			
3		392.45CGB-40 20 146	7	.472	1.575	.768	5.354	3.937	4.604	1.575	1.457	1.6	2.5	20000	20		
				.787	1.575	1.260	5.748	4.331	4.998	2.362	2.047	1.929	2.5				

ISO 7388/II

Konstruktivní provedení	Kužel	Objednací kód	Řezná kapalina ¹⁾	Rozměry, mm											BLQ ³⁾	NBLQ ⁴⁾	Velikost kleštiny		
				dm_1	D_1	D_{21}	D_{22}	l_1	l_3	l_{21}	l_{22}	l_{23}	l_{24}	l_{c1}				$l_{c2}^{(2)}$	$\frac{D}{d}$
1	40	392.272CGB-40 12 085	7	12	40	19.5		85	50			65.9	40	37	1.1	2.5	25000	12	
1		392.272CGB-40 12 135	7	12	40	19.5		135	100			115.9	40	37	1.2	2.5	15000		
2		392.272CGB-40 12 185	7	12	40	19.5	24.5	185	150	50	75	165.9	40	37	1.4	2.5	10000		
3		392.272CGB-40 20 225	7	20	40	32		225	190			205.9	60	52	49	2.2	2.5	10000	20

MAS-BT 403

Konstruktivní provedení	Kužel	Objednací kód	Řezná kapalina ¹⁾	Rozměry, mm											BLQ ³⁾	NBLQ ⁴⁾	Velikost kleštiny		
				dm_1	D_1	D_{21}	D_{22}	l_1	l_3	l_{21}	l_{22}	l_{23}	l_{24}	l_{c1}				$l_{c2}^{(2)}$	$\frac{D}{d}$
1	30	392.55CGB-30 06 088	7	6	40	12		88	50			66	40	37	0.6	2.5	25000	12	
1		392.55CGB-30 12 088	7	12	40	19.5		88	50			66	40	37	0.6	2.5	25000		
1		392.55CGB-30 12 138	7	12	40	19.5		138	100			116	40	37	0.7	2.5	15000		
1	40	392.55CGB-40 12 093	7	12	40	19.5		93	50			66	40	37	1.3	2.5	25000	12	
1		392.55CGB-40 12 143	7	12	40	19.5		143	100			116	40	37	1.4	2.5	15000		
2		392.55CGB-40 12 193	7	12	40	19.5	24.5	193	150	50	75	166	40	37	1.6	2.5	10000		
3		392.55CGB-40 20 153	7	20	40	32		153	110			126	60	52	49	1.8	2.5	20000	20

¹⁾ 7 = přívod řezné kapaliny středem i přírubou

²⁾ Minimální délka upnutí

³⁾ Označení stupně vyvážení.

⁴⁾ Otáčky pro daný stupeň vyvážení.

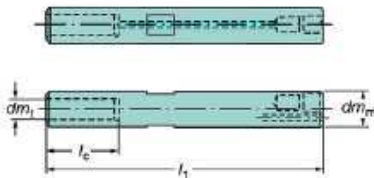
Poznámka: Nástrojové držáky lze přizpůsobit pro přívod řezné kapaliny přírubou vyjmutím dvou šroubů na zadní straně V příruba.

Hydro-Grip® s válcovou stopkou

HydroGrip® - tužkové provedení

Vysoce přesné sklíčidlo

Válcová stopka
393.CGA



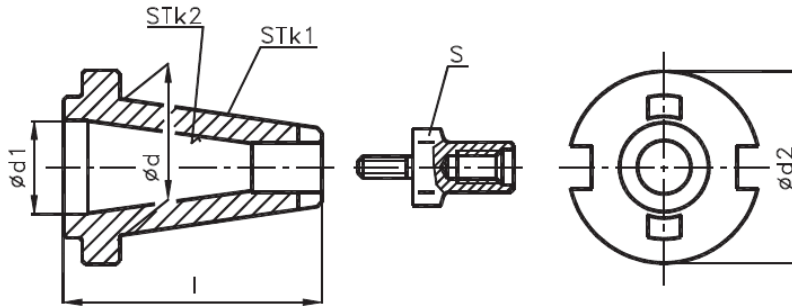
l_1 = programovací délka

		Rozměry v mm, inch													
Velikost spojky	Objednací kód	Řezná kapalina ¹⁾	d_{m1} mm	d_{m1} in.	d_{m2} mm	d_{m2} in.	l_1 mm	l_1 in.	l_c mm	l_c in.	$\frac{\sigma}{E}$	BLQ ²⁾	NBLQ ³⁾	Velikost kleštiny	
20	393.CGA-20 12 150	1	12	.472	20	.787	150	5.906	40	1.575	0.4	2.5	15000	12	

- ¹⁾ 1 = přívod řezné kapaliny středem
²⁾ Označení stupně vyvážení.
³⁾ Otáčky pro daný stupeň vyvážení.

REDUKČNÍ POUZDRA
ČSN 24 1480

s kuželovou stopkou strmou 7:24 i dutinou strmou 7:24



Pouzdra jsou určena k upínání nástrojů se stopkou strmou 7:24 ČSN 22 0430. Pouzdra jsou cementována a kalena na tvrdost 55 + 60 HRC. K upnutí nástroje se používají spojky - S (ČSN 24 1483).

Redukční pouzdro							Spojky - S	
STk 1	STk 2	$\varnothing d$	$\varnothing d_1$	$\varnothing d_2$	l	G	n	G
40	30	44.45	31.75	63	83	0.35	-	-
50	40	69.85	44.45	100	122.5	1.9	-	-
	45		57.15	110	170	3.6	1	0.45
55	50	88.9	69.85	130	157	2.9	-	-
60	45	107.95	57.15	160	187	8.15	1	0.85
	50		69.85		190	5.6	-	-
	55		88.9		190	4.9	-	-

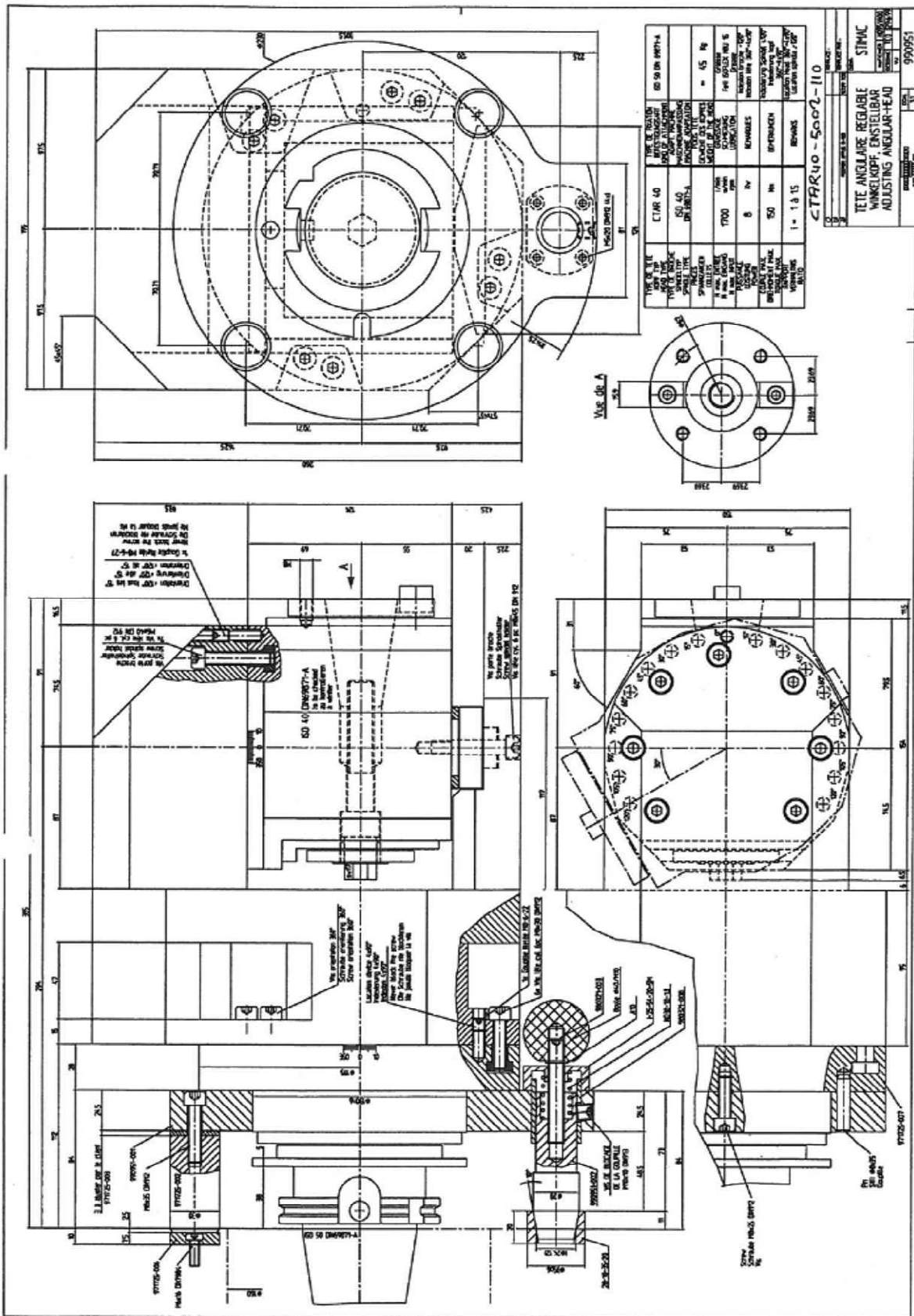
Rozměry v mm. Rozměry označené „-“ nejsou vyráběny (nejsou v ČSN)

Legenda:

G hmotnost [kg]
 S spojka (ČSN 24 1483)
 n počet kusů v pouzdru

PŘÍLOHA č. 9

Výkres úhlové hlavy CTAR 40 s opěrným vylepšením pro zvýšení tuhosti od zástupce firmy PIBOMULTI v ČR - společnosti TGS



BEZUGSPUNKT	TRAGFAHIGKEIT	TRAGFAHIGKEIT	TRAGFAHIGKEIT	TRAGFAHIGKEIT
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35
36	37	38	39	40
41	42	43	44	45
46	47	48	49	50
51	52	53	54	55
56	57	58	59	60
61	62	63	64	65
66	67	68	69	70
71	72	73	74	75
76	77	78	79	80
81	82	83	84	85
86	87	88	89	90
91	92	93	94	95
96	97	98	99	100

CTPR40-5002-110
 TETE ANGLAIRE REGULABLE
 WINKELKOPF EINSTELLBAR
 ADJUSTING ANGLAR-HEAD
 SYMAC
 990051

PŘÍLOHA č. 10

Komunikace s dodavateli, popřípadě výrobcí technologického příslušenství



Šárka Brožová (brozova@pilsentools.cz)

Re: Kniha přání a stížností z E-SHOP - PILSEN TOOLS s.r.o.

29. 4. 2013, 8:00:54

Komu: tholub@students.zcu.cz

Dobrý den pane Holub,

redukční pouzdro 60x50 ČSN 241480 á ks 11.800,- Kč

Přeji hezký den

Šárka Brožová

obchodní referent

PILSEN TOOLS s.r.o.

Tylova 57

316 00 Plzeň

tel. 378 134 152

fax.378 132 361

mobil 731 636 381

mail:brozova@pilsentools.cz

www.pilsentools.cz

----- Original Message -----

From: <tholub@students.zcu.cz>

To: <eshop@pilsentools.cz>

Sent: Friday, April 26, 2013 10:10 AM

Subject: Kniha přání a stížností z E-SHOP - PILSEN TOOLS s.r.o.

> Příjmení Holub

> Jméno Tomáš

> e-mail tholub@students.zcu.cz

> Text Dobrý den, jmenuji se Tomáš Holub a jsem studentem posledního ročníku

> fakulty strojní na ZČU v Plzni, obor strojírenská technologie-technologie

> obrábění. Ve své diplomové práci, určené pro praxi, jsem navrhl použití

> redukčního pouzdra vyráběného Vaší společností. Konkrétně se jedná o

> redukční pouzdro s kuželovou stopkou strmou 7:24 i dutinou strmou 7:24 dle

> ČSN 24 1480 o parametrech STk1 = 60 a STk2 = 50 z nabídkového kat. listu:

- > redukční pouzdra 241480.doc. Z důvodu technicko-ekonomického vyhodnocení
 - > bych Vás chtěl požádat o informaci týkající se ceny tohoto zboží. Velice
 - > Vám děkuji a přeji hezký zbytek dne.
 - >
 - >
-



Kučera Ivan (ivan.kucera@tgs.cz)

FW: Napište nám - formulář

26. 4. 2013, 9:22:15

Komu: tholub@students.zcu.cz

Vážený pane Holub,

Aktuální cena pro nastavitelnou hlavu CTAR40 = 469 907,00Kč bez DPH

Vzhledem k váze hlavy a tuhosti doporučujeme zvýšit tuhost přidavným zařízením „opěrky“ cena cca. 62 000,-Kč bez DPH (cena se upřesňuje dle konečné konstrukce)

Lepší provedení je hlava FTAR40 = 433 784,00Kč bez DPH

Tato hlava se upíná přes přírubu na čelo stroje – toto provedení je více používáno

Upozornění: uvedené max. otáčky platí pouze pro krátkodobé použití „9min“ je to 10% z 90min cyklu
Pro nepřetržitě použití 70% z max otáček.

S pozdravem

Ivan Kučera

+420 724 444 077



From: ePublisher - Form [<mailto:tgs@tgs.cz>]

Sent: Friday, April 26, 2013 8:44 AM

To: TGS - Mailing

Subject: Napište nám - formulář

Napište nám - formulář

Jméno: Tomáš

Příjmení: Holub

Firma: ZČU - fakulta strojní

Sídlo firmy:	Pízeň
Telefon:	
E-mail:	tholub@students.zcu.cz
Váš názor:	Dobrý den, jmenuji se Tomáš Holub a jsem studentem posledního ročníku fakulty strojní na ZČU v Plzni, obor strojírenská technologie-technologie obrábění. Ve své diplomové práci, určené pro praxi, jsem navrhl použití úhlové hlavy od firmy PIBOMULTI. Konkrétně se jedná o standardní typ - CTAR 40. Z důvodu technicko-ekonomického vyhodnocení bych Vás chtěl požádat o informaci týkající se ceny tohoto standardního typu úhlové hlavy. Velice Vám děkuji a přeji hezký zbytek dne.

Přílohy -

FTAR40.pdf (73 kB)

CTAR40+opěrky.pdf (530 kB)



jiri.samec@sandvik.com

General inquiry

26. 4. 2013, 13:31:40

Komu: tholub@students.zcu.cz

Dobrý den, ceny viz níže.

S pozdravem Jiří Samec

CONTACT INFORMATION

Name:	Tomáš Holub
Position:	Student
Company:	ZČU Plzeň, fakulta strojní
Country:	Czech Republic
Preferred way of contact:	
Email:	tholub@students.zcu.cz
Phone:	
Address:	
City:	Plzeň
Zip code:	
State:	
Fax:	

MESSAGE

Topic: General inquiry

Message: Dobrý den, jmenuji se Tomáš Holub a jsem studentem posledního ročníku fakulty strojní na ZČU v Plzni, obor strojírenská technologie-technologie obrábění. Ve své diplomové práci, určené pro praxi, jsem navrhl použití upínacího systému (+ frézovacího nástroje) nabízeného vaší firmou. Jedná se o upínací systém Hydro-Grip a dokončovací frézu CoroMill Ball Nose Finishing. Z důvodu technicko-ekonomického vyhodnocení bych Vás chtěl požádat o informaci týkající se ceny jednotlivých částí této konkrétní sestavy:

1. Hydro-Grip - tužkové provedení,
objednací kód: 392.272CGB-40 20 225....15650,-
2. Hydro-Grip - s válcovou stopkou,
objednací kód: 393.CGA-20 12 150....8 920,-
3. Dokončovací fréza CoroMill Ball Nose Finishing,
objednací kód: R216F-12A12C-053...10270,-

Velice Vám děkuji a přeji hezký zbytek dne.

about:blank

9.5.2013

This e-mail is confidential and it is intended only for the addressees. Any review, dissemination, distribution, or copying of this message by persons or entities other than the intended recipient is prohibited. If you have received this e-mail in error, kindly notify us immediately by telephone or e-mail and delete the message from your system. The sender does not accept liability for any errors or omissions in the contents of this message which may arise as a result of the e-mail transmission.

PŘÍLOHA č. 11

**Výkres konkrétního představitele - klikové hřídele
(volně vloženo)**

