



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VOLBA ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ, PODMÍNEK A OBRÁBĚCÍHO STROJE PRO SOUSTRUŽENÍ CÍVEK

CHOICE OF CUTTING TOOLS, CONDITIONS AND MACHINE TOOL FOR TURNING OF COIL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Skládáný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jakub Skládáný
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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

Volba řezných nástrojů, podmínek a obráběcího stroje pro soustružení cívek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Teoretická východiska práce – (analýza vzorového kusu soustruženého výrobku)
3. Návrh postupu výroby, analýza kritických rozměrů a možných rizik při výrobě, stanovení strojního času výroby
4. Návrh, porovnání a výběr vhodných výrobních nástrojů, určení životnosti – (dodržení předepsaných parametrů produktu, cena, dostupnost, účinnost)
5. Návrh, porovnání a výběr vhodného výrobního stroje pro výrobu X a Y kusů za rok – (způsob obsluhy, pořizovací cena, využití plochy, servis)
6. Technicko-ekonomické zhodnocení
7. Závěr

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce bude analyzovat vzorový prototypový kus soustruženého výrobku a na základě výkresu dílu navrhnout obráběcí postup, definovat nástroje k obrábění (podmínka maximálního výstupu při dodržení kvalitativních nároků) a analyzovat použití víceřetenového obráběcího centra pro sériovou výrobu. Prototypový kus bude dodán firmou IMI NORGREN CZ, praktické záležitosti bude možné konzultovat přímo ve výrobním závodě firmy v Modřicích. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením a rozбором navržené varianty výroby (frekvence výměny nástroje, nutná výrobní plocha, atd.).

Seznam literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-21-1996-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout technologické postupy, nástroje a stroje pro obrábění drobných součástí. Návrhy jsou určeny pro velkosériovou výrobu s maximální výrobností. První polovina práce je převážně rešeršního charakteru, kde je rozebrána problematika nástrojů a strojů pro výrobu rotačních dílů. Dále jsou vypracované návrhy technologických postupů pro různé typy strojů včetně vícevřetenových soustruhů. Hlavním výstupem této práce je stanovení vhodného typu stroje pro výrobu zadaných dílů.

Klíčová slova

obrábění, soustružení, soustruh, vícevřetenový stroj, soustružnické nástroje, technologický postup

ABSTRACT

The purpose of work is to provide a manufacturing processes, cutting and machine tools for machining of small parts. The proposals are designed for high volume production with a maximum productivity. The first half is largely nature of the search, which analyzes issue of tools and machines for production of rotary parts. Further proposals are developed manufacturing processes for different types of machines including multi-spindle lathes. The main result of this work is to determine appropriate type of machine for the production of specified parts.

Keywords

machining, turning, lathe, multi-spindle machine, turning tools, manufacturing process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SKLÁDANÝ, J. *Volba řezných nástrojů, podmínek a obráběcího stroje pro soustružení cívek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 74 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Volba řezných nástrojů, podmínek a obráběcího stroje pro soustružení cívek** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jakub Skládaný

PODĚKOVÁNÍ

Zejména bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a psychickou podporu při vypracování diplomové práce.

Dále jsem vděčný společnosti IMI Precision engineering za možnost spolupráce na zadaném projektu. Děkuji především Ing. Václavu Torčíkovi, za věcné připomínky a průběžnou kontrolu diplomové práce. Díky patří i panu Vladimíru Vaňkovi z firmy Ham-Final s.r.o., za cenné rady ohledně výroby přesných děr.

V neposlední řadě patří mé díky rodině a přátelům, za veškerou podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	5
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH	8
ÚVOD.....	9
1 ZADANÉ SOUČÁSTI	10
1.1 CORE	11
1.2 POLE TUBE	12
2 KOROZIVZDONÉ OCELI.....	13
2.1 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL	15
3 ŘEZNÉ NÁSTROJE A PARAMETRY PŘI SOUSTRUŽENÍ.....	16
3.1 ROZDĚLENÍ NÁSTROJŮ	16
3.2 GEOMETRIE NÁSTROJŮ	17
3.3 MATERIÁLY NÁSTROJŮ	20
3.4 UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ	24
3.5 PARAMETRY PŘI SOUSTRUŽENÍ.....	26
4 SOUSTRUŽNICKÉ STROJE	30
4.1 VÍCEVŘETENOVÉ SOUSTRUHY	31
4.2 RTM STROJE (ROTARY TRANSFER MACHINE)	36
4.3 DLOUHOTOČNÉ SOUSTRUHY	37
4.4 PŘESNOST OBRÁBĚCÍHO STROJE.....	38
5 ANALÝZA KRITICKÝCH PRVKŮ	39
5.1 TECHNOLOGICKÝ ROZBOR – CORE	39
5.2 TECHNOLOGICKÝ ROZBOR – POLE TUBE.....	40
6 NÁVRH POSTUPU VÝROBY	42
6.1 POLOTOVAR.....	44
6.2 NAVRŽENÉ NÁSTROJE	45
6.3 NAVRŽENÉ STROJE	50
6.4 STROJNÍ ČASY	51
7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	62
7.1 VÝROBNÍ KAPACITA STROJŮ	62
7.2 POČET A VYUŽITÍ STROJŮ	63
7.3 POŘIZOVACÍ CENY STROJŮ	65
7.4 CENY NÁSTROJŮ.....	66
ZÁVĚR.....	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	74

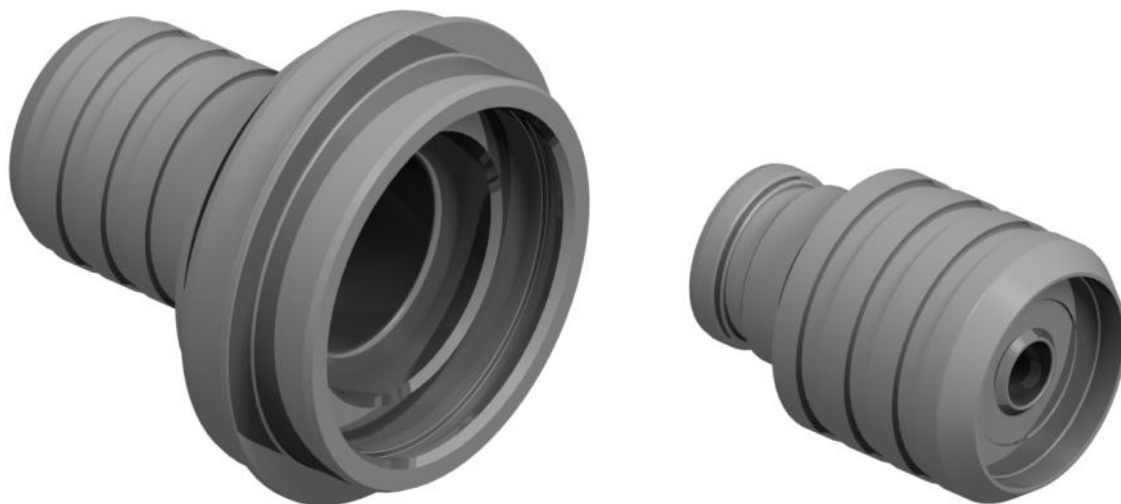
ÚVOD

Nezbytnou součástí strojírenského průmyslu je obor strojírenská technologie. V této práci se jedná především o výrobní technologie obrábění. Na zvolené technologii jsou potom přímo závislé jak vlastnosti vyráběné součásti, tak i jeho konečná cena.

Práce se zabývá velkosériovou výrobou dvou různých rotačních součástek, které slouží jako základ pro cívku do elektromagneticky ovládaného pneumatického ventilu. Tento ventil má být využíván jako prvek pneumatického systému v nákladních automobilech.

První polovina práce je převážně rešeršního charakteru, kde jsou rozebrány nástroje a stroje pro soustružení. Informace jsou čerpány především z internetových stránek výrobců zabývajících se danou problematikou. V druhé polovině práce jsou vypracovány návrhy výroby na strojích různého typu. Jedná se především o stroje pro obrábění drobných součástí včetně vícevřetenových soustruhů. Na závěr je uvedeno porovnání a doporučení jednotlivých technologií pro vyráběné součástky.

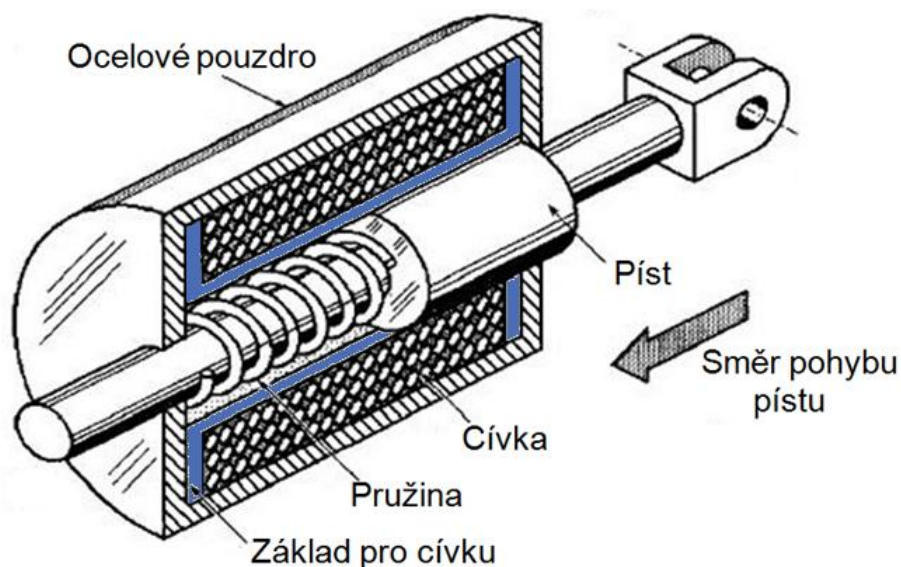
V práci nejsou uvedeny všechny parametry obráběných dílů ani podrobnosti ohledně funkce cívky z důvodu citlivosti informací.



Základ pro cívku.

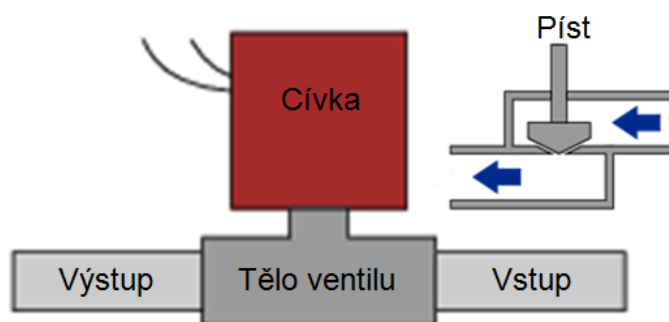
1 ZADANÉ SOUČÁSTI

Jak již bylo v úvodu zmíněno, základ pro cívku (nazývaný také jako kostra cívky) je složen ze dvou kusů, v práci dále nazývané jako *Core* a *Pole tube*. Pro zadaný výrobek je konstrukce odlišná, ale princip je obdobný jako na obr. 1.1 (modře je znázorněn základ pro cívku). Jedná se o zařízení, které přeměňuje elektrickou energii na lineární pohyb [1].



Obr. 1.1 Princip funkce cívky [1].

V okamžiku kdy cívkou prochází elektrický proud, se píst vlivem působení magnetického pole pohybuje proti pružině, čímž dojde k otevření ventilu. V případě přerušení dodávky elektrické energie, se píst vrátí do původní polohy (ventil je zavřený). Schéma elektromagneticky ovládaného ventilu je na obr. 1.2 [1, 2].



Obr. 1.2 Obecné schéma ventilu [2].

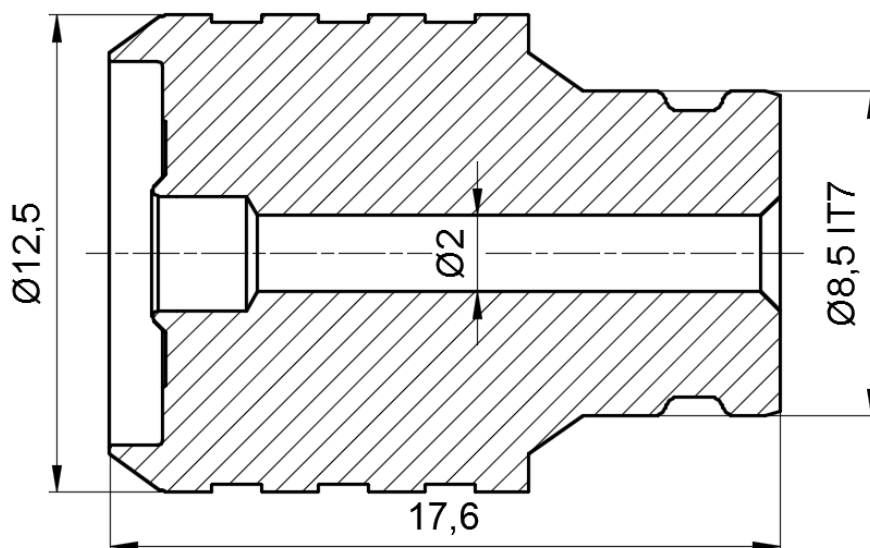
Na vyráběných dílech (*Core* a *Pole tube*) jsou mnohočetné tvarové plochy, zápichy, díry atd. V obou případech se jedná o součásti malých rozměrů. Jejich geometrické a rozměrové požadavky jsou detailněji rozebrány v kapitole 5.

1.1 Core

Součástí *Core* bude vyráběno více druhů, podle typu produktu. Pro účel diplomové práce je zvolena jedna ze složitějších variant tohoto dílu.

Na součásti (obr. 1.3) se obrábí jak vnější, tak vnitřní plochy. Vnější tvar součásti je tvořen dvěma různými průměry spojenými kuželovou plochou. Na vnějších průměrech jsou vytvořeny čtyři zápichy, z toho je jeden se zaoblenými hranami. Krajiní čelní plochy jsou sražené.

V ose součásti je vrtaná díra, která je z jedné strany zahloubená. Z druhé strany je otvor sražen. V zahloubení jsou soustruženy vnitřní plochy. Na čele vnitřního vybrání je vytvořen tvarový prvek s čelním zápichem.

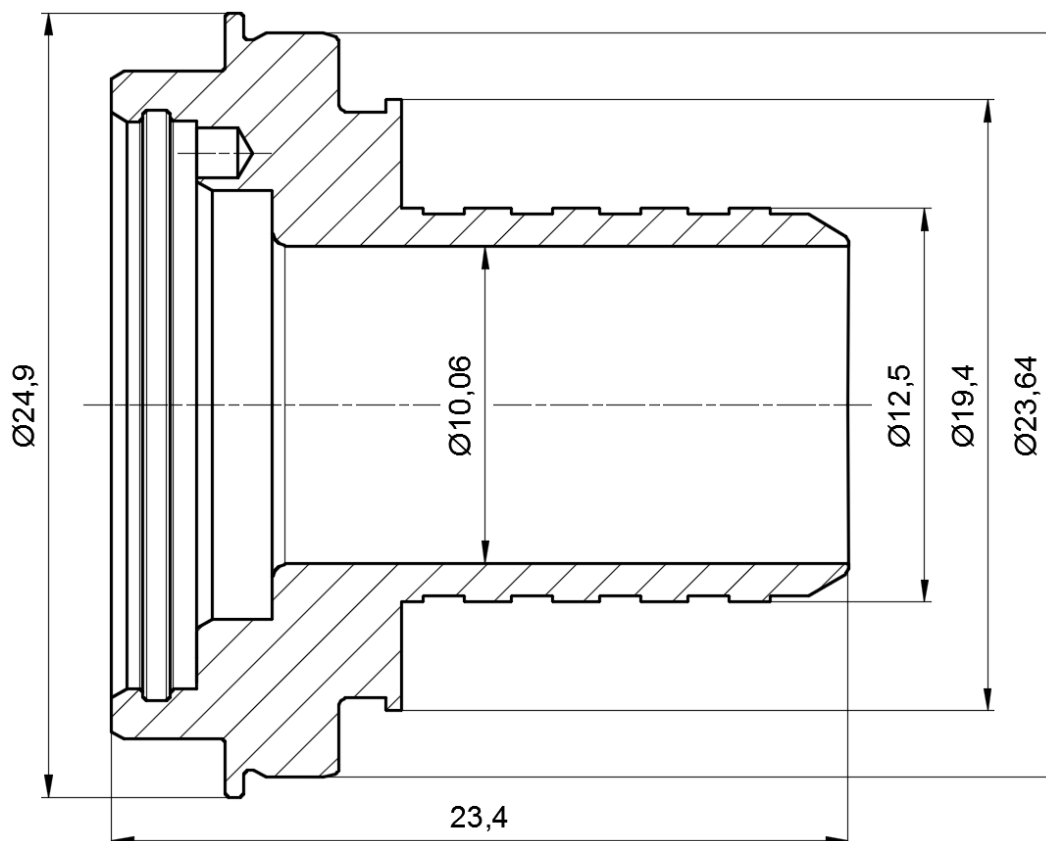


Obr. 1.3 Core (základní rozměry).

1.2 Pole tube

V porovnání se součástí *Core* je *Pole tube* (obr. 1.4) tvarově složitější. Stejně jako u *Core* se zde obrábí vnitřní i vnější plochy. Na součásti je vytvořeno pět rozdílných vnějších průměrů. Na třech z nich jsou vytvořeny zápichy. Čtyři jednoduché zápichy na $\varnothing 12,5$ mm, jeden zápich se zaoblením na $\varnothing 19,4$ mm a jeden rohový zápich na $\varnothing 23,64$ mm. Na vnějších plochách jsou vytvořeny mnohočetné zaoblení a zkosení.

V ose součásti je vytvořena díra, ve které jsou soustruženy válcové plochy. Na ploše o větším průměru je obroben zápich se zaoblením. Hrany válcových ploch jsou sraženy nebo zaobleny. Po vytvoření vnitřní geometrie je na čelní ploše vyvrtán excentricky otvor.



Obr. 1.4 Pole tube (základní rozměry).

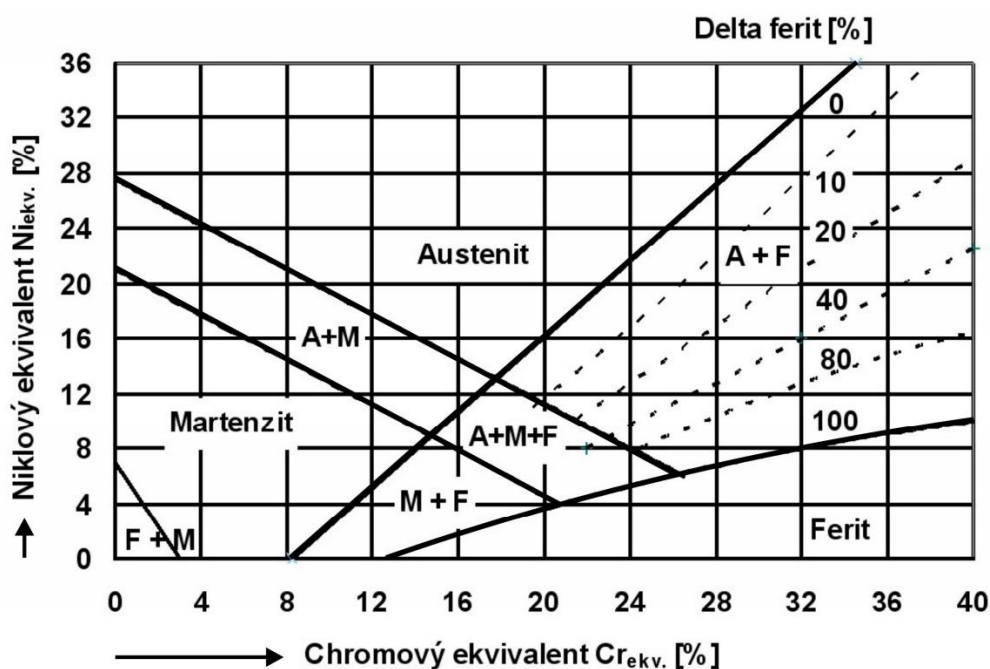
2 KOROZIVZDONÉ OCELI

Nejdůležitějším prvkem korozivzdorných ocelí je chrom Cr, který dává těmto materiálům schopnost pasivace. Díky pasivaci jsou tyto oceli odolné proti elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Aby byla zaručena podmínka pasivace, musí být v tuhém roztoku více než 11,5 % Cr. Korozivzdornost je také závislá na obsahu uhlíku C, který vytváří karbidy chromu, které snižují obsah Cr v tuhém roztoku. Vylučování těchto karbidů na hranicích zrn může být příčinou mezikrystalické koroze, kterou lze redukovat snížením obsahu C nebo přidáním prvku s vyšší afinitou k uhlíku než je afinita Cr (stabilizace např. titanem) [3].

Korozivzdorné oceli lze podle struktury rozdělit na [3]:

- feritické (F),
- martenzitické (M),
- austenitické (A),
- austenito-feritické (duplexní).

Struktura korozivzdorných ocelí je přímo závislá na chemickém složení, které lze vyjádřit v Schaefflerově – DeLognově diagramu pomocí chromového a niklového ekvivalentu (obr. 2.1) [4].



Obr. 2.1 Schaefflerův – DeLongův strukturní diagram Cr – Ni ocelí [4]

Hodnotu chromového a niklového ekvivalentu lze určit pomocí vztahů 2.1 a 2.2, které vychází v hmotnostních procentech [4]:

$$Ni_{ekv} = Ni + 0,5 \cdot Mn + 30 \cdot C + 30 \cdot N \quad [\%] \quad (2.1)$$

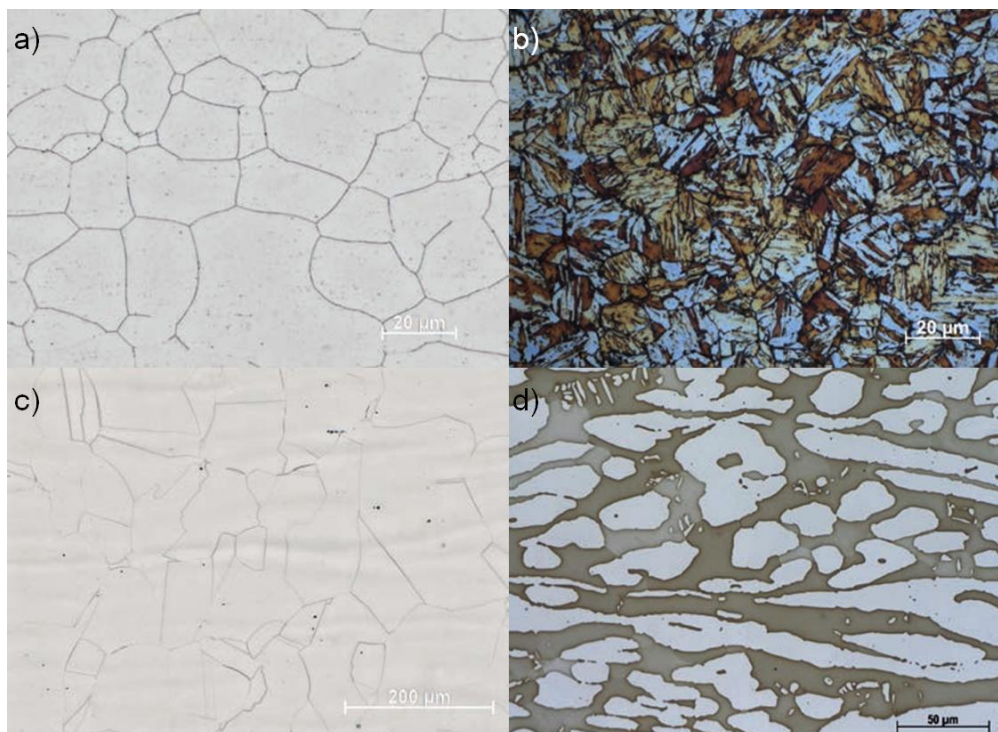
$$Cr_{ekv} = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb \quad [\%] \quad (2.2)$$

Feritické korozivzdorné oceli (obr. 2.2 a) obsahují 13 až 30 % Cr a do 0,08 % C, mají dobrou korozní a žárovou odolnost. Podstatnou nevýhodou je jejich křehnutí při vysokých teplotách (cca 900 °C). Při obrábění těchto ocelí je třeba počítat s tvorbou nárůstku a s horším odvodem třísek. Vzhledem k nízkému nebo žádnému obsahu niklu jsou tyto oceli méně nákladné než austenitické oceli [3, 5, 6].

Martenzitické korozivzdorné oceli (obr. 2.2 b) lze rozdělit dle chemického složení na chromové a chromniklové. Obsah Cr se pohybuje v rozmezí 11,5 až 17%, obsah uhlíku (do 1,5%) se potom řídí podle obsahu niklu. Odolnost proti korozi je u těchto materiálů nižší než u austenitických nebo feritických ocelí, avšak představují nejlevnější variantu. [4, 6].

Austenitické korozivzdorné oceli (obr. 2.2 c) vznikají za přítomnosti dostatečného množství austenitotvorných prvků, zejména niklu (8 až 40 %). Obsah uhlíku je obvykle pod 0,1 %. Tyto oceli mají v porovnání s martenzitickými a feritickými oceli nejlepší korozivzdornost [4, 6].

Austenito-feritické korozivzdorné oceli (obr. 2.2 d) nazývané také duplexní oceli obsahují ve struktuře přibližně stejný podíl austenitu a feritu. Obsahují více Cr (20 až 25 %) a méně niklu (1,4 až 7 %). Tyto materiály mají lepší mechanické vlastnosti a lepší korozivzdornost než většina běžných feritických a austenitických ocelí. Při výrobě těchto ocelí je nutné znát chování ocelí při změně chemického složení, které může mít za následek významnou změnu struktury a tím i změnu jejich vlastností [4, 5].



Obr. 2.2 Struktura korozivzdorných ocelí
a) feritická, b) martenzitická, c) austenitická, d) duplexní [5].

2.1 Obráběný materiál

Součásti jsou zhotoveny z feritické korozivzdorné oceli X6CrMoS17 (1.4105). Jedná se o automatovou ocel pro sériovou výrobu méně namáhaných součástí strojního zařízení (např. šrouby, matice). Ocel je vhodná pro sériovou výrobu obráběním. Díky vysokému obsahu síry je materiál lépe obrobitelný (lámavá tříška) [7]. Chemické složení a mechanické vlastnosti pro žíhaný válcovaný drát jsou uvedeny v tab. 2.1 a 2.2

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu (v hm. %) [7].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
max. 0,08	max. 1,50	max. 1,50	max. 0,04	0,15 až 0,35	16,00 až 18,00	0,20 až 0,60

Materiál je odolný vůči atmosférické korozi s výjimkou silně znečištěného ovzduší. Dále není odolný proti mezikrystalové korozi. [7]. Chrom a molybden zlepšují korozivzdornost materiálu a podporují tvorbu feritu. Síra potom zlepšuje obrobitelnost na úkor svařitelnosti a korozní odolnosti [5].

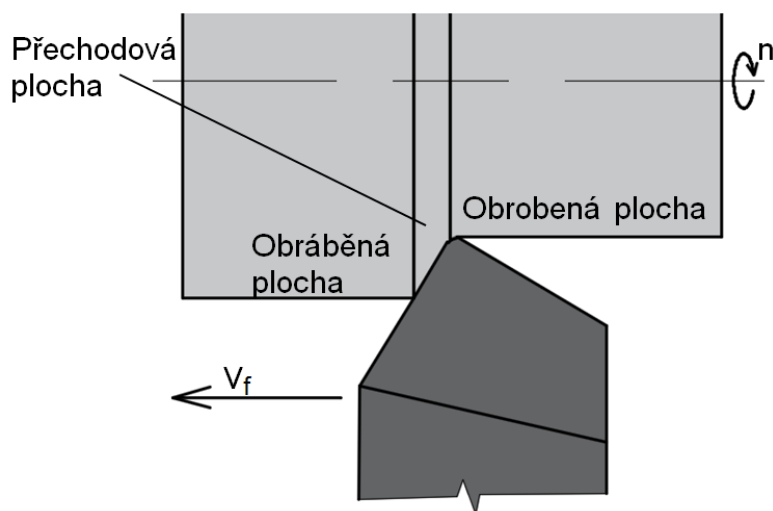
Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti [7].

Min. mez kluzu $R_{p0,2}$	250 MPa
Mez pevnosti R_m	430 až 630 MPa
Max. tvrdost HB	200
Modul pružnosti E	220 GPa

3 ŘEZNÉ NÁSTROJE A PARAMETRY PŘI SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je strojní třísková metoda obrábění, při které se zhotovují rotační součásti, nejčastěji pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení. Hlavní pohyb (rotační) vykonává obrobek a vedlejší pohyb (posuvný) koná nástroj. Soustružení patří mezi nejjednodušší a nejpoužívanější formu obrábění [8, 9].

Obrobek je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou (obr. 3.1). Kde obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu. Obráběná plocha je původní plocha před obrobením. Přechodová plocha je vytvořena působením ostří nástroje během otáčky obrobku. Její tvar závisí především na úhlu nastavení hlavního ostří [10].



Obr. 3.1 Princip soustružení.

3.1 Rozdělení nástrojů

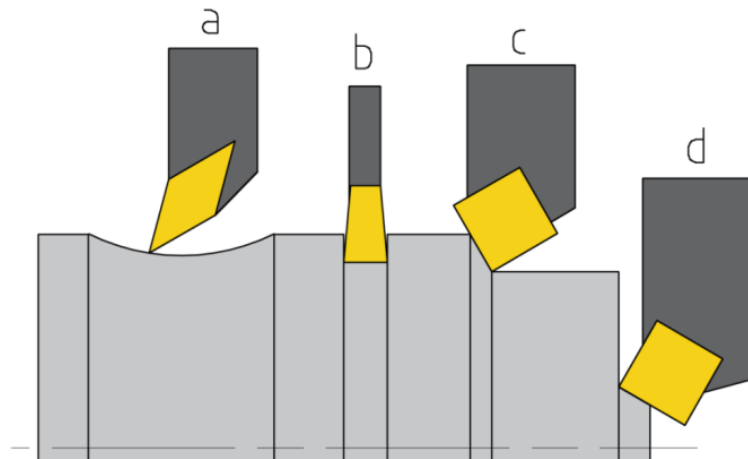
Pomocí soustružení lze vyhotovit vnitřní a vnější válcové, kuželové i tvarové plochy nebo rovinné čelní plochy a zápichy [9].

Nástroje pro soustružení jsou monolitní (obr. 3.1), nebo se skládají z vyměnitelné břitové destičky a tělesa nože (obr. 3.2 a 3.3). V dnešní době se při obrábění na automatizovaných výrobních linkách zpravidla používají soustružnické nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (dále jen VBD) ze slinutého karbidu [10]. VBD jsou k tělu nože připevněny různými způsoby např. pomocí šroubu.

Způsob upnutí VBD, velikost a tvar nástrojů je ve většině případů normalizován a značen dle norem ISO.

Soustružení vnějších ploch

Kromě aplikací znázorněných na obr. 3.2, lze na vnějších válcových a kuželových plochách obrábět závity pomocí závitových nožů nebo závitových oček.

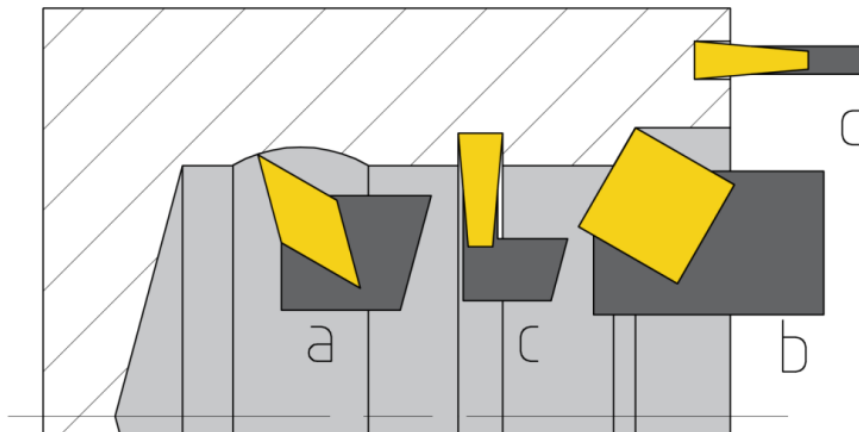


Obr. 3.2 Aplikace vnějších soustružnických nožů

a) tvarové soustružení; b) zapichování; c) podélné a d) čelní soustružení.

Soustružení vnitřních ploch

Na obr. 3.3 jsou znázorněny základní aplikace při soustružení vnitřních ploch. Na soustružích se běžně vyhotovují přesné díry v ose obrobku pomocí vystružování nebo jemného soustružení. Před soustružením vnitřních ploch je vhodné předvrtat dostatečně velkou díru, aby měl nástroj dostatek místa pro obrábění.



Obr. 3.3 Aplikace vnitřních soustružnických nožů

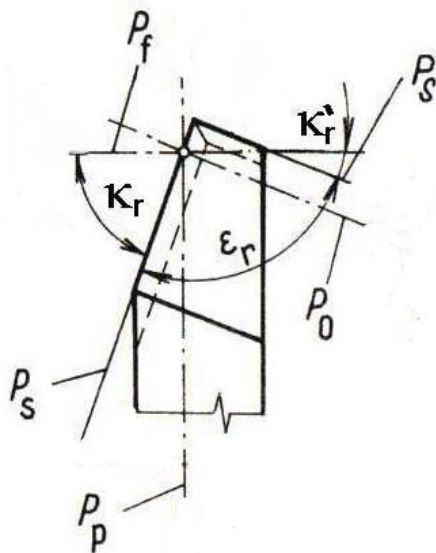
a) tvarové a b) podélné soustružení; c) radiální a d) axiální zapichování.

3.2 Geometrie nástrojů

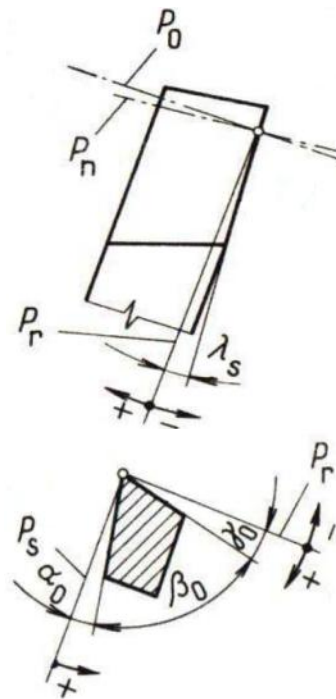
Nástroj je z geometrického hlediska charakterizován svými prvky (tělo nože, řezná část, základna apod.), plochami, ostřími a rozměry ostří [9].

3.2.1 Nástrojové roviny

Geometrii nástroje lze zjednodušeně pospat v ortogonální (P_o), základní (P_r) a normální (značí se P_n a je kolmá na čelní plochu nástroje) nástrojové rovině. Pro konstrukci, výrobu a ostření nástrojů se dále využívá nástrojová rovina boční (P_f), ostří (P_s), zadní (P_p), největšího spádu čela a největšího spádu hřbetu [9].



Obr. 3.4 Nástroj v základní rovině [9].



Obr. 3.5 Pohled v rovině P_s a P_o [9].

3.2.2 Nástrojové úhly

Nástrojové úhly zpravidla ovlivňují velikost řezných sil, teplotu řezání, podmínky tvorby třísky, strukturu povrchu obrobku, vlastnosti povrchové vrstvy obrobene plochy a hospodárnost obrábění [9, 11].

Úhel nastavení ostří (κ_r , κ_r')

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r , který se běžně pohybuje v rozsahu $0^\circ \div 90^\circ$, má významný vliv na tvar třísky a velikost pasivní a posuvové složky síly při soustružení. Velikost úhlu nastavení vedlejšího ostří κ_r' je přímo závislá na úhlech κ_r a ϵ_r (úhlu špičky ostří), viz obr. 3.4. Úhel nastavení vedlejšího ostří má významný vliv na strukturu obrobeneho povrchu obrobku [9].

Úhel sklonu hlavního ostří (λ_s)

Úhel sklonu hlavního ostří (obr. 3.5) má zejména vliv na tuhost břitu a zatížení špičky nástroje. Jeho velikost ovlivňuje tvorbu třísky. Při kladném úhlu, odchází tříska směrem od obrobku. Záporný úhel zvyšuje trvanlivost nástroje na úkor horšího odvodu třísek (do obrobku) [9].

Při přerušovaném řezu a hrubování s velkým úběrem se využívá soustružnických nožů se záporným úhlem sklonu ostří (-4° až -8°). Kladný nebo nulový úhel sklonu se používá při dokončování nebo obrábění vnitřních ploch [11].

Ortogonalní úhel čela (γ_o)

Ortogonalní úhel čela (obr. 3.5) má vliv na mechanismus tvorby třísky a její odchod z místa řezu. Při malém úhlu γ_o vznikají při obrábění větší síly, vlivem intenzivnějšího pěchování třísky. Úhel čela se běžně pohybuje v rozmezí $-8^\circ \div 8^\circ$ [9].

Ortogonalní úhel hřbetu (α_o)

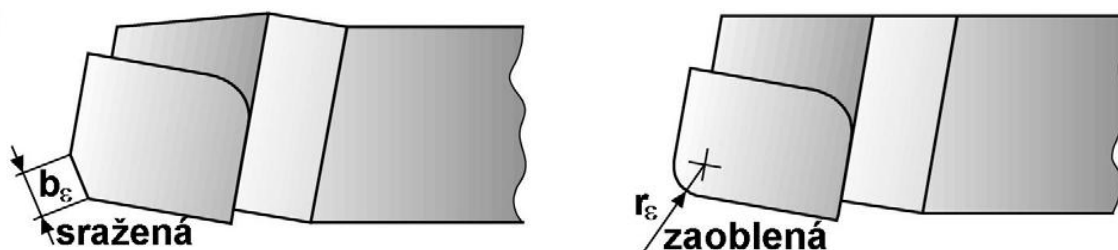
Ortogonalní úhel hřbetu se běžně pohybuje v rozsahu 8° až 12° . Vysoké hodnoty úhlu α_o jsou používány pro obrábění pevnějších materiálů s nízkými posuvy, malou šířkou záběru ostří a vysokými řeznými rychlostmi [9].

Ortogonalní úhel břitu (β_o)

Ortogonalní úhel břitu leží mezi úhly α_o a γ_o na kterých je přímo závislý. Pohybuje se v rozsahu 40° až 100° . Velikost úhlu břitu ovlivňuje tuhost břitu (pro obrábění materiálů s vysokou pevností se volí velké hodnoty úhlu, při obrábění materiálů s nižší pevností nízké hodnoty) [9].

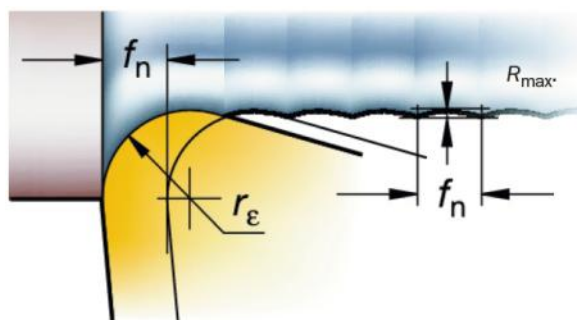
3.2.3 Geometrie špičky nástroje

Špička nástroje je malá část ostří, která je při soustružení klíčovým faktorem. Nachází se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Špička může být sražená nebo zaoblená (obr. 3.6) [9, 12].



Obr. 3.6 Varianty špičky nástroje [9].

Velikost zaoblení špičky má zásadní vliv na jakost obrobené plochy, pevnost řezného nástroje a lámání třísek. Malý poloměr zaoblení snižuje vibrace a je vhodný pro malé hloubky řezu. U nástrojů s větším poloměrem zaoblení je možné použít vysoké hodnoty rychlosti posuvu a hloubky řezu, díky zvýšené odolnosti břitu [12].



Obr. 3.7 Poloměr zaoblení špičky nástroje [12].

Hodnota poloměru zaoblení špičky se pro nástroje s jednoduchým zaoblením pohybuje přibližně v rozmezí 0,1 až 2,4 mm. Pro tyto nástroje lze pomocí vztahu 3.1 vypočítat maximální hloubka drsnosti R_{\max} . Hodnota R_{\max} je spolu s ovlivňujícími parametry názorně vidět na obr. 3.7 [12].

$$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 10^3 [\mu\text{m}] \quad (3.1)$$

kde: $R_{\max} [\mu\text{m}]$ – maximální výška profilu,
 $f_n [\text{mm}]$ – posuv na otáčku,
 $r_\epsilon [\text{mm}]$ – poloměr zaoblení špičky.

3.3 Materiály nástrojů

Nástroje jsou vyráběny z různých materiálů, od nástrojových ocelí až po supertvrdé materiály. Řezné materiály by měly být dostatečně tvrdé, aby zajistily odolnost proti opotřebení a plastické deformaci. Dále by měly mít vysokou houževnatost (ochrana proti lomu), chemickou neutralitu a stabilitu [8].

V současné době jsou hlavními představiteli nástrojových materiálů pro strojní obrábění: rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a supertvrdé řezné materiály [13].

3.3.1 Rychlořezné oceli

Vysokolegované rychlořezné oceli zpravidla obsahují méně než 1% uhlíku. Dále obsahují karbidotvorné prvky jako jsou chrom Cr, wolfram W, vanad V, molybden Mo a nekarbidotvorný kobalt Co. Tvrdost rychlořezných ocelí je dána přítomností karbidů a zakalením martenzit. Použitelná řezná rychlost pro tyto nástroje je v rozmezí 25 až 50 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ [10, 13].

Kromě běžně vyráběných rychlořezných ocelí tavením se uplatňují i rychlořezné oceli vyráběné práškovou metalurgií. Touto metodou lze vyrobit oceli s vyšším obsahem legur, jemnější strukturou a rovnoměrným rozložením karbidů a nekovových vměstků [13].

Rychlořezné oceli se v dnešní době běžně opatřují ochrannými povlaky ke zvýšení životnosti a produktivity obrábění, podobně jako je tomu i u slinutých karbidů.

3.3.2 Slinuté karbidy

Jsou vyráběny práškovou metalurgií, pomocí které jsou slinovány tvrdé částice karbidů wolframu WC, titanu TiC, tantalu TaC, niobu NbC, chromu CrC atd. Do slinutých karbidů (SK) se zpravidla přidává kobalt Co, který slouží jako pojivo. Na množství jednotlivých fází je potom závislá odolnost proti otěru, houževnatost a tvrdost nástroje [10, 12, 13].

Slinuté karbidy jsou rozděleny podle obráběného materiálu (příklady obráběných materiálů jsou uvedené v levém sloupci), které jsou barevně odlišeny (viz tab. 3.1).

Tab. 3.1 Rozdělení slinutých karbidů [14].

Skupina	Definice skupiny	Příklad (ČSN)
P	Oceli a ocelolitiny s dobrou obrobitelností, automatové a nízkouhlíkové oceli.	11 109
	Nelegované a nízkolegované ocelolitiny se středním obsahem uhlíku, s pevností do 900 MPa (160 až 255 HB).	12 050
	Hůře obrobitelné nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku s pevností do 1000 MPa a tvrdostí do 300 HB.	15 340
	Středně až vysoce legované ocelolitiny a oceli	19 436
M	Feritické korozivzdorné oceli.	17041
	Martenzitické korozivzdorné oceli.	17042
	Austenitické korozivzdorné oceli.	17 247
	Feriticko-austenitické a superaustenitické oceli.	17 465
K	Šedé litiny.	42 2425
	Temperované litiny.	42 2545
	Tvárné litiny feritické a feriticko-perlitické.	42 2304
	Tvárné litiny perliticko-feritické, -sorbitické a perlitické.	42 2307
N	Hliník a jeho měkké slitiny Al, zejména tvářené a lité (nevytvrzené), tvrdost do 100 HB.	42 4400
	Tvrdé slitiny Al, zejména lité vytvrzené.	42 4330
	Měkké slitiny, Cu automatová mosaz a ostatní měkké mosazi a bronzы	42 3135
	Hůře obrobitelné a tvrdé slitiny Cu	42 3145
S	Technicky čistý Ti, slitiny zušlechtěné a stárnuté	TiAl6V4
	Slitiny na bázi Fe	INCOLOY 800
	Slitiny na bázi Ni	INCONEL 718
	Slitiny na bázi Co	Haynes 25
H	Vysoce pevné a tvrdé nástrojové oceli, kalené a zušlechtěné oceli o tvrdosti 40 až 50 HRC	19 854
	Tvrzená a bílá litina 350 až 600 HV	42 2483
	Kalené a zušlechtěné oceli o tvrdosti 50 až 55 HRC	19 552.4
	Kalené a zušlechtěné oceli, tvrdosti nad 55 HRC	19 436.4

Dle ČSN ISO 513 (22 0801) se slinuté karbidy označují následovně [12, 13]:

- HW** – nepovlakované SK, který obsahuje převážně karbidy wolframu,
- HT** – nepovlakované SK, obsahující převážně TiC nebo TiN nebo obojí,
- HC** – povlakované SK (zahrnují povlakované HT a HW).

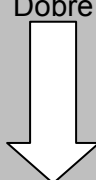
Nepovlakované SK se využívají jen výjimečně. Skládají se přímo z karbidu wolframu a kobaltu nebo obsahují velké množství kubických karbo-nitridů. Aplikují se např. při obrábění žáruvzdorných nebo titanových slitin. Dále také při soustružení tvrzených materiálů při nízkých řezných rychlostech. Rychlost opotřebení je u nepovlakovaných SK značná, ale kontrolovaná [12].

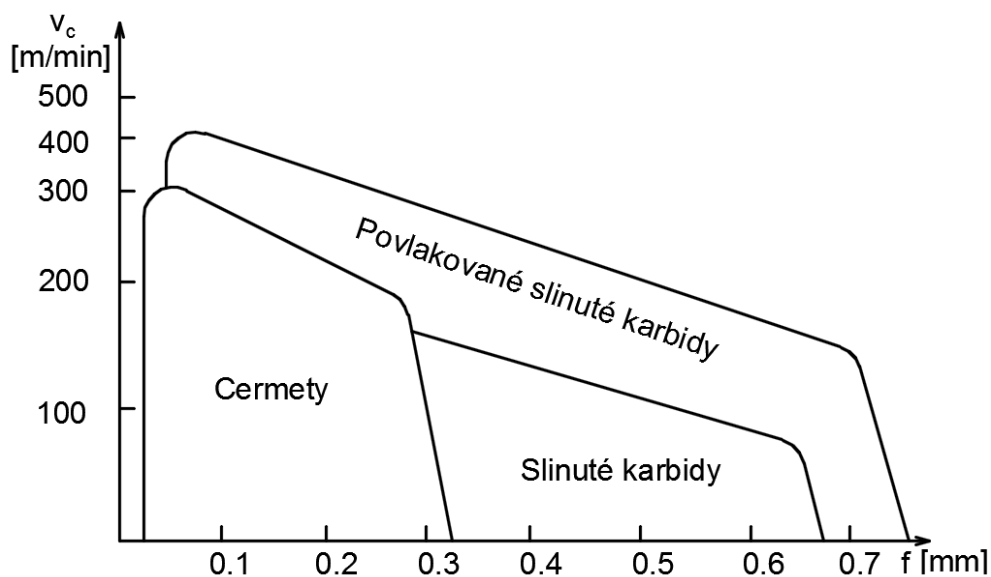
V převážné většině se využívá SK, které jsou opatřeny ochranným povlakem. Jedná se o tenkou vrstvu materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Povlak tvoří bariéru mezi slinutým karbidem a obráběným materiálem, takže zabraňuje difuznímu mechanismu opotřebení nástroje [15].

Při povlakování SK je cílem vyrobit nástroj s tvrdým otěruvzdorným povrchem a houževnatým jádrem. K tomu účelu jsou vyráběny nástroje s jednovrstvým nebo vícevrstevným povlakem. U vícevrstevných povlaků se nejdříve nanáší vrstva, která má dobrou přilnavost k podkladu, jako poslední potom vrstvy s vysokou odolností proti opotřebení [13].

Materiály běžně používané pro povlaky jsou uvedené v tab. 3.2, kde jsou sestupně seřazeny podle vlastností.

Tab. 3.2 Porovnání vlastností povlakových materiálů [16].

Vlastnosti	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
Dobré  Špatné	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiC	Al ₂ O ₃
	TiAlN	TiAlN	TiCN	TiAlN
	TiN	TiN	Al ₂ O ₃	TiN
	TiCN	TiCN	TiAlN	TiCN
	TiC	TiC	TiN	TiC



Obr. 3.8 Oblasti použití rezných podmínek při soustružení běžné oceli [13].

3.3.3 Cermety

Název cermet vznikl sloučením dvou slov – keramika (ceramic) a kov (metal). Jsou to tedy materiály, které vynikají tvrdostí keramiky a houževnatostí kovu. Cermety jsou vyráběné, stejně jako SK, práškovou metalurgií. Základním stavebním prvkem jsou karbidy, nitridy a karbonitridy titanu. Dále jsou tvořeny sekundárními tvrdými fázemi tvořenými titanem, niobem nebo wolframem. Jako pojivo slouží kov bohatý na kobalt Co. Podobně jako SK mohou být povlakovány [12, 15].

Tvrdost cermetů je srovnatelná se slinutými karbidy. Nejsou však tak houževnaté a nejsou odolné proti teplotním šokům (omezené používání řezné kapaliny). Porovnání použití řezných podmínek při soustružení se slinutými karbidy a cermety je znázorněno na obr. 3.8 [13]. Cermet má v porovnání s SK menší sklon k tvoření nárůstků na břitu nástroje. Používají se především při dokončování, kdy je požadovaná vysoká kvalita opracování [17].

3.3.4 Keramické materiály

Keramické řezné materiály jsou chemicky stálé, odolné proti otěru a mají vysokou tvrdost i za vysokých teplot (až 1200°C). Při obrábění jsou použitelné pro řezné rychlosti 300 až 1600 m·min⁻¹. Značnou výhodou je jejich nízká cena. Nevýhodou potom jejich křehkost a nízká odolnost proti vzniku tepelných trhlin. Proto je nelze použít při přerušovaných řezech a je omezené použití řezných kapalin. Keramické nástroje jsou vyráběny i s ochrannými povlaky [12, 13, 15].

Řeznou keramiku lze rozdělit do pěti skupin dle chemického složení [10, 12]:

Oxidová keramika – skládá se z oxidu hlinitého (Al₂O₃), s příměsí až 20% oxidu zirkoničitého (ZrO₂), který brání šíření trhlin.

Směsná keramika – kromě Al₂O₃ obsahuje 20 až 40% karbidů a karbo-nitridů titanu. V porovnání s oxidovou keramikou je houževnatější.

Keramika vyztužená whiskery – u keramiky vyztužené whiskery (karbidem křemíku SiC_w) je značný nárůst houževnatosti a je možné použít řeznou kapalinu.

Keramika z nitridu křemíku (Si₃N₄) – neoxidická keramika vhodná především pro obrábění litiny s lupínkovým grafitem. Jsou odolné proti teplotním rázům a jsou vhodné i pro přerušované řezy.

Sialon (SiAlON) – vysoká pevnost a chemická stabilita. Jsou vhodné pro obrábění žáruvzdorných slitin.

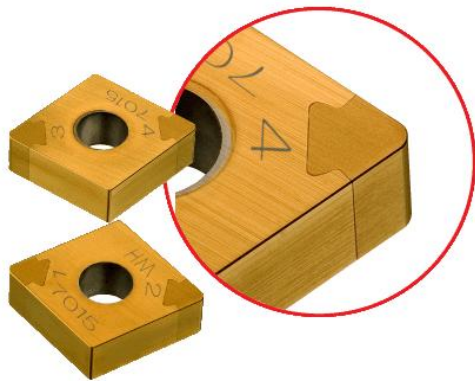
3.3.5 Supertvrdé materiály

Do této skupiny materiálu patří polykrystalický kubický nitrid bóru (CBN) a polykrystalický diamant (PCD). Ze zmíněných materiálů jsou vyrobeny pouze segmenty, které jsou zakotveny/připájeny k nástroji nebo k VBD (obr. 3.9 a 3.10). Výjimečně je z CBN/PCD vyrobena celá břitová destička [12, 13].

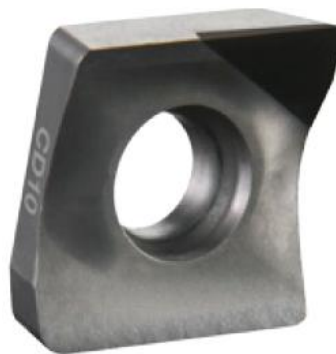
Polykrystalický kubický nitrid bóru

Tento materiál je vyráběn při vysokých teplotách a tlacích, při nichž dojde ke spojení krystalů bóru s keramickým nebo kovovým pojivem. Keramické pojivo zvyšuje odolnost proti opotřebení. Kovové pojivo zvyšuje houževnatost. CBN mají obecně dobrou houževnatost, odolnost proti opotřebení, chemickou stabilitu, odolnost proti teplotním rázům a především vysokou tvrdost za vysokých teplot [10, 12].

CBN se používají především při dokončovacím soustružení tvrzených ocelí nad 45 HRC. Měkčí oceli s vyšším obsahem feritu mohou mít negativní vliv na odolnost proti otěru. Dále se využívají při vysokorychlostním hrubování litiny s lupínkovým grafitem při frézování i soustružení [12].



Obr. 3.9 VBD s hrotem z CBN [12].



Obr. 3.10 VBD s hrotem z PCD [12].

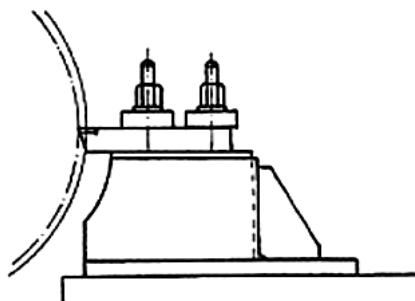
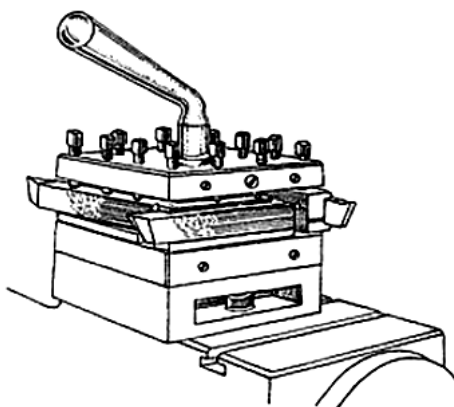
Polykrystalický diamant

PCD je vyráběn slinováním syntetických diamantových částic s kovovým pojivem. Jelikož se jedná o nejtvrdší řezné materiály, jsou také nejodolnější proti otěru. Na druhou stranu postrádají chemickou stabilitu za zvýšených teplot (vysoká afinita k železu) [12].

PCD lze aplikovat při obrábění neželezných kovů a nekovových materiálů jako jsou např. slitiny hliníku a mědi, grafit, sklo, plasty, dřevo atd. Dále jsou vhodné pro jemné dokončování slitin titanu [12, 13].

3.4 Upínání nástrojů

Při konvenčním soustružení se nečastěji upíná pomocí otočných *nožových hlav*, do kterých mohou být pomocí šroubů upnuty až čtyři nástroje najednou. U soustruhů větších rozměrů se využívá tzv. *upínek* (obr. 3.11). [15, 18]



Obr. 3.11 Otočná nožová hlava (vlevo), upínek (vpravo) [15].

Při upínání nástrojů na CNC soustruzích se převážně využívá otočných *revolverových hlav* (obr. 3.12). Při procesu obrábění je otočná hlava natočena na požadovanou polohu, kde je upnutý nástroj. Tento způsob umožňuje upínat nejen soustružnické nože, ale také vrtací nástroje. [18]



Obr. 3.12 Osazená revolverová hlava [12].

Při obrábění na CNC obráběcích centrech je možné využívat nástrojů, které mají stavebnicovou konstrukci. Mezi prvky stavebnicové konstrukce patří (sestava nemusí obsahovat všechny prvky) [9]:

- základní držák pro upnutí na obráběcím centru,
- redukční členy,
- prodlužovací členy,
- upínací členy pro upnutí řezných částí nástroje,
- řezná část.

Mezi stavebnicové (modulární) upínací systémy patří např. Coromant Capto od firmy Sandvik Coromant nebo SECO Capto od firmy SECO.

Jako příklad zde uvádím sestavu od firmy Sandvik Coromant (obr. 3.13), kde je znázorněna upínací jednotka pro revolverovou hlavu ke které se připevňuje adaptér, do kterého je upnut vlastní nástroj. V případě použití řezné jednotky Coromant Capto, odpadá nutnost použití adaptéru pro nástroj.



Upínací jednotka

Adaptér pro nástroj

Nástroj se čtyřhrannou stopkou

Obr. 3.13 Upínání nástroje do revolverové hlavy [12].

Upínání adaptéru do upínací jednotky je prováděno buď pomocí šroubu, nebo hydraulicky. Pro poháněné nástroje lze použít poháněné upínací jednotky. [12]

Rotační nástroje jsou upínány např. pomocí tepelných, hydraulických nebo kleštinových upínačů. Stejně jako u klasických soustružnických nástrojů, lze u poháněných nástrojů využívat modulární upínací systémy.

3.5 Parametry při soustružení

V reálném obráběcím procesu je proces řezání charakterizován řadou technologických veličin. Z kinematického hlediska se jedná o [10]:

Řeznou rychlost v_c :

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.2)$$

Posuvovou rychlost v_f

$$v_f = 10^{-3} \cdot f_n \cdot n \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.3)$$

Rychlost řezného pohybu v_e :

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.4)$$

kde: D [mm] – průměr obráběné plochy,
 f_n [mm] – posuv na otáčku,
 n [min⁻¹] – otáčky obrobku.

Průřez třísky a její rozměry jsou dány velikostí posuvové rychlosti f_n , hloubkou záběru ostří a_p a nastavením hlavního ostří κ_r . Šířka záběru ostří je rozdíl mezi neobrobenou plochou a obrobeným povrchem (viz obr. 3.14). Průřez třísky a její rozměry je možné charakterizovat vztahy [10, 12]:

Jmenovitý průřez třísky A_D pro $r_\epsilon \sim 0$ je:

$$A_D = a_p \cdot f_n \text{ [mm}^2] \quad (3.5)$$

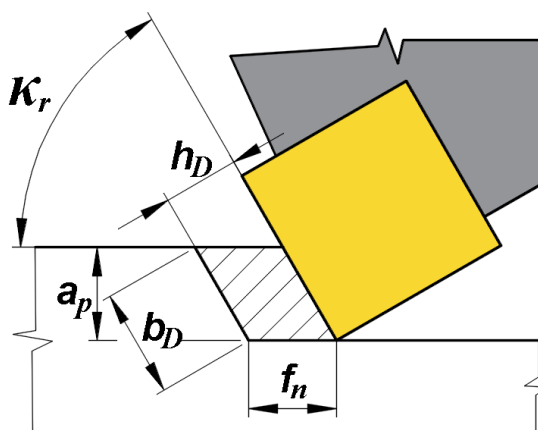
Jmenovitá šířka třísky b_D :

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

Jmenovitá tloušťka třísky h_D :

$$h_D = \frac{A_D}{b_D} \text{ [mm]} \quad (3.7)$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,
 b_D [mm] – šířka třísky.



3.14 Jmenovitý průřez třísky při podélném soustružení [10].

Šířka záběru hlavního ostří by podle obecného pravidla neměla být menší než $2/3$ velikosti poloměru zaoblení špičky nástroje. V případě přísuvů potom $1/2 r_\epsilon$ [12].

Posuv by měl být dostatečně velký, pro zajištění efektivního řezu. Při příliš vysokém posuvu může dojít k vylomení břitu, proto by posuv neměl být větší než polovina poloměru zaoblení špičky [19].

Trvanlivost nástroje

Je to doba trvání řezného procesu, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce. Tato doba je přímo závislá na obráběném materiálu, řezném materiálu, geometrii nástroje a použitých řezných podmínkách při soustružení [10, 19]. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti v lineárních souřadnicích je na obr. 3.15. Tento graf uvažuje stejnou míru opotřebení pro různé řezné rychlosti.

K dosažení co nejdelší trvanlivosti nástrojů lze upravit řezné podmínky. Ke snížení doby nástroje v řezu lze použít co největší posuv na otáčku f_n a co největší šířku záběru ostří a_p (čímž se sníží počet řezů). Nejznačnější vliv na trvanlivost nástroje má řezná rychlost v_c . Snížením řezné rychlosti se dosáhne snížení množství vznikajícího tepla, a tím i zvýšení trvanlivosti nástroje [12]. Řezná rychlost však musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k tvorbě nárůstku a tím i k předčasnému opotřebení nástroje [19]. Vliv řezné rychlosti na trvanlivost řezného nástroje lze popsat jednoduchým Taylorovým vztahem [10]:

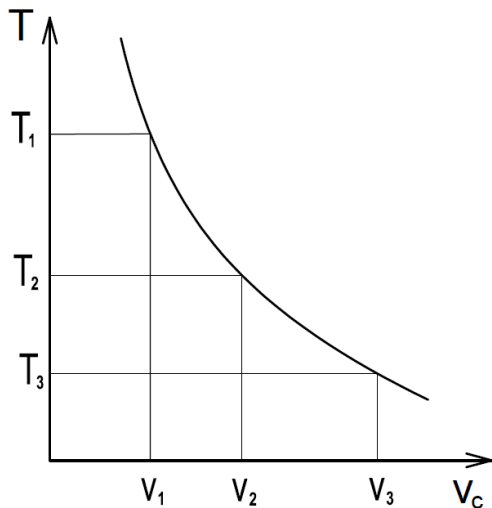
$$T = C_T \cdot v_c^{-m} [\text{min}] \quad (3.8)$$

kde: T [min] – trvanlivost nástroje,
 C_T, m [-] – konstanty.

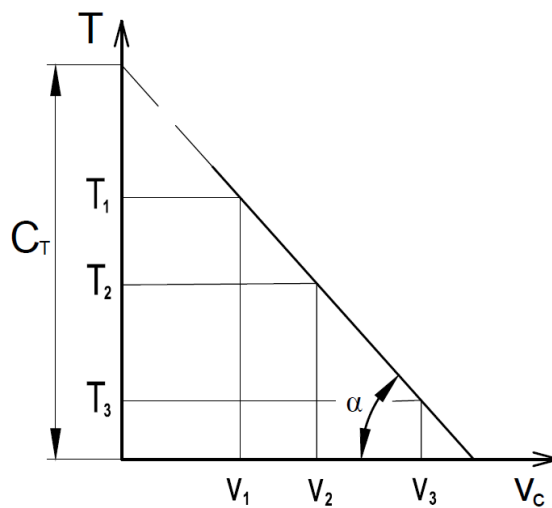
Konstanta C_T zahrnuje vlastnosti materiálu obrobku a nástroje, a pohybuje se v rozsahu 10^8 až 10^{12} . Velikost exponentu m je ovlivněna vlastnostmi nástroje a způsobem obrábění (nabývá přibližně hodnot 1 až 10) [10]. Tyto konstanty lze

stanovit z průběhu závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti v logaritmických souřadnicích (obr. 3.16), kde pro exponent m platí:

$$m = \operatorname{tg} \alpha \quad (3.9)$$



Obr. 3.15 Závislost T na v_c – lineární souřadnice [10].



Obr. 3.16 Závislost T na v_c – logaritmické souřadnice [10].

Strojní čas

Další charakteristickou veličinou při soustružení je jednotkový strojní čas t_{AS} , který lze stanovit pomocí vztahu 3.10 a 3.11. Jednotlivé veličiny jsou znázorněny na obr. 3.17 a 3.18.

Strojní jednotkový čas při konstantních otáčkách [10]:

$$t_{AS} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{n \cdot f_n} \quad [\text{min}] \quad (3.10)$$

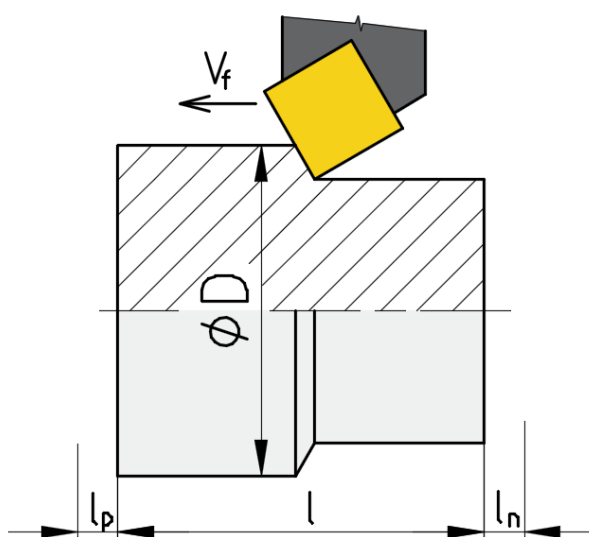
kde: l_n, l_p [mm] – délka náběhu a přeběhu,
 l [mm] – délka obráběné plochy,
 i [-] – počet záběrů,
 n [min^{-1}] – otáčky za minutu,
 f_n [mm] – posuv na otáčku.

Strojní jednotkový čas s konstantní řeznou rychlostí (při soustružení mezikruží) [10]:

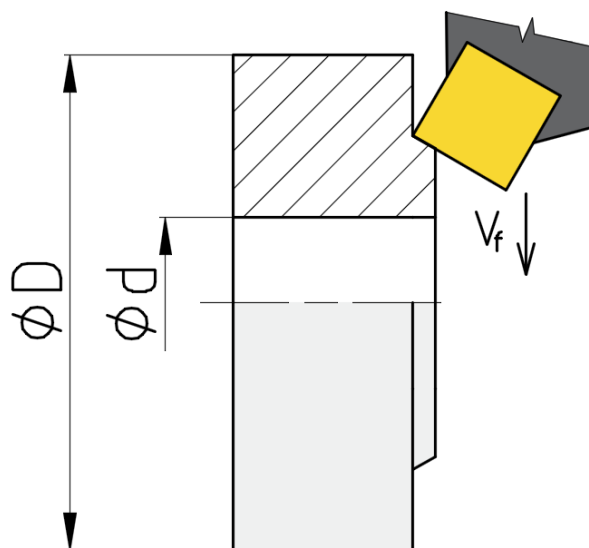
$$t_{AS} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4 \cdot 1000 \cdot v_c \cdot f_n} \text{ [min]} \quad (3.11)$$

- kde: D [mm] – počáteční průměr obrobku,
 d [mm] – konečný průměr obrobku,
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost,
 f_n [mm] – posuv na otáčku.

Při výpočtu strojního času s konstantní řeznou rychlostí lze do počátečního a konečného průměru (D a d) zahrnout polovinu velikosti nájezdu a přejezdu.



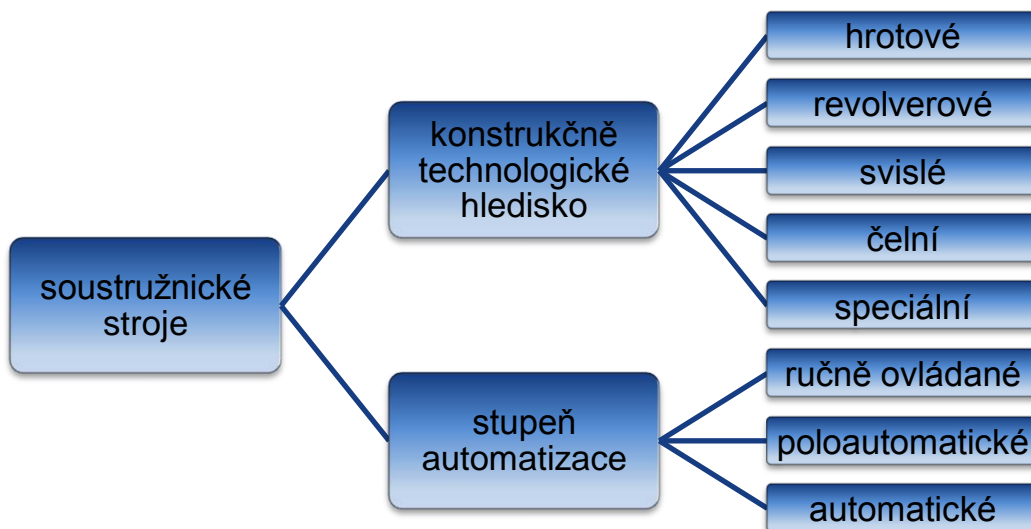
Obr. 3.17 Podélné soustružení – konstantní otáčky [10].



Obr. 3.18 Soustružení mezikruží – konstantní řezná rychlost [10].

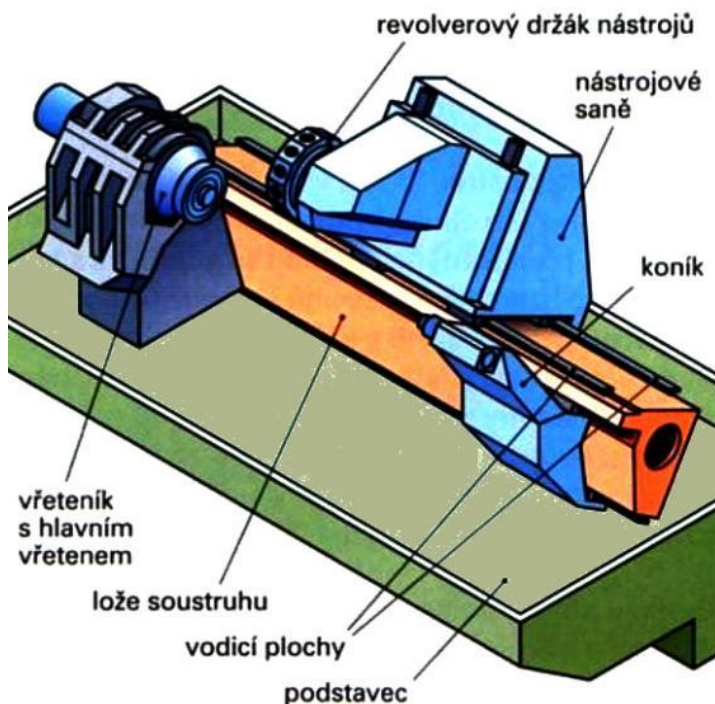
4 SOUSTRUŽNICKÉ STROJE

Soustružnický stroj je základním prvkem obráběcího systému, pomocí kterého je realizovaný obráběcí proces. Soustruhy se vyskytují ve velkém počtu typů a vykazují různý stupeň automatizace. Rozdělují se většinou podle roviny lože, polohy hlavního vřetená nebo podle počtu vřeten. Příklad rozdělení podle konstrukce a stupně automatizace jsou zobrazeny na obr. 4.1 [9, 11].



Obr. 4.1 Základní rozdělení soustružnických strojů [9]

Soustružnické stroje jsou ve většině případů modulární a jsou upraveny podle potřeb uživatele. Jako je tomu na obr. 4.2, kde např. koník může být nahrazen protivřetenem (na obr. 4.2 jsou současně popsány základní části stroje) [11].



Obr. 4.2 Hlavní části soustružnického stroje [11].

4.1 Víceřetenové soustruhy

Tyto automatické soustruhy umožňují obrábět více dílů v několika vřetenech současně. Víceřetenové soustruhy (obr. 4.3 a 4.4) se nasazují především v hromadné a velkosériové výrobě, kdy je potřeba dosáhnout vysokých výkonů obrábění, zvýšení produktivity a snížení výrobních nákladů. Protože se při tomto typu výroby úkony mnohonásobně opakují, je možné rozdělit obrábění na jednotlivé úseky, a každý z nich zdokonalit a urychlit [9]. K tomuto účelu je vhodný tento typ strojů, kdy se jednotlivé úseky přidělí k pracovním vřetenům.

Podle schématu na obr. 4.1 lze víceřetenové stroje zařadit mezi automatické, speciální soustružnické stroje. Víceřetenové stroje lze dále rozdělit na vačkové a numericky řízené (NC).

Vačkové stroje jsou oproti NC strojům cenově dostupnější a v případě hromadné výroby jednoduchých rotačních součástí vhodnější. Pro řízení rychlosti a rozsahu posuvu se využívá vačkových mechanismů, kterými se nejčastěji řídí pouze jedna osa, kdy se pro soustružení používá tvarových nástrojů. Vačkové stroje lze s omezením vybavit NC superty.

NC víceřetenové stroje se uplatňují především tam, kde se obrábí velké série komplexnějších dílů. Seřízení stroje na jinou výrobu není tak časově náročné jako u vačkových strojů. Proto jsou vhodné i pro středně velké série, kdy se obrábí součásti podobných parametrů.

Víceřetenové automaty mají zpravidla horizontální osy vřeten. Ve většině případů jsou tyto stroje určeny pro práci z tyčového materiálu, ale mohou obrábět i přírubové materiály nebo přesné odlitky [20]. V případě předobrobeného polotovaru nebo odlitku je nutné stroj vybavit manipulačním zařízením, které zajistí upnutí polotovaru.



Obr. 4.3 INDEXT MS 32 [21].



Obr. 4.4 Tornos MultiSwiss 6x14 [22].

V jednotlivých vřetenech se dá zpravidla obrábět vnitřní a vnější plochy současně, tak jako je tomu i u některých jedno a dvouřetenových soustruhů [21].

Jak již bylo zmíněno, soustruhy jsou ve většině případů modulární, což platí zejména pro víceřetenové soustruhy. Jednotlivé části stroje jsou podrobněji popsány v podkapitolách této kapitoly.

4.1.1 Vřetenový buben

Počet vřeten uložených ve vřetenovém bubnu se obvykle pohybuje v rozmezí 3 až 8. Dále je zde také uložen upínač obráběné součásti, do kterého je posouván polotovár, skrze vřetenový buben. Vřetena jsou chlazena vzduchem nebo kapalinou. Při chlazení kapalinou se dosahuje tepelné stability a zvýšené životnosti vřeten [20, 21].

Rychlost otáčení každého z pracovních vřeten je stejná nebo rozdílná, a může být regulována při změně polohy vřetenového bubnu [21]. Čas potřebný na pootočení bubnu o jednu polohu se běžně pohybuje v rozmezí 0,6 až 2 sekundy, u některých strojů až 0,3 sekundy. Tento čas je přímo závislý na velikosti stroje.

V ose vřetenového bubnu je uložena centrální vodicí trubka (obr. 4.5), na které může být umístěn centrální suport. Druhou variantou jsou stroje bez vodicí trubky. Příklad takového stroje je zobrazen na obr. 4.3 a jeho buben na obr. 4.6. U této varianty má operátor snadnější přístup k nástrojům a odpad vzniklý obráběním je snadněji odváděn z pracovního prostoru [20, 21].



Obr. 4.5 Centrální vodicí trubka [20].



Obr. 4.6 Vřetenový buben [21].

Přesná poloha při pootočení vřetenového bubnu je většinou zajištěna tzv. Hirthovým ozubením (obr. 4.7 a 4.8), které je umístěno na čele bubnu. Základní ustavení určuje vnější ozubený věnec umístěný na tělese vřetenové skříňě. Věnce s Hirthovým ozubením se běžně používají ke zpevnění a zpřesnění polohy rotačních částí strojů, jako je např. revolverová hlavice nebo otočná protivřetena [20, 21, 23].



Obr. 4.7 Detail hirthova ozubení na vřetenovém bubnu [24].



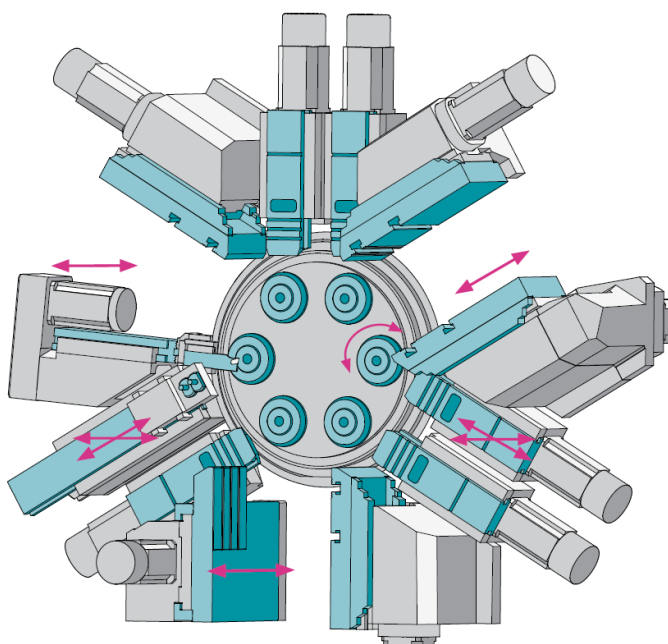
Obr. 4.8 Hirthovo ozubení pro revolverovou hlavici [23].

4.1.2 Rozložení nástrojů

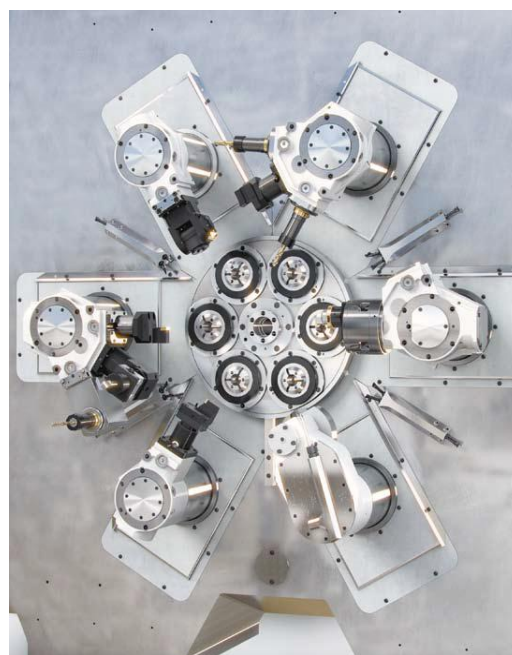
U vícevřetenových soustružnických strojů může být nástroj upnut na křížovém nebo centrálním suportu, revolverové hlavici nebo ve výsuvném upínači. K minimalizaci přenosu vibrací mezi jednotlivými vřeteny jsou tyto prvky uloženy v hydrostatickém kluzném vedení. To ve výsledku znamená, že lze v jednom vřetenu hrubovat a současně v následujícím vřetenu dokončovat [21].

Křížové suporty

Nástroje pro obrábění jsou upnuty v adaptérech, které jsou připevněny na křížových suportech (obr. 4.9). Každé vřeteno je běžně vybaveno jedním nebo dvěma křížovými suporty, které umožňují pohyb nástroje v příčném i podélném směru. Jednotlivé suporty lze vybavit i přídatným suportem pro pohyb ve třetím směru. Pro vrtání mimo osu obrobku a frézování lze použít upínací jednotky pro poháněné nástroje, která je připevněna na křížovém suportu. Při soustružení dlouhých součástí je zde připevněn koník pro podepření obrobku [21, 22].



Obr. 4.9 Křížové suporty [21].



Obr. 4.10 Revolverové hlavice [23].

Revolverové hlavice

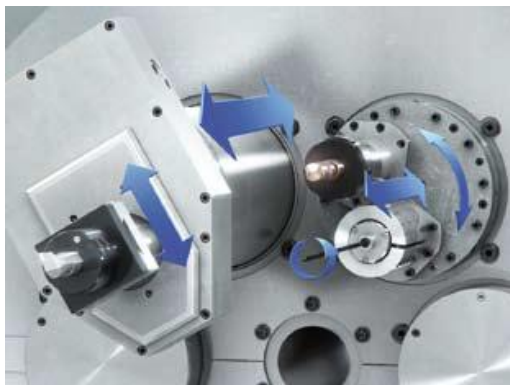
U některých strojů jsou jednotlivá vřetena vybavena pouze jedním suportem, který je osazen revolverovou hlavicí (obr. 4.10). Podle druhu revolverové hlavice je možné upnout jak statické tak poháněné nástroje [23].

Výsuvné upínací jednotky

Výsuvné upínací jednotky (obr. 4.11) jsou umístěny naproti pracovním vřetenům, pro obrábění vnitřních ploch. Využívají se například v kombinaci s revolverovými upínači. Na jednu jednotku lze upnout maximálně dva poháněné nebo pevné nástroje. Při obrábění soustružnickým nožem je jednotka vybavena suportem pro příčný posuv [23].

Centrální suport

Centrální suport (obr 4.12) je umístěn na centrální vodící trubce, která je v ose vřetenového bubnu. Pro každé pracovní vřeteno lze suport vybavit upínací jednotkou pro obráběcí nástroje, nebo koníkem pro podepření obrobku [20, 24].



Obr. 4.11 Výsuvná upínací jednotka [23].



Obr. 4.12 Centrální suport [24].

4.1.3 Protivřetena

Aby bylo možné součást obrobít z druhé strany, lze vícevřetenové soustruhy vybavit protivřetenem, do kterého je součást upnuta v poslední fázi obrábění. Konstrukce a rozložení protivřeten se u každého výrobce více či méně liší.

Při obrábění složitých dílů, lze využít strojů se shodným počtem pracovních vřeten a protivřeten jako je tomu např. u stroje MS32G od firmy Index. Další variantou je obrábění součásti z každé strany na dvou vícevřetenových strojích bez protivřeten. Součást je potom mezi stroji přenášena automatizovaným dopravníkem [21, 25].

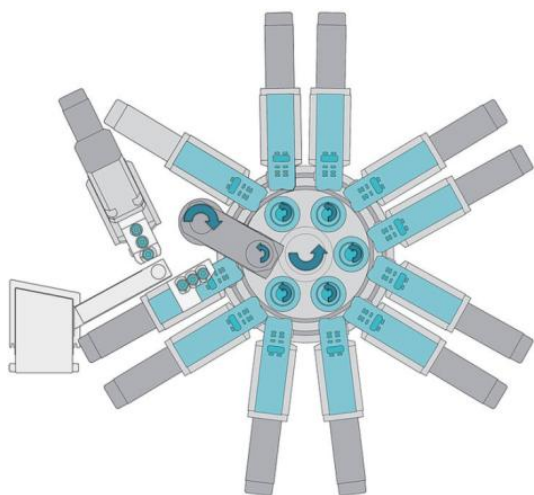
Otočné protivřeteno

Jako příklad jsou uvedené stroje od firmy Index, které mohou být vybaveny otočným protivřetenem, které je umístěno proti poslednímu pracovnímu vřetenu ve vřetenovém bubnu. Pohyb protivřetena spolu s pohybem bubnu a pracovních vřeten je znázorněn na obr. 4.13 [21].

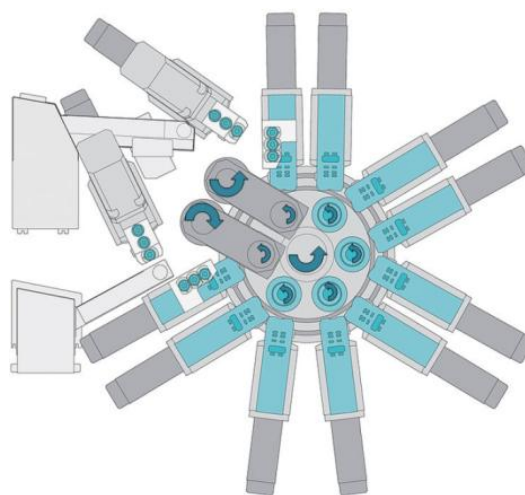
U strojů firmy Index lze použít dvou protivřeten (obr. 4.14), kdy jsou na stroji obráběny dva různé díly najednou. Dalo by se říct, že se jedná o dva třívřetenové soustruhy. Každé protivřeteno má k dispozici šest různých nástrojů, z toho dva mohou být poháněné [21].

Výsuvné protivřeteno

Tuto variantu lze vidět např. u vícevřetenových strojů od firmy Schütte s výsuvnými upínacími jednotkami, kde je poslední výsuvná upínací jednotka nahrazena protivřetenem. Toto protivřeteno slouží pouze pro upnutí součástí do upínacích čelistí, upíchnutí a vyjmutí hotové součásti. Další dvě výsuvná protivřetena jsou umístěna mimo prostor výsuvných upínacích jednotek (obr. 4.15). Součást je potom mezi vřeteny dopravována pomocí manipulátoru společně s upínacími čelistmi [23].



Obr. 4.13 Jedno protivřeteno [21].

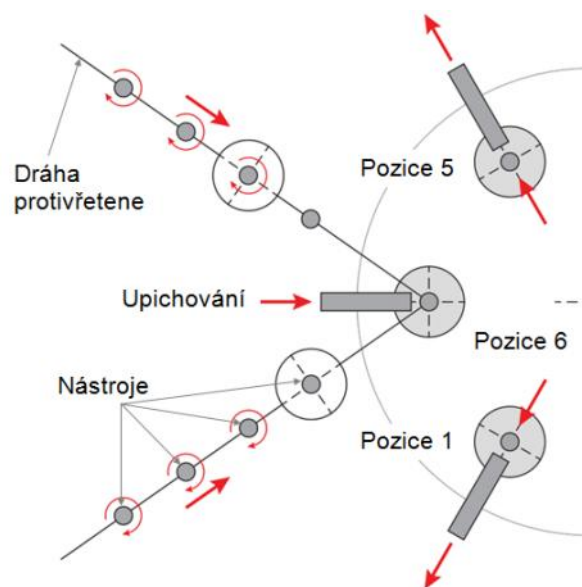


Obr. 4.14 Dvě protivřetena [21].

Výsuvné protivřetena vícevřetenových strojů firmy DMG Mori jsou umístěna na suportech, které umožňují radiální posuv k poslednímu pracovnímu vřetenu (obr. 4.16). Každé protivřeteno má k dispozici čtyři nástroje, z nichž mohou být tři poháněné. Při použití takto koncipovaných protivřeten lze snížit čas potřebný pro obrobení druhé strany součásti o polovinu [24].



Obr 4.15 Protivřetena s manipulátorem [23].



Obr. 4.16 Posuvná protivřetena [24].

4.2 RTM stroje (Rotary Transfer Machine)

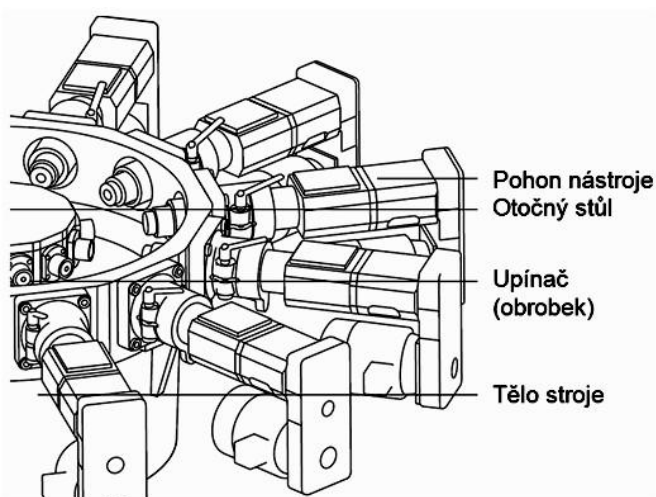
RTM stroj (obr. 4.17) lze efektivně využít pro hromadnou výrobu součástí malých rozměrů. Na trhu se vyskytuje velké množství variant těchto strojů, využitelné jak pro rotační tak nerotační součásti [26, 27].



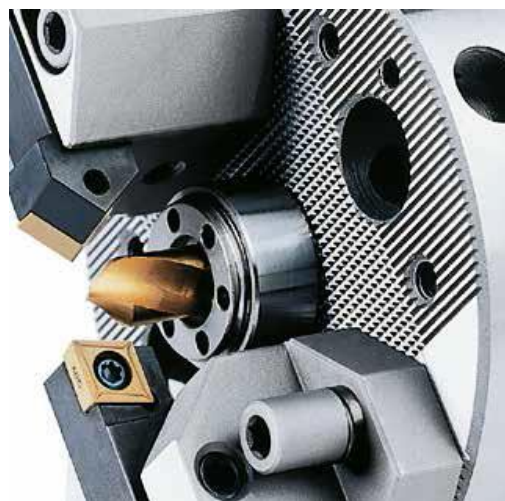
Obr. 4.17 RTM stroj – WF 32/12 [27].

Jako příklad zde uvádím stroj od firmy Hydromat HB, kde veškerý rotační a posuvný pohyb při obrábění vykonává nástroj. Součást je upnuta v upínači na otočném stole, který se po dokončení cyklu otočí o jednu polohu. Rozložení jednotlivých částí tohoto stroje je zobrazeno na obr. 4.18. Ke každé pozici připadá jedna rotační hlava, do které může být upnuto i několik nástrojů najednou, jako je tomu např. u hlavy na obr. 4.19, kde jsou dva soustružnické nástroje a vrták.

Otočný stůl je vybaven 10 až 18 upínači pro obrobek, v některých případech až 24 upínači. Rychlost polohování otočného stolu je obvykle pod 1 sekundu [26, 27, 28].



4.18 Popis RTM stroje [26].

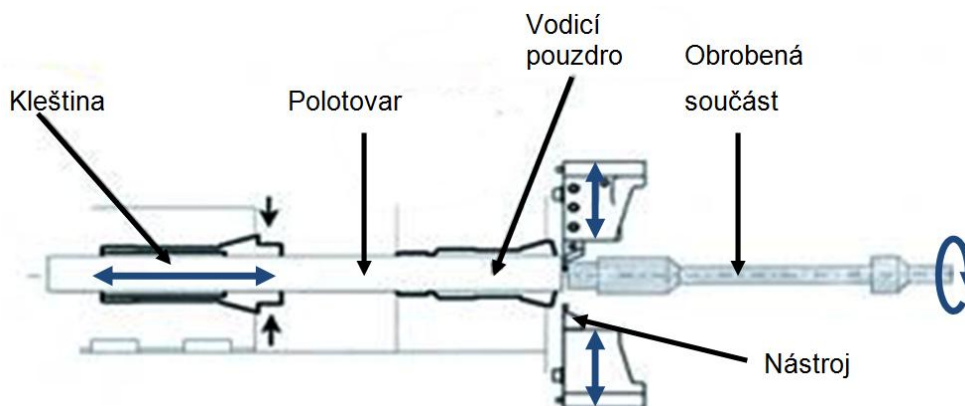


4.19 Rotační hlava [26].

Polotovarem je nejčastěji tyčový materiál, který je po upnutí v první poloze oddělen. Pro obrobení součásti z druhé strany je obrobek přepnut pomocí automatického manipulátoru, pro který je ve stroji umístěn místo pohonu nástroje.

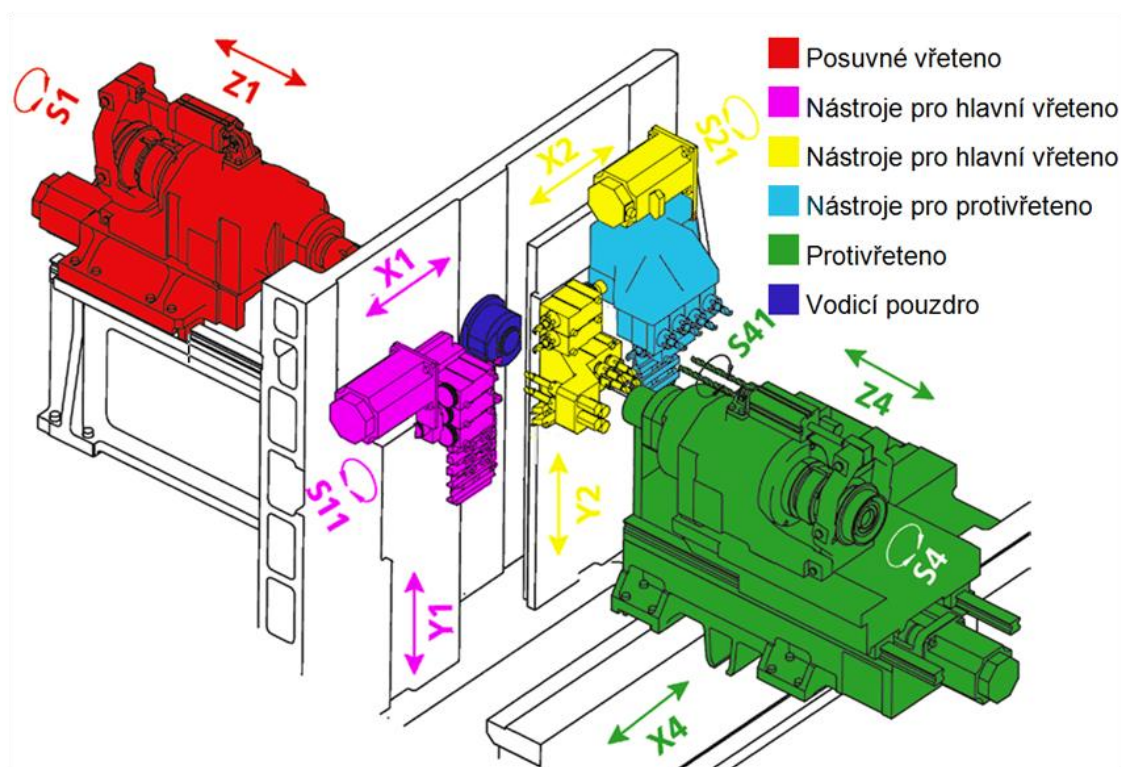
4.3 Dlouhotočné soustruhy

Na běžných soustružnických strojích lze obrábět součásti s délkou maximálně trojnásobku vlastního průměru. Při větších délkách může docházet k technologickým problémům, které již nelze vyřešit podpěrným hrotem. Pro tento účel jsou navrženy dlouhotočné stroje, které jsou vhodné pro soustružení dlouhých, drobných součástí s poměrem $L/D > 1$ [29, 30]. Polotovar je upnut v kleštině, která posouvá polotovar v axiálním směru v pevném vodícím pouzdře.



Obr. 4.20 Princip dlouhotočného soustruhu [29].

Obrábění probíhá v těsné blízkosti vyústění vodícího pouzdra (obr. 4.20), čímž nedochází k průhybu součásti vlivem působení radiálních sil od nástroje. Mezi polotovarem a vodícím pouzdrům musí být minimální vůle, proto jsou doporučovány polotovary s tolerancí h9 a lepší. Rozložení jednotlivých prvků stroje s jejich pohyby je znázorněno na obr. 4.21 [29, 30].



Obr. 4.21 Rozložení stroje s pohyby jednotlivých prvků [22].

4.4 Přesnost obráběcího stroje

Přesnost obrobku je dána rozdílem skutečných a požadovaných rozměrů. Tvarová přesnost je potom odchylka tvarů jednotlivých částí obrobku. (např. kruhovitost, válcovitost, rovinnost atd.). Obráběcí stroje je možné rozdělit do tříd přesnosti podle druhu obráběných ploch a docilovaných mezních úchylek. Rotační a rovinné plochy lze rozdělit do tří tříd přesnosti úchylek kruhovitosti a rovinnosti [31]:

- I. třída (do 1 až 3 μm),
- II. třída (5 μm),
- III. třída (10 μm).

Na přesnost obrábění má zásadní vliv tuhost, odolnost proti opotřebení, dynamická stabilita a stálost tvaru základních částí stroje (jako jsou např. lože, stojany, konzoly atd.) [20].

Pracovní přesnost numericky ovládaného stroje je přímo ovlivněna typem a velikostí pracovního prostoru stroje. Tyto parametry přímo souvisí s konstrukčním uspořádáním nosné stavby a jejími rozměry [32]. Z toho lze vyvodit, že pro dodržení vysoké přesnosti je vhodné použít stroj, který má minimální pracovní rozsah vzhledem k obráběné součásti.

K určení dosahované přesnosti stroje slouží přijímací zkoušky, které se provádí nejdříve u výrobce a poté i u zákazníka. Zkouška způsobilosti procesu se provádí pro náročné zákazníky, kdy je nutné udržet dlouhodobou kvalitu obrobku [20].

5 ANALÝZA KRITICKÝCH PRVKŮ

Rozměrové a geometrické tolerance jsou v této kapitole uváděny pouze obecně (ve stupních přesnosti), z důvodu citlivosti informací.

Feritická korozivzdorná ocel (X6CrMoS17), ze které jsou součásti vyrobeny, patří k dobře obrobitelným materiálům. Je tedy možné použít vyšších hodnot posuvů a řezných rychlostí z rozmezí doporučených výrobcem nástrojů.

5.1 Technologický rozbor – Core

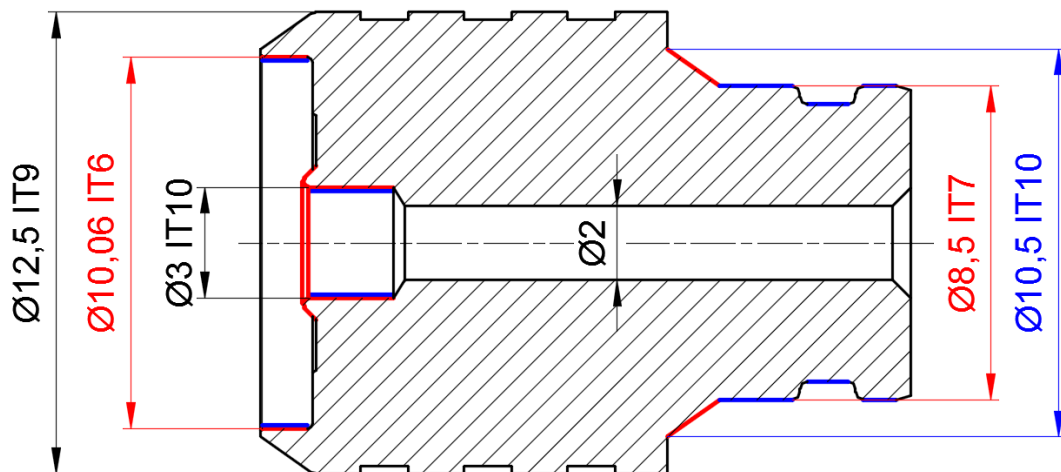
Na některé průměry se vztahují geometrické tolerance soustřednosti a obvodového házení (rozměry vyznačené modrou barvou na obr. 5.1). Těchto tolerancí lze dosáhnout pomocí dostatečné tuhosti soustavy S-N-O (stroj-nástroj-obrobek).

Rozměrová přesnost součásti se pohybuje v rozmezí IT6 až IT11. Nejvyšší přesnost je požadována na průměrech 10,06 a 8,5 mm (viz obr. 5.1).

Hloubka díry je 8,8 x D. Za hlubokou se dají považovat až díry s hloubkou 10 x D [33]. Díra bude vrtána o něco hlouběji, aby bylo možné součást bezpečně upíchnout, proto bude pravděpodobně zapotřebí vrtáku pro vrtání hlubokých děr.

Také je nutné dbát zvýšené pozornosti na plochy, které slouží jako těsnící plochy v pneumatické sestavě, jež požadují vyšší jakost obrobeného povrchu (plochy vyznačeny červenou barvou na obr. 5.1). Konkrétně se jedná o:

- tvarový prvek na $\varnothing 3$ mm IT10,
- vnitřní válcovou plochu $\varnothing 10,06$ mm IT6,
- vnější kuželovou plochu.



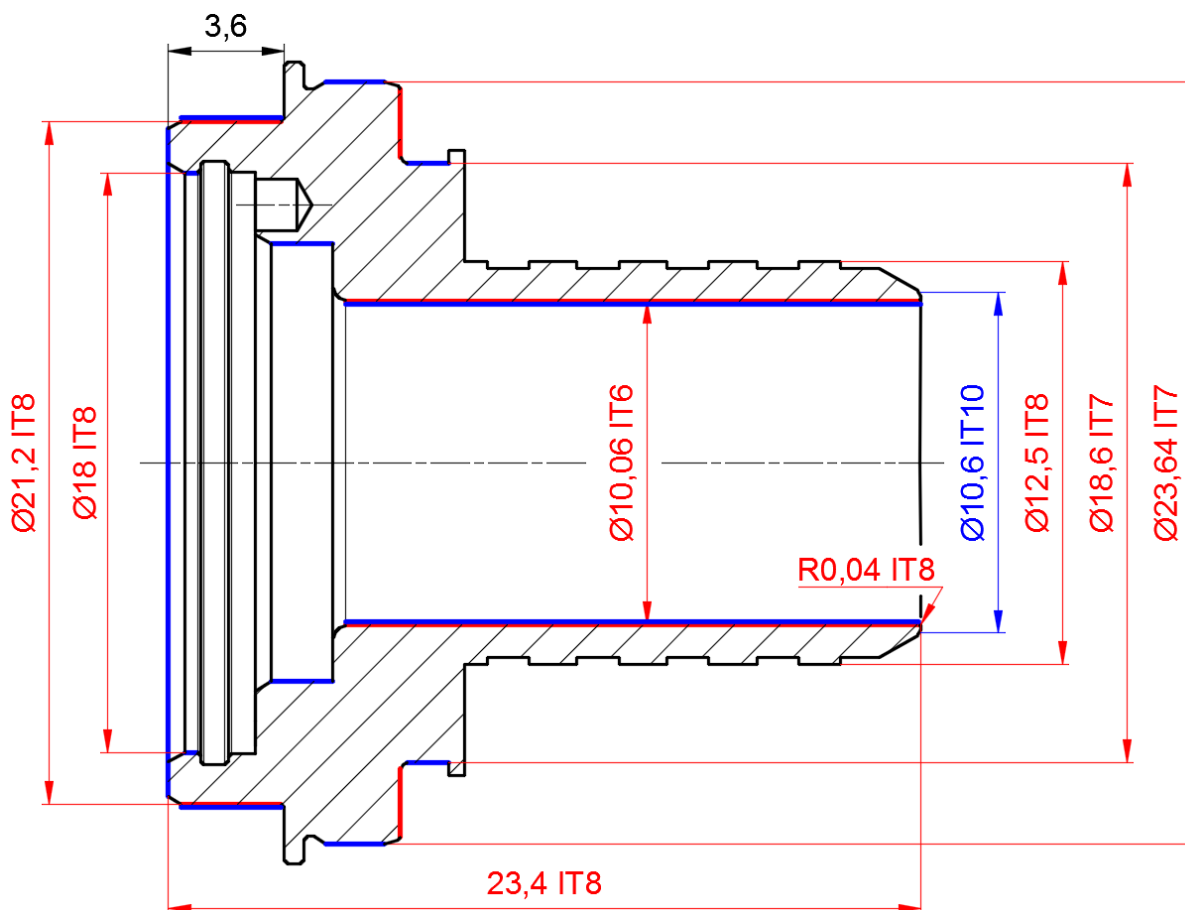
Obr. 5.1 Kritické rozměry – Core.

V posledním operačním úseku je obrobek upnutý do protivřetena a upíchnut, aby bylo možné součást obrobit i z druhé strany. Toto upnutí je možné uskutečnit buď za vnitřní, nebo vnější průměr. V případě upnutí za vnitřní průměr by mohlo dojít k poškození funkční plochy obrobku. Zároveň může dojít k vyvrácení obrobku ze sklíčidla zapříčiněné malou upínací plochou.

Vhodnější variantou je upnutí za vnější průměr 12,5 mm. Na vnější geometrii nejsou kladeny tak vysoké rozměrové či geometrické nároky. Přesto může při upnutí dojít vlivem působení upínací síly k deformaci vytvořených zápichů předchozím obráběním, proto je vhodné tuto sílu minimalizovat (velikost upínací síly je možné zjistit experimentálně). Dále je možné použít měkké čelisti pro sklíčidlo.

5.2 Technologický rozbor – Pole tube

Na součást jsou kladeny vysoké požadavky jak na přesnost rozměrovou, tak přesnost geometrickou. Geometrické přesnosti lze dosáhnout vysokou tuhostí soustavy S-N-O. Rozměrová přesnost se pohybuje v rozsahu IT6 až IT10.



Obr. 5.2 Kritické rozměry – Core.

Nejvyšší nároky jsou kladeny na díru v ose obrobku ($\varnothing 10,06$ mm) s tolerancí IT6. Mimo geometrickou a rozměrovou přesnost je požadována i vysoká jakost povrchu s předepsaným materiálovým poměrem profilu, proto je nutné navrhnout technologii, kterou je možné vyhotovit otvor daných parametrů.

Dokončení centrálního otvoru na součásti *Pole tube* lze uskutečnit různými technologiemi, kterými jsou: jemné soustružení, vystružování, válečkování, broušení, honování, lapování, leštění, protahování. Otvor požadovaných parametrů lze dokončit vystružením a následným válečkováním.

Na doporučení pana Vladimíra Vaňka z firmy Ham-Final s.r.o., která se zabývá výrobou nástrojů pro dokončování přesných děr, je centrální otvor před

vystružováním soustružen, aby byla zaručena opakovatelnost výroby. Výstružník a válečkovací nástroj je potom upnut v plovoucím držáku (nástroje jsou vedeny vysoustruženou dírou).

V případě dokončování centrálního otvoru po obrábění vnější kontury, může dojít k deformaci \varnothing 12,5 mm a tím i k deformaci obráběné díry (jiný výsledný průměr díry v tenkostěnné části), proto se tato díra musí obrábět před hrubováním vnější kontury.

Další přesné rozměry (v rozmezí IT7 až IT8), které je nutné vyhotovit jemným soustružením, jsou zobrazeny na obr. 5.2.

Na součásti se nachází excentricky vyvrtaný otvor, proto je nutné využít soustružnického stroje, na kterém je možné obrábět poháněnými nástroji.

Stejně jako u součásti *Core* je nutné dbát zvýšené pozornosti plochám, které požadují vyšší jakost obrobeného povrchu (plochy jsou vyznačeny na obr. 5.2 červenou barvou). Mimo povrch vysoce přesné díry jsou předepsány drsnosti povrchu pro:

- vnější válcovou plochu \varnothing 21,2 mm IT8,
- vnější válcovou plochu \varnothing 23,64 mm IT7.

V některých rozích (vnější tvarový zápich, vnitřní zápich) je požadováno zaoblení 0,1 mm. Toho je možné dosáhnout pouze s nástrojem, který má $r_\epsilon \leq 0,1$ mm. Podobně je tomu i u zaoblení 0,2 mm.

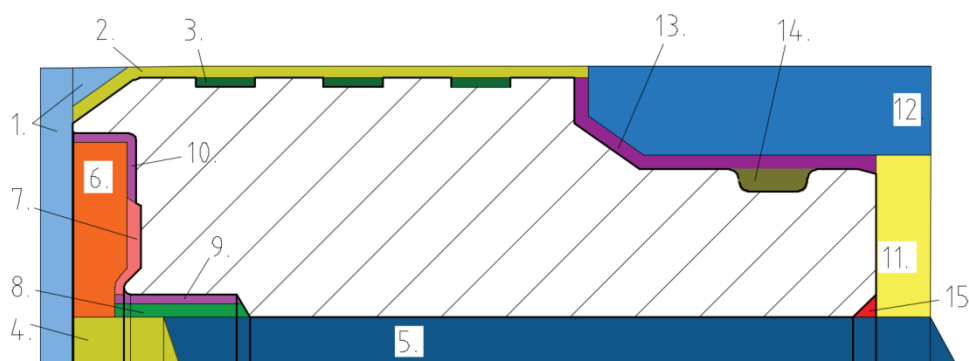
Na \varnothing 10,06 mm je vnější zaoblení 0,04 mm, které lze podle výkresové dokumentace vyrobit jako sražení $0,04 \times 45^\circ$. Sražení je možné vyrobit záhlubníkem nebo pomocí soustružnického nože. V případě soustružení je zapotřebí upravit řezné podmínky tak, aby vznikl požadovaný prvek.

V posledním operačním úseku bude součást upnuta za průměr 12,5 mm IT8. Stejně jako u dílu *Core* je nutné minimalizovat upínací sílu, aby nedošlo k deformaci obrobených prvků. Druhou, méně vhodnou variantou je upnutí do kleštin za vyhotovený otvor \varnothing 10,06 mm. Vzhledem k požadované přesnosti a jakosti povrchu díry lze tuto variantu vyloučit.

6 NÁVRH POSTUPU VÝROBY

Při návrhu technologického postupu pro soustružení bylo třeba zvolit, kterou stranu součásti obrábět nejdříve. Jako první je vhodné soustružit tu stranu, která je tvarově složitější a časově náročnější. Dále je nutné zvážit, které operace budou vykonávány paralelně (současné obrábění dvou různých ploch). Za tímto účelem jsou spočítány jednotlivé strojní časy, aby mohlo být navrženo co nejideálnější spárování operací. Při paralelním obrábění se potom musí přizpůsobit řezné podmínky tak, aby vyhovovaly oběma vykonávaným operacím.

V příloze 1 je uveden alternativní technologický postup pro součást *Pole tube*, kde je součást obráběna nejdříve ze strany s vnitřními prvky. Tento postup lze aplikovat pro paralelní obrábění na vícevřetenových strojích.

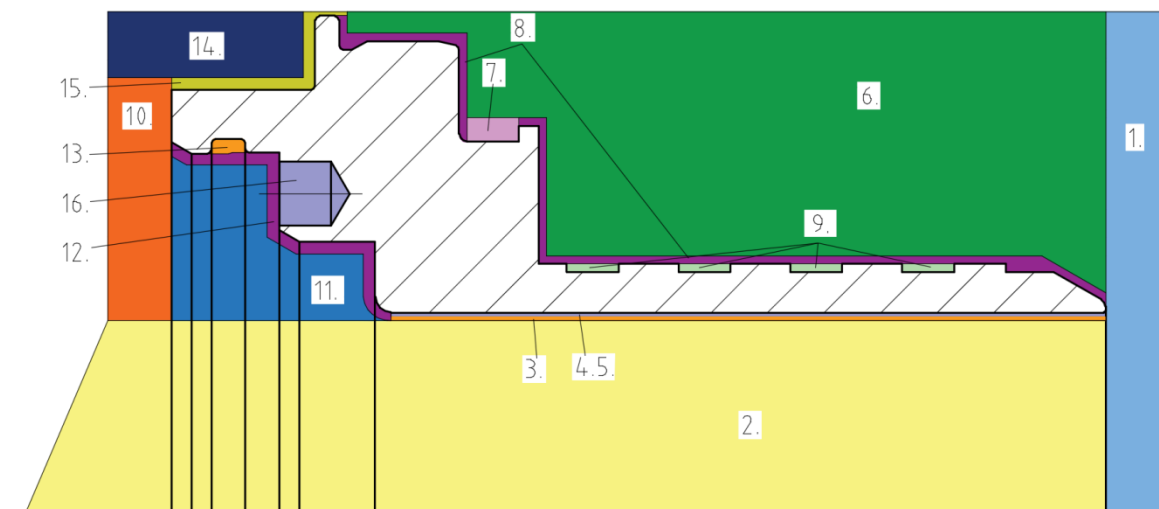


Obr. 6.1 Technologický postup – Core.

Tab. 6.1 Technologický postup – Core.

č. op.	Wypracoval: Jakub Skládaný	Polotovar: $\varnothing 13 \times 2500$	Datum: 8. 3. 2016
	Popis práce		Nástroj
–	Upnout s vyložení 23 mm		
1	Zarovnat čelo, hrubovat sražení s přídávkem na dokončení 0,25 mm		T1
2	Dokončit $\varnothing 12,5$ mm včetně sražení		T1
3	Soustružit zápichy na $\varnothing 12,5$ mm		T2
4	Vrtat středící otvor $\varnothing 2$ mm v ose součásti do hloubky 4 mm		T9
5	Vrtat díru $\varnothing 2$ mm v ose součásti		T10
6	Hrubovat vnitřní konturu s přídávkem 0,2 mm na dokončení		T5
7	Dokončit vnitřní zápich		T5
8	Vrtat díru $\varnothing 2,9$ mm		T12
9	Vystružit díru $\varnothing 3$ mm H7		T13
10	Dokončit vnitřní konturu		T6
–	Součást upnout do protivřetena za $\varnothing 12,5$ mm ve vzdálenosti 11 mm		–
11	Součást upíchnout		T3
12	Hrubovat vnější konturu s přídávkem 0,25 mm na dokončení		T1
13	Dokončit vnější konturu		T8
14	Soustružit tvarový zápich		T4
15	Zahloubit díru $\varnothing 2$ mm na $0,5 \times 45^\circ$		T11
–	Odebrat hotovou součást		–

Součást *Core* je nejdříve obráběna ze strany s vnitřními prvky. Součást *Pole tube* je nejdříve obráběna ze strany, kde je větší objem odebíraného materiálu. Jako poslední se bude vrtat excentrická díra z důvodu nutnosti zastavení pracovního vřeten. Na obr. 6.1 a 6.2 je znázorněn technologický postup pro obrábění. Stručný technologický postup pro jednotlivé součásti je uveden v tab. 6.1 a 6.2. Tyto postupy jsou zhotoveny pro soustruh s jedním hlavním vřetenem a protivřetenem s nástroji zvolenými v kapitole 6.2.



Obr. 6.2 Technologický postup – Pole tube.

Tab. 6.2 Technologický postup – Pole tube.

č. op	Vypracoval: Jakub Skládáný Polotovár: $\varnothing 25 \times 5500$ Datum: 8. 3. 2016		
	Popis práce		Nástroj
–	Upnout s vyložením 30 mm		
1	Zarovnat čelo	T1	
2	Vrtat díru $\varnothing 9,6$ mm v ose součásti	T9	
3	Soustružit díru $\varnothing 9,9$ mm	T7	
4	Vystružit díru 10,03 mm H7	T11	
5	Válečkovat díru	T12	
6	Hrubovat vnější konturu bez zápichů, s přídávky na dokončení 0,2 mm	T1	
7	Soustružit zápich s přídávkem 0,2 mm na čelní ploše	T2	
8	Dokončit vnější konturu	T4	
9	Soustružit 4x vnější zápich	T3	
–	Součást upnout do protivřetená za $\varnothing 12,5$ mm ve vzdálenosti 16 mm		–
10	Součást upíchnout	T6	
11	Hrubovat vnitřní konturu s přídávkem 0,3 mm na dokončení	T7	
12	Dokončit vnitřní konturu	T7	
13	Soustružit zápich na vnitřní ploše	T8	
14	Hrubovat $\varnothing 21,2$ mm s přídávkem na dokončení 0,3 mm	T1	
15	Dokončit vnější konturu	T5	
16	Vrtat excentrickou díru $\varnothing 1,6$ mm	T10	
–	Odebrat hotovou součást		–

6.1 Polotovar

Polotovarem mohou být tyče kruhového průřezu nebo výkovek. Zvoleny jsou tyče válcované za tepla, které jsou vloženy do zásobníku soustružnického centra. Polotovar by měl mít sražené hrany, podle požadavků podavače tyčí. Délka tyče byla zvolena s ohledem na využití materiálu. Do potřebné délky byl zahrnut přídavek na zarovnání čela a přídavek na upíchnutí (výpočet 6.1 a 6.2).

Potřebná délka na výrobu jednoho kusu (Core) :

$$L_{\text{core}} = 1 + 17,6 + 1 = 19,6 \text{ mm} \quad (6.1)$$

Potřebná délka na výrobu jednoho kusu (Pole tube) :

$$L_{\text{pole}} = 1 + 23,4 + 1,5 = 25,9 \text{ mm} \quad (6.2)$$

Výrobce polotovarů dodává válcované tyče o délce 3000 až 6000 mm odstupňované po 500 mm. Velikost zbytku pro různou délku polotovaru je uveden v tabulce 6.5.

Tab. 6.5 Velikost zbytku pro rozdílnou délku polotovaru

$L_{\text{tyč}}$ [mm]	G_{Core} [-]	G_{Pole} [-]	Zbytek (Core) [mm]	Zbytek (Pole tube) [mm]
2000	102,04	77,22	0,78	5,70
2500	127,55	96,53	10,78	13,73
3000	153,06	115,83	1,18	21,50
3500	178,57	135,14	11,17	3,63
4000	204,08	154,44	1,57	11,40
4500	229,59	173,75	11,56	19,43
5000	255,10	193,05	1,96	1,30
5500	280,61	212,36	11,96	9,32
6000	306,12	231,66	2,35	17,09

Využití tyče:

$$G_{\text{core}} = \frac{L_{\text{tyč}}}{L_{\text{core}}} [-] \quad (6.3)$$

kde: G_{Core} [-] – využití tyče,
 $L_{\text{tyč}}$ [mm] – délka tyče,
 L_{Core} [mm] – potřebná délka na výrobu jednoho kusu (Core)

$$G_{\text{Core}} = \frac{2000}{19,6} = 102,04$$

Velikost zbytku je 4% L_{Core} . Pro délku tyče 2000 mm je možné vyrobít 102 kusů se zbytkem 0,78 mm.

Pro výrobou součástky *Core* byla zvolena tyč o délce 2500 mm, pro *Pole tube* potom 5500 mm. Aby bylo možné polotovary bezpečně upnout při obrábění poslední součásti, je vhodné, aby délka zbytku byla přibližně 30% potřebné délky polotovaru. Proto je zbytek o velikosti 10,78 mm ($50\%L_{\text{Core}}$) a 9,32 mm ($36\%L_{\text{Pole}}$) dostačující. Délka polotovaru může být dále upravena po domluvě s dodavatelem pro ideálnější hodnoty dle požadavků podavače tyčí.

6.2 Navržené nástroje

Mezi hlavní výrobce soustružnických nástrojů pro drobné součásti patří: ISCAR, Seco Tools, Sandvik Coromant, Widia, Horn, WNT, Mitsibishicarbide atd.

Pro soustružení jsou zvoleny nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami firmy Sandvik Coromant AB. Vrtáky a záhlubník jsou od společnosti Gühring k.s., výstružníky od firmy Ham-Final s.r.o., nástroj pro válečkování potom od firmy Baublies AG. Jednotlivé nástroje jsou uvedeny v tab. 6.6 až 6.11 společně s ISO označením a doporučenými reznými podmínkami pro trvanlivost 15 minut. Některé zapichovací nástroje jsou vyrobeny na zakázku, dle tvaru zápichu.

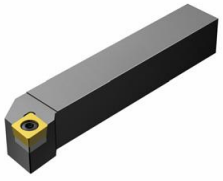
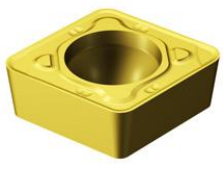





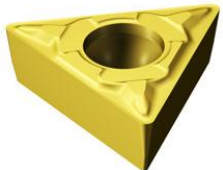
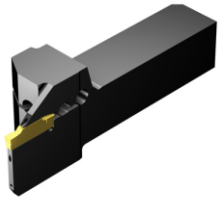


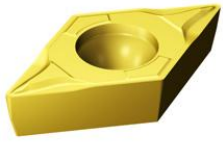
VBD a monolitní vrtáky jsou vyrobeny ze slinutých karbidů (pro materiálovou třídu P a M), záhlubník a pilový kotouč z rychlořezné oceli. Výstružníky jsou vyrobeny z cermetu. Nástroje jsou opatřeny ochranným povlakem.

Soustružnické nástroje byly zvoleny s ohledem na obráběný materiál, který je náchylný k tvorbě nárůstků. K redukování tohoto rizika jsou navrženy nástroje s pozitivní geometrií, pro vystružování potom cermetové výstružníky. Při výběru byl dále zohledněn poloměr zaoblení špičky v závislosti na požadovaném zaoblení v rozích obráběných součástí.







Po opotřebením zvolených VBD s pozitivní geometrií lze destičku otočit pouze jednou, a to kolem osy upínacího šroubu. Některé speciální VBD (např. CoroCut XS, CoroCut MB) jsou vybaveny pouze jedním břitem. Oproti tomu např. zapichovací VBD nástroje CoroCut 3 jsou vybaveny třemi břity. Výstružníky a vrtáky lze po opotřebením naostřit.

Některé nástroje jsou zvoleny s ohledem na upravený technologický postup pro RTM stroje a vícevřetenové soustruhy. Jedná se o nástroje T7, T14 pro součást *Core*. T13, T14, T15 pro součást *Pole tube*.

Tab. 6.6 Soustružnické nástroje (Core) [12].

Číslo nástroje	Tělo nože	VBD	Popis
T1			Stopkový nástroj pro obrábění vnějších ploch drobných součástí. VBD jsou vhodné pro hrubování a dokončovací obrábění. (1125)
	SCLCR 1010K 06-S	CCMT 060202-MF	
T2 T3 T4			Zapichovací/upichovací nástroje. 1. a 3. VBD jsou vyrobeny na zakázku dle tvaru zápichu. Druhá VBD je určena pro zapichování a její šířka je 1 mm. (1125)
	QS-RF123T06-1010B	Na zakázku	
	QS-RF123T06-1010B QS-RF123T06-1010B	N123T3-0100-0000-CS Na zakázku	
T5			CoroTurn XS pro soustružení axiálních zápichů drobných součástí s vnitřním přívodem procesní kapaliny. (1025)
	CXS-A12-06	CXS-06F100-6215AR	
T6			Nástroj pro dokončování vnitřních ploch. Nástroj je vybaven kanálky pro vnitřní přívod procesní kapaliny. (1125)
	A06F-STFCR 06	TCMT 06T102 - MF	
T7			CoroCut 1-2 je zapichovací nástroj. VBD je vhodná i pro axiální posuvy ($a_p=1,4$ mm, $f_n=0,2$ mm) a její šířka je 3 mm. (1125)
	QS-R F123G20C2525E	N123G2-0300-0004-TM	
T8			Stopkový nástroj pro obrábění vnějších ploch drobných součástí. VBD je vhodná pro dokončovací operace. (1125)
	SDACR 1010K 07-S	DCMT 070202-MF	

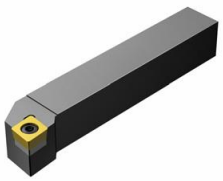
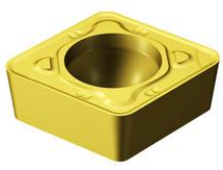



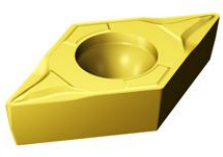
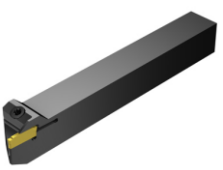
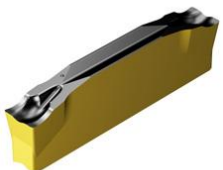

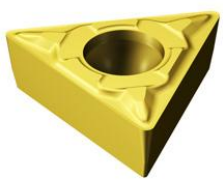


Tab. 6.7 Rotační nástroje (Core) [34, 35, 36].

Číslo nástroje	Nástroj	Popis
T9		Mikrovrták \varnothing 2 mm m7 pro vrtání malých průměrů, vhodný pro navrtání středícího otvoru.
	Gühring 6400	
T10		Mikrovrták \varnothing 2 mm h7 pro vrtání malých průměrů s vnitřním přívodem procesní kapaliny. Vhodný pro vrtání hlubokých děr (15 x D).
	Gühring 6412	
T11		Záhlubník pro 45°sražení. Řezná část je na \varnothing 1,3 mm až \varnothing 4,3 mm.
	Gühring 1326	
T12		Mikrovrták \varnothing 2,8 mm h7 pro vrtání malých průměrů.
	Gühring 2463	
T13		Výstružník firmy Ham-Final \varnothing 3 mm H7 pro dokončování slepých děr.
	Ham-Final 6307	
T14		Pilový kotouč na kovy z rychlořezné oceli s šířkou kotouče 0,5 mm, typ W, \varnothing 80 mm, 68 zubů. Doporučený posuv na zub je 0,06 mm
	DIN 1838	




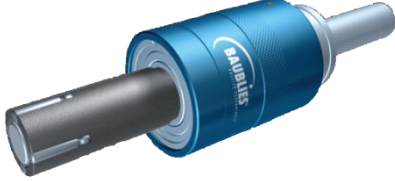


Tab. 6.8 Doporučené řezné podmínky – Core.

Nástroj	v_c	f_n	a_p	Nástroj	v_c	f_n	a_p
	[m·min ⁻¹]	[mm]	[mm]		[m·min ⁻¹]	[mm]	[mm]
T1	170 až 280	0,06	0,30	T8	170 až 280	0,06	0,26
T2	85 až 190	0,05	1,30	T9	30	0,05	1,00
T3	85 až 190	0,05	1,00	T10	70	0,05	1,00
T4	85 až 190	0,05	1,50	T11	18	0,10	-
T5	60 až 180	0,06	1,00	T12	32	0,06	1,45
T6	170 až 280	0,060	0,26	T13	50	0,04	0,25
T7	85 až 190	0,10	3,00	T14	40	4,08	0,50

Tab. 6.9 Soustružnické nástroje (Pole tube) [12].

Číslo nástroje	Tělo nože	VBD	Popis
T1			Stopkový nástroj pro obrábění vnějších ploch drobných součástí. VBD je vhodná pro hrubovací operace. (2015)
	SCLCR 1010K 06-S	CCMT 060208-MR	
T2 T3			Zapichovací nástroj vyroben na zakázku dle tvaru zápichu. Šířka VBD je 1,3 mm. Druhá VBD má tvar dle zápichu. (1125)
	QS-RF123T06-1010B QS-RF123T06-1010B	Na zakázku Na zakázku	
T4 T5			Stopkový nástroj vhodný pro dokončování vnějších ploch. Nástroj je určen pro drobné součásti. VBD jsou pro dokončovací operace. (1125)
	SDACR 1010K 07-S SDACR 1010K 07-S	DCGT 070201-UM DCMT 070202-MF	
T6			Upichovací nástroj s vnitřním přívodem procesní kapaliny. Šířka VBD je 1,5 mm a je určena pro upichování. (1125)
	RF123D10-1010B-S	N123D2-0150-0002-CM	
T7			Nástroj pro dokončování vnitřních ploch. Nástroj je vybaven kanálky pro vnitřní přívod procesní kapaliny. (1125)
	A06F-STFCR 06	TCMT 06T102 - MF	
T8			CoroCut MB určený pro obrábění přesných vnitřních zápichů. Tvar VBD je vyroben na zakázku dle tvaru zápichu. (1025)
	MB-E12-24-07R	Na zakázku	

Tab. 6.10 Rotační nástroje (Pole tube) [34, 35, 36, 37].

Číslo nástroje	Nástroj	Popis
T9		Vrták ø 9,34 mm m7 firmy Gühring s vnitřním přívodem procesní kapaliny. Vhodný pro vrtání děr do hloubky 3xD. (1220)
	Gühring 2477	
T10		Vrták ø 1,6 h7 firmy Gühring pro vrtání malých otvorů.
	Gühring 2463	
T11		Strojní výstružník firmy Ham-Final pro dokončování slepých děr ø 10,04 H7.
	Ham-Final 6322	
T12		Válečkovací nástroj firmy Baublies pro dokončování slepých/průchozích děr ø 8,9 ÷ 11,8 mm.
	Baublies IRG-2-S2714	
T13		Strojní výstružník pro dokončování průchozích děr ø 10,04 mm H7.
	Ham-Final 6323	
T14		Pilový kotouč na kovy z rychlořezné oceli s šířkou kotouče 0,5 mm, typ W, ø 80 mm, 68 zubů. Doporučený posuv je 0,06 mm na zub.
	DIN 1838	

Tab. 6.11 Doporučené řezné podmínky – Pole tube.

Nástroj	v_c	f_n	a_p	Nástroj	v_c	f_n	a_p
	[m · min ⁻¹]	[mm]	[mm]		[m · min ⁻¹]	[mm]	[mm]
T1	200 až 260	0,190	1,60	T8	60 až 180	0,010	0,85
T2	85 až 190	0,050	1,30	T9	60	0,125	4,95
T3	85 až 190	0,050	1,30	T10	32	0,038	0,80
T4	170 až 280	0,030	0,30	T11	140	0,250	0,10 až 0,20
T5	170 až 280	0,060	0,26	T12	50	0,20 až 0,40	0,01 až 0,02
T6	85 až 190	0,100	1,50	T13	140	0,250	0,10 až 0,20
T7	170 až 280	0,060	0,26	T14	40	4,080	0,50

6.3 Navržené stroje

Pro výrobu součástek je navrženo pět různých typů strojů. Dvouvřetenový soustružnický stroj se dvěma / třemi revolverovými hlavami, dlouhotočné soustruhy, RTM stroj a vícevřetenové soustruhy. Parametry navržených strojů jsou uvedeny v příloze č. 3. Všechny zvolené stroje jsou v tab. 6.12.

Jako zástupce dvouvřetenových strojů se dvěma revolverovými hlavami byl zvolen stroj Mazak Dual Turn 20 pro součást *Core* i *Pole tube*.

Druhým typem je stroj Index SpeedLine C 100 se dvěma revolverovými hlavami pro hlavní vřetenou a jednou revolverovou hlavou pro protivřetenou. Tento stroj lze využít jak pro součást *Core* i *Pole tube*.

Poměr L / D u součásti *Core* a *Pole tube* je 1,40 a 0,94. Dlouhotočné soustruhy jsou ideální v případě poměru L / D nad 1. U součásti *Pole tube* je tato hodnota hraniční, přesto uvažují i výrobu na dlouhotočném soustruhu. Pro součásti *Core* a *Pole tube* byly zvoleny stroje EvoDECO 16 a EvoDECO 32 od firmy Tornos.

Pro obrábění na strojích typu RTM byl zvolen stroj společnosti Pfiffner Hydromat HB 32/16 se 16 polohami pro obrábění.

Dalšími stroji jsou šestivřetenové soustruhy Index MS 16 s jedním protivřetenem pro součást *Core* a MS 40 se dvěma protivřeteny pro součást *Pole tube*. Každé vřetenou je vybaveno dvěma křížovými suporty. Křížový suport lze vybavit upínací jednotkou pro dva poháněné nástroje.

Vzhledem k tomu, že stroj MS 40 je konstruován jako dva třívřetenové soustruhy pro dvě různé součásti, je navrhnout další stroj pro výrobu dílu *Pole tube*. Jedná se o šestivřetenový soustruh od firmy DMG. Stroj je vybaven centrálním suportem a každé vřetenou je vybaveno jedním křížovým suportem. Na místo křížového suportu je možné stroj vybavit revolverovou hlavicí pro tři soustružnické nástroje.

Tab. 6.12 Zvolené stroje.

	Core	Pole tube
Dvouvřetenový stroj (2 revolverové hlavy)	Mazak Dual Turn 20	
Dvouvřetenový stroj (3 revolverové hlavy)	Index SpeedLine C 100	
Dlouhotočný soustruh	Tornos EvoDECO 16	Tornos EvoDECO 32
RTM stroj	Hydromat HB 32 / 16	
Vícevřetenové soustruhy	Index MS 16	Index MS 40
		DMG GMC 35 ISM

Obecně lze říct, že se obě součástky mohou obrábět na všech zvolených strojích (např. součást *Core* na stroji GMC 35 ISM) s výjimkou dlouhotočného soustruhu EvoDECO 16 a vícevřetenového soustruhu MS 16. U těchto dvou strojů je příliš malý maximální průměr polotovaru, proto na nich nelze vyrábět součást *Pole tube*.

6.4 Strojní časy

V tab. 6.13 a 6.14 jsou uvedeny řezné podmínky a teoretický strojní čas korespondující s technologickými postupy, které jsou znázorněné na začátku kapitoly 6. Při výpočtu byly použity řezné podmínky doporučené výrobcem nástrojů pro trvanlivost 15 minut. Veškerý strojní čas t_{AS} uvedený v této práci, **nezahrnuje časy, kdy se nástroj pohybuje rychloposuvem**, ale pouze čistý čas obrábění s nájezdy a přejezdy. Čas na výměnu nástroje je u některých strojů stanoven na 1 s.

Vzhledem k délce polotovarů je zapotřebí limitovat otáčky stroje, aby nedocházelo k vibracím. Pro obě součástky je zvolena stejná limitní hodnota otáček 3000 min^{-1} . To znamená, že ve většině případů probíhá soustružení za konstantních otáček (3000 min^{-1}), aby bylo dosaženo maximální produktivity. Doporučená řezná rychlost, která nebyla dodržena, je uvedena v závorce. Při vrtání, vystružování a válečkování jsou nástroje poháněné, proto je možné použít vyšších otáček.

Níže jsou uvedeny vzorové výpočty otáček a strojního času s konstantní řeznou rychlostí a konstantními otáčkami pro operaci č. 15 pro součást *Pole tube*. Pro zjištění limitního průměru pro obrábění s konstantní řeznou rychlostí, byl použit upravený vztah pro výpočet řezné rychlosti (např. při zarovnání čela).

Výpočet otáček:

$$n_1 = \frac{10^3 \cdot v_c}{\pi \cdot d} = \frac{10^3 \cdot 250}{3,14 \cdot 21,2} = 3753,7 \Rightarrow 3000 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet strojního času pro $n = \text{konst.}$:

$$t_{AS1} = \frac{l_n + l + l_p}{n_1 \cdot f_n} = \frac{0,5 + 3,6 + 0}{3000 \cdot 0,06} = 0,0228 \text{ min} = 1,36 \text{ s}$$

Výpočet otáček:

$$n_2 = \frac{10^3 \cdot 250}{3,14 \cdot 24,9} = 3197,5 \Rightarrow 3000 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet strojního času pro $n = \text{konst.}$:

$$t_{AS2} = \frac{l_n + l + l_p}{n_1 \cdot f_n} = \frac{0 + 0,8 + 0,5}{3000 \cdot 0,06} = 0,0072 \text{ min} = 0,43 \text{ s}$$

Výpočet strojního času pro $v_c = \text{konst.}$:

$$t_{AS3} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4 \cdot 1000 \cdot v_c \cdot f_n} = \frac{3,14(24,9^2 - 21,2^2)}{4 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot 0,08} = 0,0092 \text{ min}$$

Hodnotu t_{AS3} nelze uvažovat, jelikož se otáčky pohybují v rozmezí 3197 až 3753 min^{-1} , proto je soustružení čelní plochy počítáno pomocí vztahu pro konstantní otáčky:

$$t_{AS4} = \frac{\frac{24,9 - 21,2}{2}}{3000 \cdot 0,06} = 0,0103 \text{ min} = 0,62 \text{ s}$$

Strojní čas obrábění v 15. operaci:

$$t_{AS} = (t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS4}) \cdot 60 = (0,0228 + 0,0072 + 0,0103) \cdot 60 = 2,42 \text{ s} \quad (6.4)$$

Při volbě hodnot posuvu pro dokončovací operace soustružení, byla uvažována limitní posuvová rychlost daná požadovanou drsností povrchu. Pro zjištění tohoto posuvu byl použit upravený vztah 3.1.

Příklad výpočtu limitního posuvu pro 15. operaci:

$$f_{lim} = \sqrt{\frac{R_{max} \cdot 8 \cdot r_{\epsilon}}{10^3}} = \sqrt{\frac{6,3 \cdot 8 \cdot 0,2}{10^3}} = 0,1 \text{ mm}$$

Tab. 6.13 Parametry soustružení na dvouřetenovém soustruhu – Core.

č. op.	Nástroj	v_c [m·min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	t_{AS} [s]	t_{AS} [s]	
1.	T1	(200)	0,100	1,00	1,94	17,66	Hlavní vřeteno
2.	T1	(250)	0,080	0,25	3,13		
3.	T2	(150)	0,050	1,30	0,84		
4.	T9	30	0,050	1,00	0,88		
5.	T10	70	0,050	1,00	2,47		
6.	T5	(140)	0,100	1,00	1,52		
7.	T5	(180)	0,050	1,00	1,44		
8.	T12	32	0,060	0,45	1,02		
9.	T13	50	0,040	0,10	0,84		
10.	T6	(250)	0,060	0,20	1,99		
11.	T3	(150)	0,050	1,00	1,60		
12.	T1	(200)	0,100	1,80	1,52	4,50	Proti-vřeteno
13.	T8	(250)	0,080	0,25	2,21		
14.	T4	(150)	0,050	1,50	0,46		
15.	T11	18	0,100	0,50	0,31		
Σ						22,16	

Tab. 6.14 Parametry soustružení na dvouřetenovém soustruhu – Pole tube.

č. op.	Nástroj	v_c [m·min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	t_{AS} [s]	t_{AS} [s]	
1.	T1	(200)	0,220	1,00	1,21	33,36	Hlavní vřeteno
2.	T9	60	0,125	4,95	3,01		
3.	T7	(250)	0,080	0,10	6,67		
4.	T11	140	0,250	0,14	1,05		
5.	T12	50	0,200	-	3,64		
6.	T1	(200)	0,220	1,70 až 2,50	4,68		
7.	T2	170	0,050	1,30	0,37		
8.	T4	(250)	0,060	0,20	9,54		
9.	T3	(170)	0,050	1,30	1,12		
10.	T6	(150)	0,100	1,50	2,08		
11.	T7	(200)	0,110	1,60 až 2,20	2,29	8,46	Proti-vřeteno
12.	T7	(250)	0,080	0,30	2,53		
13.	T8	(180)	0,010	0,85	0,37		
14.	T1	200	0,220	1,65	0,43		
15.	T5	(250)	0,060	0,30	2,28		
16.	T10	32	0,038	0,80	0,56		
Σ						41,82	

6.4.1 Čas výroby na zvolených strojích

Doba cyklu (čas mezi výstupem hotových kusů) pro součást *Core* je **26,66 s**, pro součást *Pole tube* potom **43,36 s** a to za předpokladu, že by se součást vyráběla na zvoleném dvouvřetenovém soustruhu s podavačem tyčí a dvěma revolverovými hlavami (**Mazak Dual Turn 20**). Dále se předpokládá, že doba výměny nástroje v revolverové hlavě trvá přibližně 1 s, proto je ke každé době výroby v hlavním vřetenu připočteno 9 a 10 s na výměnu nástroje. Výroba v protivřetenu je kratší a probíhá paralelně, proto není čas výroby v protivřetenu přičten do celkového času výroby.

Pro zvýšení produktivity výroby lze součást obrábět více nástroji současně. Tuto metodu obrábění lze s omezeními využít i na některých strojích zvolených v kapitole 6.3. V ideálním případě se páruje obrábění s podobnými řeznými podmínkami a časovou náročností (např. při hrubování dvěma stejnými nástroji).

Při obrábění dvou různých prvků současně, je zapotřebí upravit řezné podmínky, tak, aby nedošlo k předčasnému zničení nástroje. Např. při soustružení $\varnothing 12,5$ mm s 6000 min^{-1} a současném soustružení díry $\varnothing 3$ mm s $10\,000 \text{ min}^{-1}$, je zvolena nižší hodnota otáček (tedy 6000 min^{-1}). To má za následek růst času potřebného pro obrobení díry. Tímto způsobem jsou upraveny všechny řezné podmínky paralelně obráběných ploch.

Při výrobě na vícevřetenových strojích MS 16 a MS 40 je spárování jednotlivých operací a přiřazení do vřeten uvedeno v tab. 6.15 a znázorněno na obr. 6.3 a 6.4. V jednotlivých vřetenech se obrábí jedním i dvěma nástroji současně. Například v prvním vřetenu stroje MS 16 se nejdříve zarovnává čelo (1) a poté se současně obrábí sražení a vrtá otvor (1 a 4).

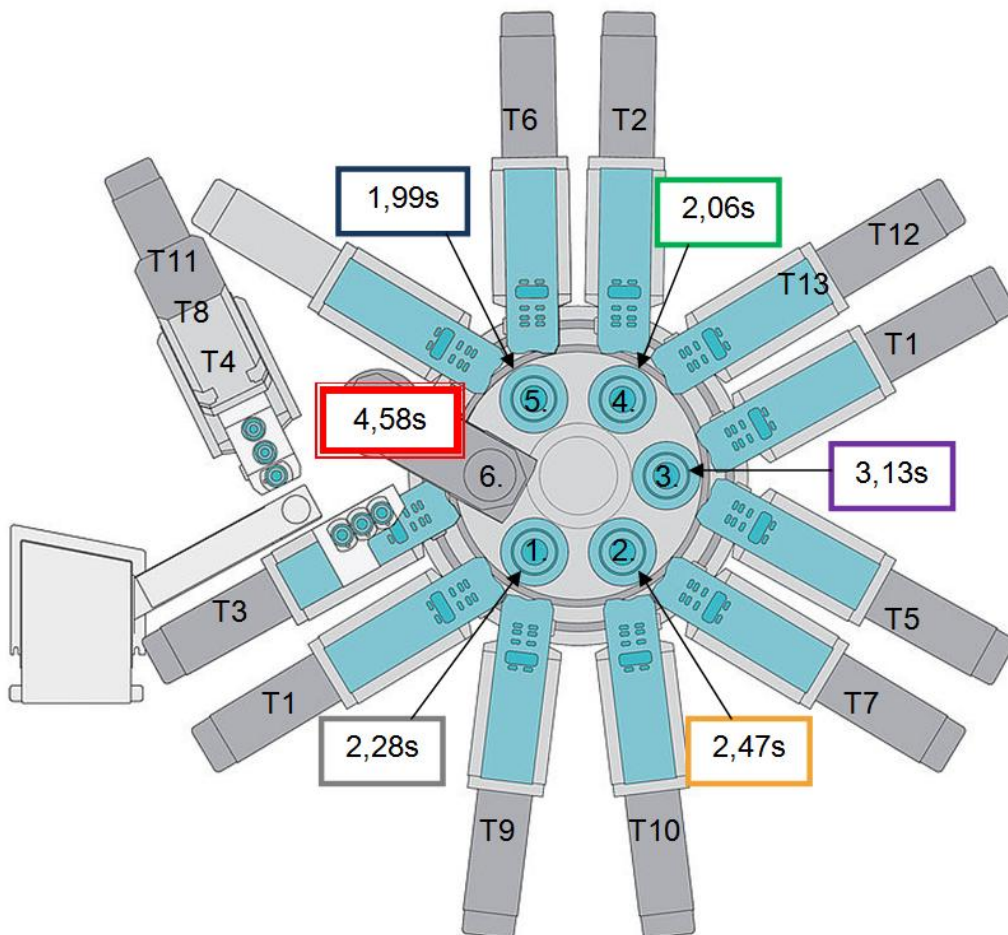
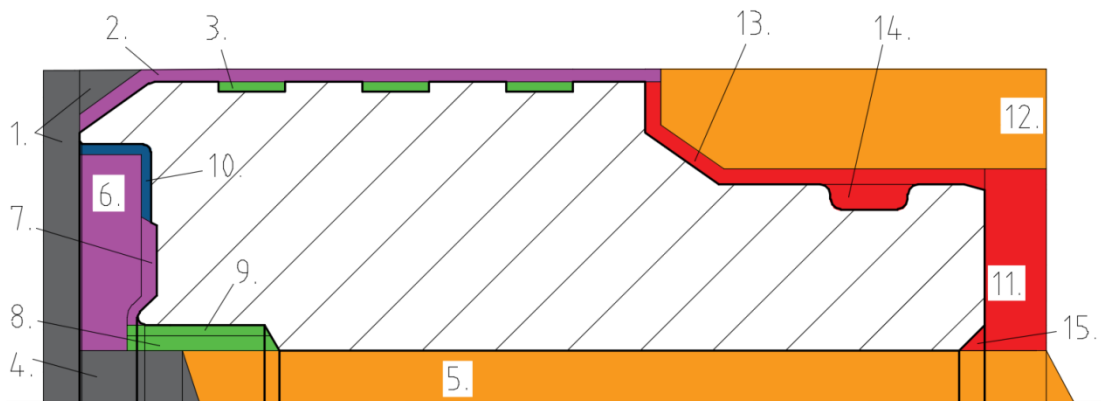
Aby byla jednotlivá vřetena dostatečně využita, byl upraven technologický postup. U součásti *Core* byla přesunuta 12. operace do druhého vřetene (neobrábí se v protivřetenu). Současně byl změněn i nástroj T1 za T7 (pravý uběrací nůž za nůž zapichovací). Podobně je tomu i u součásti *Pole tube* s 14. operací. Dále byla rozdělena 8. operace pro součást *Pole tube*, která se obrábí ve dvou různých vřetenech.

Tab. 6.15 Rozdělení do vřeten na MS 16 a MS 40.

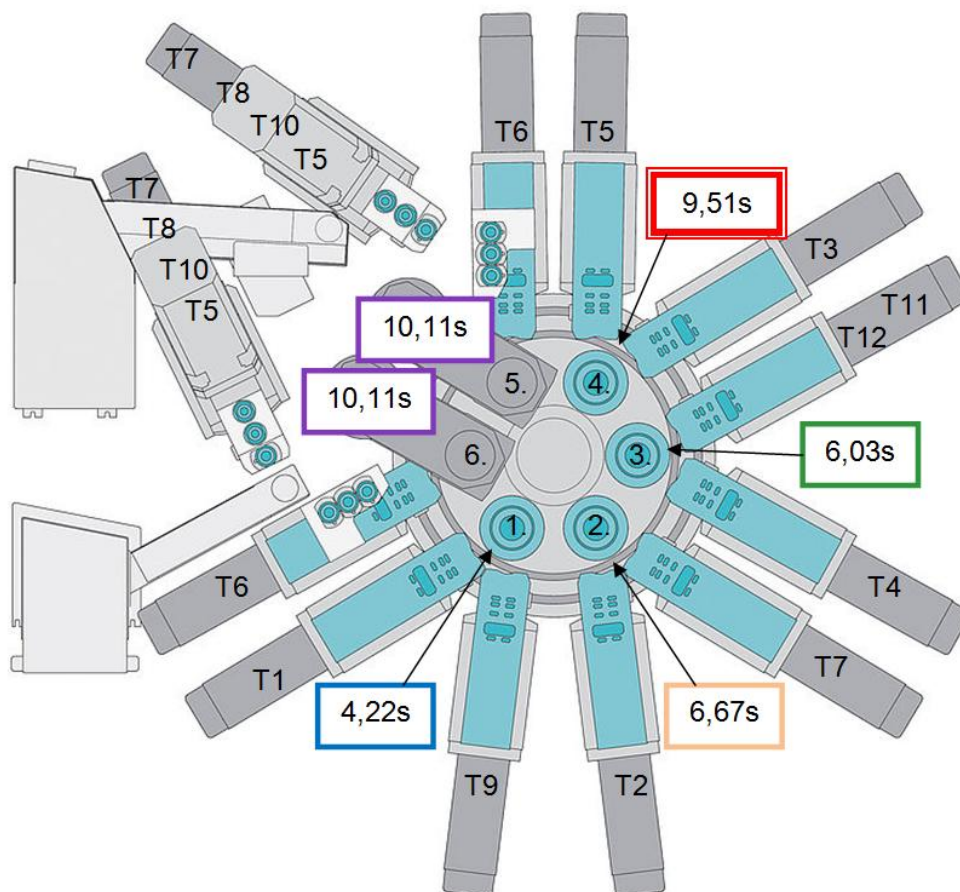
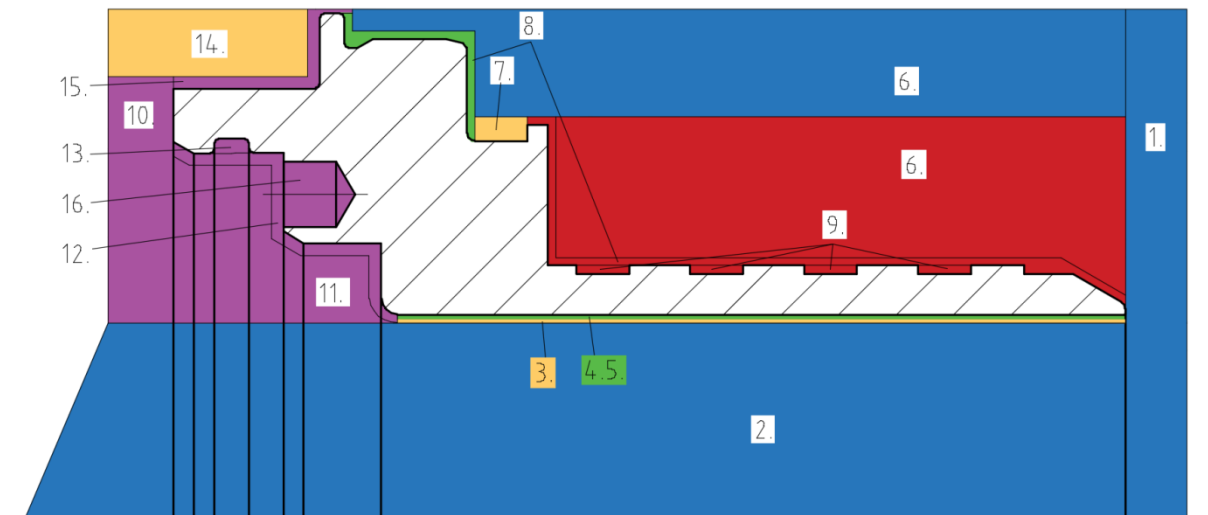
	Core (MS 16)			Pole tube (MS 40)		
	Prováděné operace	Použité nástroje	t_{AS} [s]	Prováděné operace	Použité nástroje	t_{AS} [s]
1. vřeteno	1, (1 a 4)	T1, T9	2,28	1, (2 a 6)	T1, T9	4,22
2. vřeteno	5 a 12	T10, T7	2,47	3 a (7, 14)	T7, T2	6,67
3. vřeteno	(6, 7) a 2	T5, T1	3,13	4 a 8, 5	T4, T11, T12	6,03
4. vřeteno	(8, 9) a 3	T12, T13, T2	2,06	6, 8, 9	T5, T3	9,51
5. vřeteno	10	T6	1,99	10,11,12, 13,15,16	T6, T7, T8, T10, T5	10,11
6. vřeteno	11,13,14,15	T3, T8, T4, T11	4,58			

Doba cyklu na vícevřetenových strojích je dána součtem času pro pootočení vřetenového bubnu (o jednu polohu) s nejdéle trvajícím časem výroby na vřetenu.

Časově nejnáročnější výroba na stroji **MS 16** je v 6. vřetenu (4,58 s). Za předpokladu, že rychlost pootočení vřetenového bubnu je 0,45 s, bude doba cyklu **5,03 s**.



Obr. 6.3 Aplikace paralelního obrábění na stroji MS 16 – Core [21].



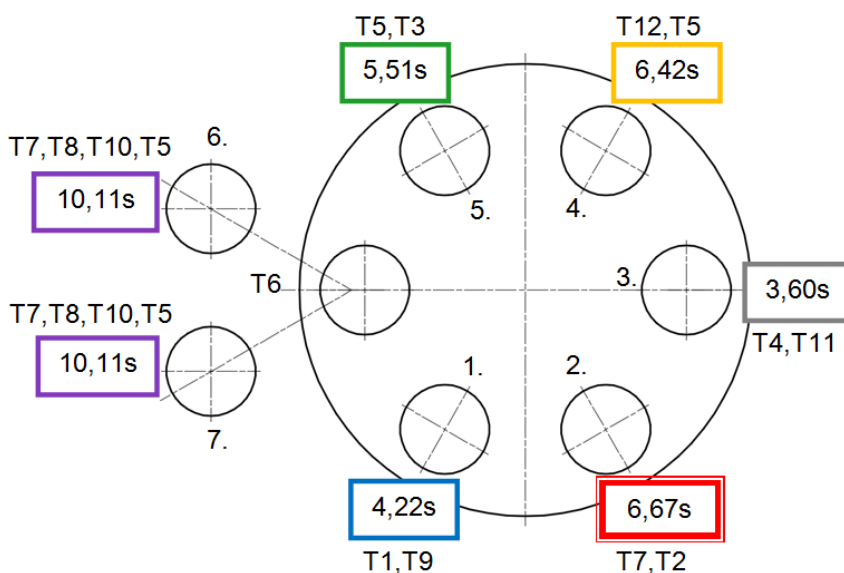
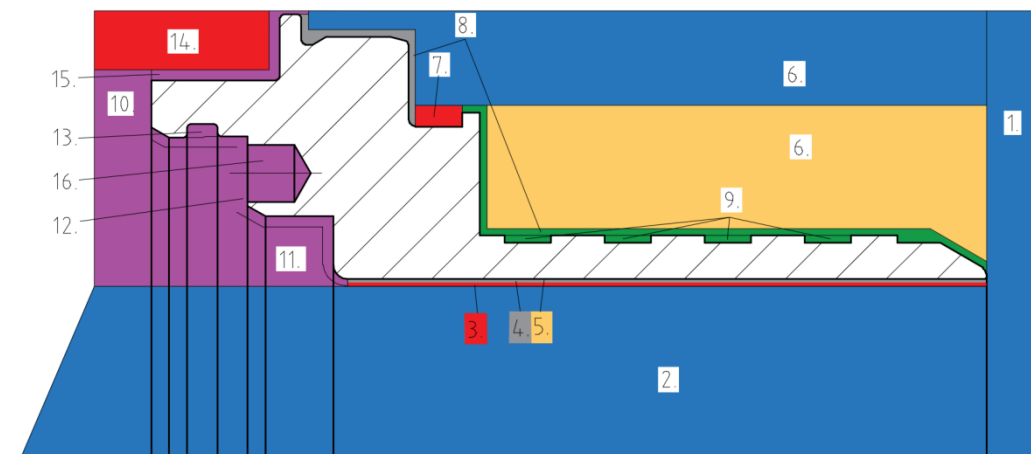
Obr. 6.4 Aplikace paralelního obrábění na stroji MS 40 – Pole tube [21].

Jelikož je stroj **MS 40** vybaven dvěma protivřeteny, je čas na obrobení druhé strany obroku (10,11 s) nepodstatný, jelikož není větší než dvojnásobek nejdéle trvající výroby ve vřetenovém bubnu (2 x 9,51 s). K době cyklu je nutně přičíst dvě pootočení vřetenového bubnu (2 x 1 s). Ve výsledku to znamená, že stroj vyrobí dva kusy *Pole tube* každých **21,02 s**. Dále bude ve výpočtech brána poloviční čas cyklu na výrobu jedné součásti **10,51 s**. V případě potřeby plynulého zásobování hotovými součástmi je tento stroj méně vhodný.

Proto je navržen další stroj (**GMC 35 ISM**) se dvěma protivřeteny, které střídavě odebírají součást pouze z jednoho pracovního vřetene. To umožňuje využít 5. vřeteno pro další obrábění. Návrh výroby na tomto stroji je znázorněn na obr. 6.5 a spárování jednotlivých operací je uvedeno v tab. 6.16. Doba cyklu na tomto stroji bude **7,67 s**, a to za předpokladu, že je doba polohování vřetenového bubnu 1 s.

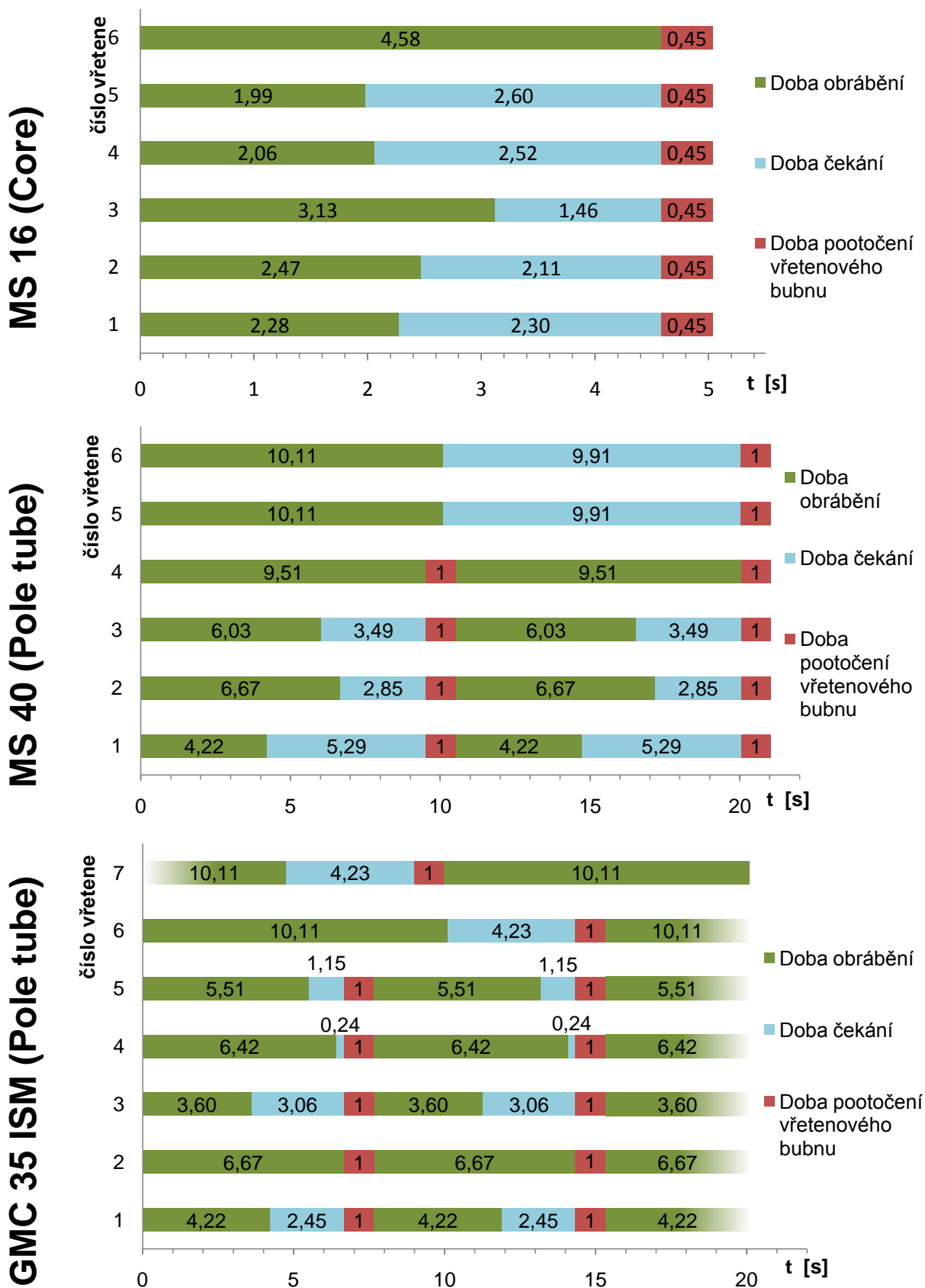
Tab. 6.16 Rozdělení do vřeten na GMC 35 ISM.

	Prováděné operace	Použité nástroje	t_{AS} [s]
1. vřeteno	1, 2 a 6	T1, T9	4,22
2. vřeteno	3 a (7, 14)	T7, T2	6,67
3. vřeteno	4 a 8	T4, T11	3,60
4. vřeteno	5, 6	T12, T5	6,42
5. vřeteno	8, 9	T5, T3	5,51
6. vřeteno	10,11,12,13,15,16	T6, T7, T8, T10, T5	10,11
7. vřeteno	10,11,12,13,15,16	T6, T7, T8, T10, T5	10,11



Obr. 6.5 Aplikace paralelního obrábění na stroji GMC 35 ISM – Pole tube.

Pro přehlednost jsou na obr. 6.6 sestaveny časové osy jednoho výrobního cyklu strojů MS 16, MS 40 a GMC 35 ISM.



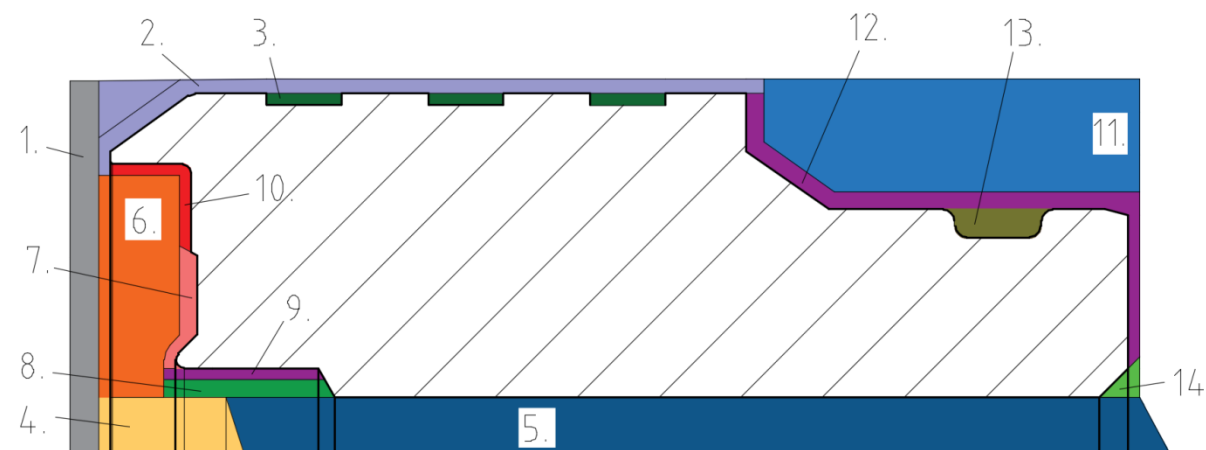
Obr. 6.6 Časová vytíženost vřeten.

Výroba součástí na stroji **Hydromat HB 32/16** je rozdělena do jednotlivých pozic (tab. 6.17 a 6.18 korespondují s postupy znázorněnými na obr. 6.7 a 6.8). Oproti předchozímu soustružení je součást v první pozici uříznuta pilovým kotoučem a až poté obráběna. Na tomto stroji není rotováno s polotovarem, ale s nástroji.

Soustružnické nástroje pro vnější soustružení jsou po dvou upnuty v rotační hlavě, čímž je umožněno využít dvojnásobný posuv. Nástroje pro soustružení vnitřních ploch jsou po jednom excentricky upnuty v rotačních hlavách. Dále je vhodné použít jiné nástroje pro vyhotovení centrálního otvoru na součásti *Pole tube* (výstružník pro slepé otvory nahrazen výstružníkem pro průchozí otvory).

Aby bylo plně využito všech šestnácti pozic, jsou časově nejnáročnější operace rozděleny a vyhotovovány na vícekrát (některé operace nelze rozdělit, např. válečkování). Konkrétně se jedná o 5. operaci (2,47 s) pro součást *Core* a 3. operaci (6,66 s) pro součást *Pole tube*. Po tomto rozdělení je nejdéle trvající výroba na 11. pozici pro součást *Core* (1,99 s) a na 9. pozici pro součást *Pole tube* (4,77 s).

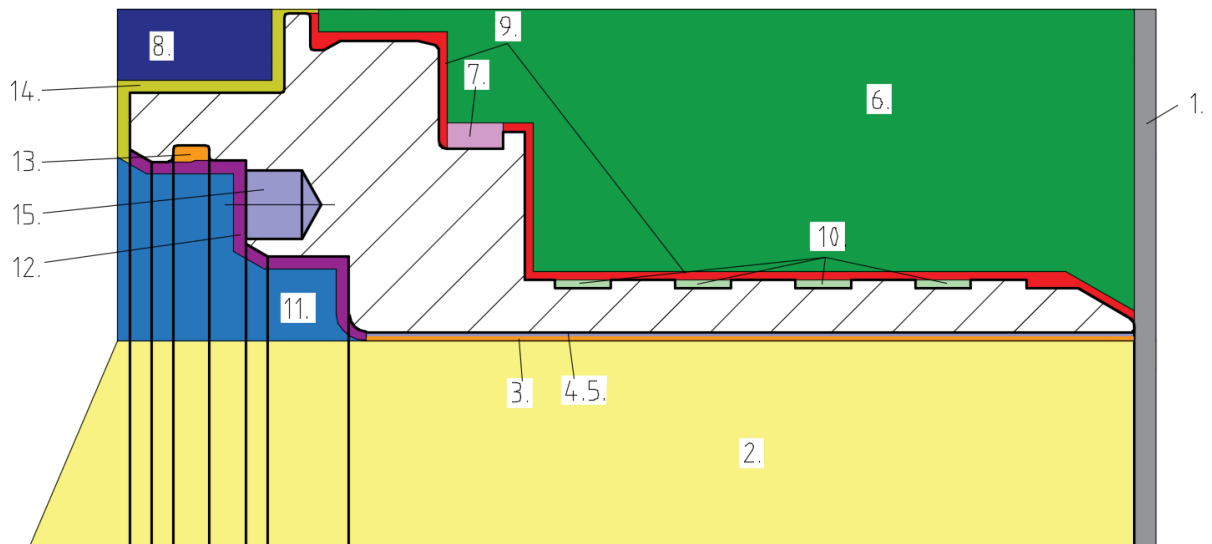
Doba cyklu pro RTM stroje je dána podobně jako u víceřetenových strojů. Za předpokladu, že doba pootočení otočného stolu je 0,7 s, bude doba cyklu pro součást *Core* **2,69 s**, pro součást *Pole tube* potom **5,47 s**.



Obr. 6.7 Technologický postup pro RTM stroj – Core.

Tab. 6.17 Rozdělení do pozic na stroji HB 32/16 – Core.

Pozice	Operace	Nástroj	t_{AS} [s]	Pozice	Operace	Nástroj	t_{AS} [s]
1.	1	T14	1,29	9.	8	T12	1,02
2.	2	2xT1	1,83	10.	9	T13	0,84
3.	3	2xT2	0,45	11.	10	T6	1,99
4.	4	T9	1,40	12.	otočení součásti		
5.	5	T10	1,24	13.	11	2xT1	0,76
6.	5	T10	1,24	14.	12	2xT8	1,52
7.	6	T5	1,52	15.	13	2xT4	0,23
8.	7	T5	1,44	16.	14	T11	0,31



Obr. 6.7 Technologický postup pro RTM stroj – Pole tube.

Tab. 6.18 Rozdělení do pozic na stroji HB 32/16 – Pole tube.

Pozice	Operace	Nástroj	t_{AS} [s]	Pozice	Operace	Nástroj	t_{AS} [s]
1.	1	T14	2,40	9.	9	2xT4	4,77
2.	2	T9	3,01	10.	10	2xT3	0,56
3.	3	T7	3,33	11.	otočení součásti		
4.	3	T7	3,33	12.	11	T7	2,29
5.	4	T13	1,05	13.	12	T7	2,53
6.	5	T12	3,64	14.	13	T8	0,37
7.	6	2xT1	2,34	15.	14	2xT5	1,50
8.	8, 7	2xT2	1,15	16.	15	T10	0,56

V případě výroby na dvouřetenovém soustruhu Index **SpeedLine C 100** se třemi revolverovými hlavami lze paralelně obrábět na hlavním vřetenu. Délka cyklu je potom dána součtem času výměny nástroje s časem výroby na hlavním vřetenu. Počet výměn nástrojů na hlavním vřetenu lze považovat za poloviční, díky dvěma revolverovým hlavám (*Core* 4 s, *Pole tube* 5 s). Za předpokladu, že by bylo spárování jednotlivých operací provedeno podobně jako u víceřetenových strojů, byl by čas výroby na hlavním vřetenu dán součtem časů hlavních vřeten víceřetenového stroje a to včetně upíchnutí. Pro výpočet 6.5 a 6.6 jsou brány hodnoty z tab. 6.15 pro součást *Core* a z tab. 6.16. pro součást *Pole tube*.

Doba cyklu pro součást Core:

$$t_{c_1} = (2,28 + 2,47 + 3,13 + 2,06 + 1,99 + 1,6) + 4 = \mathbf{17,53\ s} \quad (6.5)$$

Doba cyklu pro součást Pole tube:

$$t_{c_2} = (4,22 + 6,67 + 3,60 + 6,42 + 5,51 + 2,08) + 5 = \mathbf{33,50\ s} \quad (6.6)$$

Pro dlouhotočné soustruhy **EvoDECO 16** a **32** bude délka výroby stejná jako u soustruhu C 100 s tím rozdílem, že lze zanedbat dobu na výměnu nástroje. Doba cyklu pro součást *Core* je potom **13,53 s** a pro součást *Pole tube* **28,50 s**.

Pro přehlednost jsou v tab. 6.19 uvedené všechny stanovené časy potřebné pro výrobu jednoho kusu na zvolených strojích. V případě velkosériové výroby jsou vhodné spíše stroje s menší dobou cyklu (RTM a vícevřetenové stroje).

Tab. 6.19 Strojní čas na výrobu jedné součástky.

Zvolený stroj	Core	Pole tube
	t_c [s]	t_c [s]
Mazak Dual Turn 20	26,66	43,36
Index SpeedLine C 100	17,53	33,50
Tornos EvoDECO 16 (32)	13,53	28,50
Index MS 16 (40)	5,03	10,51
DMG GMC 35 ISM	–	7,67
Hydromat HB 32/16	2,69	5,47

6.4.2 Frekvence výměny nástrojů

Počet kusů, které je nástroj schopen vyrobit za dobu své trvanlivosti, je dán poměrem trvanlivosti nástroje s jednotkovým strojním časem pro výrobu jedné součásti (vztah 6.7). Tento poměr je zaokrouhlen na menší hodnotu. K získání času výměny nástroje se získaný počet kusů vynásobí časem výrobního cyklu (vztah 6.8).

$$p_V = \frac{T}{t_{AS}} [-] \quad (6.7)$$

kde: p_V [-] – počet vyrobených kusů,
 T [min] – trvanlivost nástroje,
 t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas.

$$t_V = p_V \cdot t_c [\text{min}] \quad (6.8)$$

kde: t_V [min] – čas výměny nástroje,
 t_c [min] – čas výrobního cyklu.

Předpokládá se trvanlivost nástroje 15 minut. Některé nástroje jsou ve stroji na více pozicích. Např. na stroji Mazak Dual Turn 20 je nástroj T1 v revolverové hlavě pro hlavní vřetenou a druhý nástroj T1 v revolverové hlavě pro protivřetenou. Pro každý nástroj je počet vyrobených kusů a čas výměny nástroje počítán zvlášť. U vícevřetenových strojů je to podobné. Vypočítané hodnoty pro stroj Mazak Dual Turn 20 jsou uvedené v tab. 6.20, kde je v posledním sloupci uveden počet výměn nástrojů v osmihodinové směně x_8 (7,5 pracovních hodin). Tabulky pro ostatní stroje jsou uvedeny v příloze č. 4.

Vzorový výpočet pro součást *Core*, nástroj T1 na stroji Mazak Dual Turn 20:

$$p_v = \frac{15}{\frac{1,94 + 3,13}{60}} = 177,6 \Rightarrow 177 \text{ kusů}$$

$$t_v = 177 \cdot \frac{32,59}{60} = 96,14 \text{ min}$$

Hodnoty t_{AS} a t_c jsou v předchozích kapitolách uváděny v sekundách. Trvanlivost pro válečkovací nástroj je ve skutečnosti řádově vyšší (přibližně pro $p_v = 10\,000$ kusů [38]).

Tab. 6.20 Frekvence výměny nástrojů na Mazak Dual Turn 20.

Core					Pole Tube					
Nástroj	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]	Nástroj	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]	
hlavní vřeteno	T1	5,07	177	78,6	5,72	T1	5,89	152	109,8	4,10
	T2	0,84	1071	475,8	0,95	T2	0,37	2456	1774,9	0,25
	T3	1,60	562	249,7	1,80	T3	1,12	803	580,3	0,78
	T5	2,96	304	135,1	3,33	T4	9,54	94	67,9	6,62
	T6	1,99	453	201,3	2,24	T6	2,08	433	312,9	1,44
	T9	0,88	1023	454,5	0,99	T9	3,01	298	215,4	2,09
	T10	2,47	363	161,3	2,79	T11	1,05	854	617,2	0,73
	T12	1,02	885	393,2	1,14	(T12)	3,64	10 ⁴	178,5	0,06
	T13	0,84	1075	477,6	0,94	T1	0,43	2096	1514,8	0,30
protivřeteno	T1	1,52	592	592	1,71	T5	2,28	393	284,0	1,58
	T4	0,46	1967	1967	0,51	T7	4,82	186	134,4	3,35
	T8	2,21	406	406	2,49	T8	0,37	2443	1765,5	0,25
	T11	0,31	2866	2866	0,35	T10	0,56	1606	1160,6	0,39

Strojní časy jsou spočítány pro maximální produktivitu, ale neberou v potaz čas, kdy stroj stojí v důsledku výměny opotřebovaných nástrojů. Obecně lze říct, že nejčastěji bude zapotřebí vyměnit nástroje, které obrábějí nejdéle. Tedy nástroj T1 a T5 pro součást *Core* a nástroje T4, T1 a T7 pro součást *pole tube*.

Skutečná trvanlivost nástrojů bude řádově jiná, ale díky spočítaným hodnotám lze stanovit, které nástroje bude nutné měnit nejčastěji a které jen zřídka. Ve skutečné výrobě je potom snaha o to, aby se všechny nástroje vyměňovaly současně (např. jednou za směnu), čímž nebude nutné stroj zastavovat pro výměnu každého nástroje zvlášť.

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Vzhledem k citlivosti informací nejsou udávány skutečné velikosti sérií. Pro účel vypracování této diplomové práce byly stanoveny smyšlené požadavky.

V technicko-ekonomickém zhodnocení jsou odhadnuty pořizovací ceny strojů a nástrojů [12, 34, 35, 37, 38] pro jednotlivé varianty výroby součástí *Core* a *Pole tube*. Ceny strojů jsou odhadnuty po diskuzi s výrobcí zvolených strojů.

Je dán požadavek na výrobu součástí *Core* a *Pole tube* jako páru v sérii 700 000 kusů za rok. Předpokládá se postupné navyšování objemu produkce až na konečnou velikost série 2 450 000 kusů za rok. Pro zjednodušení jsou dány dvě varianty 700 000 kusů a 2 450 000 kusů, kde je uvažována pouze skoková změna velikosti produkce. Pro každou variantu jsou zvoleny nejvhodnější stroje z hlediska maximální výrobní kapacity, využitelnosti, počtu a ceny strojů.

Veškeré náklady na výrobu jsou do značné míry zjednodušené. Pro výpočet reálných cen by bylo nutné započítat všechny fixní a variabilní náklady jako jsou např. mzdy dělníků, náklady na materiál či VBD atd.

7.1 Výrobní kapacita strojů

Výrobní kapacita zvolených strojů p_p (vztah 7.1) se spočítá jako podíl ročního časového fondu stroje t_R a času cyklu jednotlivých strojů t_c . Při výpočtu kapacity strojů je nutné brát v potaz ztráty způsobené např. výměnou nástrojů, údržbou stroje, seřazením stroje atd. Ve strojních časech nejsou zahrnuty časy, kdy se nástroj (obrobek) pohybuje rychloposuvem, proto je nutné počítat s další rezervou. Celková efektivnost zařízení by proto mohla přibližně být 70%. Roční časový fond stroje t_R je čas, po který je stroj k dispozici pro výrobu. Předpokládá se třísměnný provoz 250 dní v roce [40].

$$p_p = \frac{t_R \cdot \eta}{t_c} \quad [-] \quad (7.1)$$

kde:	p_p [-]	–	výrobní kapacita stroje,
	t_R [s]	–	roční časový fond stroje,
	t_c [s]	–	čas cyklu stroje,
	η [-]	–	celková efektivnost zařízení.

Vzorový výpočet výrobní kapacity pro stroj Index MS 16 pro součást *Core*:

$$p_p = \frac{(250 \text{ dní} \cdot 3 \text{ směny} \cdot 7,5 \text{ hodin} \cdot 3600) \cdot 0,7}{5,03} = 2\,818\,091 \text{ kusů}$$

Tab. 7.1 Výrobní kapacita jednoho stroje za rok.

	Výrobní kapacita [-]	
	Core	Pole tube
Mazak Dual Turn 20	531 695	326 914
Index SpeedLine C 100	808 613	423 134
Tornos EvoDECO 16 (32)	1 047 671	497 368
Index MS 16 (40)	2 818 091	1 348 715
DMG GMC 35 ISM	–	1 848 109
Hydromat HB 32 / 16	5 269 516	2 591 407

Výrobní kapacita jednotlivých strojů je uvedena v tab. 7.1. Nejvyšší výrobní kapacity se dosahuje stroji Hydromat HB 32 / 16. Nejnižší výrobní kapacita je na stroji Mazak Dual Turn 20.

Sérii 2 450 000 kusů lze pokrýt šestivřetenovým strojem Index MS 16 pro součást *Core* a RTM strojem Hydromat HB 32 / 16 pro součást *Pole tube*. Pro sérii 700 000 kusů lze použít stroj Index SpeedLine C 100 pro součást *Core* a Index MS 40 pro součást *Pole tube*.

7.2 Počet a využití strojů

Aby bylo možné stanovit potřebný počet strojů, je nutné spočítat potřebný čas cyklu t_p pro dané série (vztah 7.2). Při výpočtu tohoto času je nutné brát v potaz celkovou efektivnost zařízení podobně, jako tomu bylo u výrobní kapacity strojů.

$$t_p = \frac{t_R \cdot \eta}{Q} \quad (7.2)$$

kde: t_p [s] – požadovaný čas cyklu,
 t_R [s] – roční časový fond stroje,
 η [-] – celková efektivnost zařízení,
 Q [-] – velikost série.

$$t_{p1} = \frac{(250 \text{ dní} \cdot 3 \text{ směny} \cdot 7,5 \text{ hodin} \cdot 3600) \cdot 0,7}{2\,450\,000} = 5,8 \text{ s}$$

$$t_{p2} = \frac{(250 \text{ dní} \cdot 3 \text{ směny} \cdot 7,5 \text{ hodin} \cdot 3600) \cdot 0,7}{700\,000} = 20,3 \text{ s}$$

Počet potřebných strojů p_m (vztah 7.3) je potom stanoven jako podíl času cyklu na daném stroji t_c (z tab. 6.19) a požadovaného času cyklu t_p :

$$p_m = \frac{t_c}{t_p} [-] \quad (7.3)$$

kde: $p_m [-]$ – počet potřebných strojů,
 $t_c [s]$ – čas cyklu,
 $t_p [s]$ – požadovaný čas cyklu.

Počet potřebných strojů společně s využitím stroje uveden v tab. 7.2 a 7.3. Vzorový výpočet pro součást *Pole tube* na stroji C 100 s požadovaným časem výrobního cyklu 5,8 s pro sérii 2 450 000 kusů:

$$p_m = \frac{33,50}{5,8} = 5,78 \Rightarrow 6 \text{ strojů}$$

Z těchto hodnot potom plyne využití stroje:

$$\eta_s = \frac{5,78}{6} \cdot 100 = 96,3\% \quad (7.4)$$

Tab. 7.2 Počet strojů a jejich využití pro sérii 700 000 kusů.

	Core		Pole tube	
	Počet strojů [-]	Využití stroje [%]	Počet strojů [-]	Využití stroje [%]
Mazak Dual Turn 20	2	65,7	3	71,2
Index SpeedLine C 100	1	86,4	2	82,5
Tornos EvoDECO 16 (32)	1	66,7	2	70,2
Index MS 16 (40)	1	24,8	1	51,8
DMG GMC 35 ISM	–	–	1	37,8
Hydromat HB 32 / 16	1	13,3	1	26,9

Z hlediska využití jsou pro obě součástky (série 700 000 kusů) nejvhodnější dvouvřetenové stroje Index SpeedLine C 100. Nejnižší využití je potom dosaženo na RTM stroji Hydromat HB 32/16.

Pro výrobu součásti *Core* (série 700 000 kusů) je zapotřebí pouze jednoho ze zvolených strojů s výjimkou dvouvřetenového soustruhu Mazak Dual Turn 20. Součást *Pole tube* lze obrábět na jednom ze dvou vícevřetenových soustruhů (Index MS 40, DMG GMC 35 ISM) nebo na RTM stroji Hydromat HB 32/16. Obecně je nejvíce strojů zapotřebí na dvouvřetenových strojích Mazak Dual Turn 20.

Tab. 7.3 Počet strojů a jejich využití pro sérii 2 450 000 kusů.

	Core		Pole tube	
	Počet strojů [-]	Využití stroje [%]	Počet strojů [-]	Využití stroje [%]
Mazak Dual Turn 20	5	91,9	8	93,4
Index SpeedLine C 100	4	75,6	6	96,3
Tornos EvoDECO 16 (32)	3	77,8	5	98,3
Index MS 16 (40)	1	86,7	2	90,6
DMG GMC 35 ISM	–	–	2	66,1
Hydromat HB 32 / 16	1	46,4	1	94,3

Pro součást Core (série 2 450 000 kusů) je nevyšší využití na dvouřetenovém stroji Mazak Dual Turn 20. Pro součást *Pole tube* je u všech strojů poměrně vysoké využití strojů s výjimkou víceřetenového stroje DMG GMC 35 ISM. Nejvyšší využití pro součást *Pole tube* je potom u stroje Tornos EvoDECO 32.

Z hlediska počtu strojů je pro sérii 2 450 000 kusů nejvhodnější šestivřetenový soustruh Index MS16 pro součást *Core* a RTM stroj Hydromat HB 32/16 pro součást *Pole tube*, jelikož je na výrobu potřeba pouze jeden stroj pro každou součástku. Z hlediska počtu strojů jsou nejméně vhodné stroje Mazak Dual Turn 20.

7.3 Pořizovací ceny strojů

Přibližné ceny zvolených strojů jsou uvedeny v tab. 7.4. Náklady na pořízení strojů jsou nevyšší položkou při kalkulaci výrobních nákladů. Pro zjednodušení výpočtu nákladů na výrobu jedné součástky jsou proto uvažovány pouze náklady na pořízení stroje. Náklady na výrobu jedné součástky lze spočítat dle vztahu 7.5.

Tab. 7.4 Pořizovací ceny strojů.

Stroj	Pořizovací cena stroje [€]
Mazak Dual Turn 20	180 000
Index SpeedLine C 100	280 000
Tornos EvoDECO 16/32	400 000
Index MS 16/40	1 250 000
DMG GMC 35 ISM	1 500 000
Hydromat HB 32/16	2 000 000

$$N_k = \frac{p_m \cdot N_s}{Q} \quad [\text{€}] \quad (7.5)$$

kde: N_k [€] – cena jedné součástky,
 N_s [€] – cena stroje,
 p_m [-] – počet potřebných strojů,
 Q [-] – velikost série.

Přibližné náklady na výrobu jedné součástky na zvolených strojích jsou uvedeny v tab. 7.5. Vzorový výpočet ceny jedné součástky *Pole tube* na stroji C 100 pro sérii 2 450 000 kusů:

$$N_k = \frac{6 \cdot 280\,000}{2\,450\,000} = 0,69 \text{ €}$$

Tab. 7.5 Náklady na výrobu jedné součástky.

Varianta	Cena jedné součástky [€]			
	Core		Pole tube	
	700 000 ks	2 450 000 ks	700 000 ks	2 450 000 ks
Mazak Dual Turn 20	0,51	0,37	0,77	0,59
Index SpeedLine C 100	0,40	0,46	0,80	0,69
Tornos EvoDECO 16 (32)	0,57	0,49	1,14	0,82
Index MS 16 (40)	1,79	0,51	1,79	1,02
DMG GMC 35 ISM	–	–	2,14	1,22
Hydromat HB 32 / 16	2,86	0,82	2,86	0,82

Z hlediska nákladů na výrobu je nejvhodnější výroba na stroji Mazak Dual Turn 20 a Index SpeedLine C 100. Nejnákladnější je potom výroba na vícevřetenových soustruzích a RTM stroji.

7.4 Ceny nástrojů

Ceny zvolených nástrojů jsou uvedeny v tab. 7.6. Nejdražším nástrojem je válečkový nástroj T12 pro součást *Pole tube*, který stojí 610 €. Mezi soustružnickými noži je nejdražší zapichovací nástroj T7 pro součást *Core*.

Tab. 7.6 Ceny nástrojů [12, 34, 35, 37, 38].

Číslo nástroje	Core		Pole tube		Číslo nástroje	Core		Pole tube	
	Tělo nože [€]	VBD [€]	Tělo nože [€]	VBD [€]		Monolitní nástroje [€]			
T1	79	7	79	6	T9	52		137	
T2	137	22	137	22	T10	102		16,7	
T3	137	22	137	22	T11	32,5		201	
T4	137	22	79	14	T12	21,5		610	
T5	79	36	79	9	T13	64,4		201	
T6	102	28	114	22	T14			14	
T7	268	25	103	8					
T8	79	9	188	18					

Tab. 7.7 Náklady na osazení jednoho stroje nástroji.

	Náklady [€]	
	Core	Pole tube
Mazak Dual Turn 20	1254	2087
Index SpeedLine C 100		
Tornos EvoDECO 16/32		
Index MS 16/40	1288	2758
DMG GMC 35 ISM	–	2710
Hydromat HB 32/16	2093	2832

Náklady na osazení jednoho stroje zvolenými nástroji jsou uvedeny v tab. 7.7. V těchto částkách nejsou zahrnuty náklady na upínače rotačních nástrojů. RTM stroje jsou z tohoto hlediska nejnákladnější z důvodu velkého počtu nástrojů. Rozdíl mezi náklady na nástroje pro stroje Index MS 40 a DMG GMC 35 je způsoben pouze rozdílným počtem upichovacích nástrojů.

ZÁVĚR

Nejdříve byl vypracován technologický rozbor dle výkresové dokumentace, díky kterému bylo možné určit, které prvky vyžadují zvýšenou pozornost při návrhu technologického postupu. Jednalo se především o centrální otvor na součásti *Pole tube*, kde je požadovaná vysoká přesnost a jakost obrobeného povrchu. Tento otvor bude polodokončován soustružením, vystružením a poté dokončen pomocí válečkovacího nástroje.

Dále bylo nutné navrhnout polotovary, stroje a nástroje. Jako polotovary byly doporučeny tyče z feritické korozivzdorné oceli válcované za tepla v žíhaném stavu. Pro součást *Core* je zvolena tyč \varnothing 13 mm délky 2 500 mm, pro součást *Pole tube* potom tyč \varnothing 25 mm délky 5 500 mm.

K porovnání bylo navrženo pět odlišných typů strojů: dva různé dvouřetenové soustruhy, dlouhotočný soustruh, víceřetenový soustruh a RTM stroj. Poté byly ke každému stroji navrženy/upraveny technologické postupy a nástroje dle možností daného typu stroje. Pro jednotlivé stroje jsou potom spočítány výrobní časy, pomocí kterých bylo možné určit, zda zvolené stroje pokryjí požadovaný objem výroby.

Pro sérii 700 000 kusů vychází nejlépe z navržených variant výroba na třech dvouřetenových soustruzích Index SpeedLine C 100 s využitím přes 80% a náklady na výrobu 0,40 a 0,80 € za kus (pro zjednodušení jsou náklady počítány pouze z pořizovacích cen strojů). Pořizovací cena těchto tří strojů je 840 000 €.

Při uvažování počtu, využití a výrobnosti jednotlivých strojů vychází pro sérii 2 450 000 kusů ročně nejvhodněji šestivřetenový soustruh Index MS 16 s využitím 86,7% pro součást *Core* a RTM stroj Hydromat HB 32/16 s využitím 94,3% pro součást *Pole tube*. Pořizovací cena těchto dvou strojů je dohromady 3 250 000 €. Pro vzájemnou zastupitelnost strojů při výrobě obou součástí je vhodné pořídit místo stroje MS 16 stroj MS 40 s větším rozsahem.

S minimálními náklady (0,37 € a 0,59 € za kus) lze výrobu pro sérii 2 450 000 kusů realizovat na dvouřetenových strojích Mazak Dual Turn 20. Pro obě součástky je zvolen stejný typ stroje, proto lze bez problémů obrábět součást *Pole tube* na stroji určeném pro součást *Core* a naopak. Problémem u těchto strojů je jejich množství, jelikož je na výrobu zapotřebí dohromady 13 strojů. U vysokého počtu strojů lze předpokládat komplikovanější manipulaci s materiálem, větší potřebnou plochu pro stroje atd. Pořizovací cena těchto třinácti strojů činí 2 340 000 €.

Vzhledem k počtu potřebných strojů a jejich výrobní kapacitě doporučuji pro sérii 2 450 000 kusů variantu s RTM a víceřetenovým strojem i přes vyšší pořizovací cenu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Servomotors, stepper motors and actuators for motion. *Machine Design* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://uniquemachines.blogspot.cz/2010/10/servomotors-stepper-motorsand-actuators.html>
2. Inductive reactance. *Learning electronics* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.learningelectronics.net/worksheets/xl.html>
3. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
4. ČAMEK, Libor. *Slévárenství ocelových odlitků: Studijní opory* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/slevarenstvi-ocelovych-odlitku/Camek_Slevarenstvi_ocelovych_odlitku.pdf
5. *Handbook of stainless steel* [online]. Sweden: Outokumpu Oyj, 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>
6. Charakteristika korozivzdorných materiálů a základní informace o použití, zpracování, svařování a možné korozi. In: *Italinox* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.italinox.cz/?p1=plechy&p2=p6&p3=p2>
7. X6CrMoS17 (1.4105): Materiálový list. *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crmos17-feriticke#>
8. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972-2994-6.
9. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
10. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
11. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
12. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/>
13. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
14. *Pramet: Katalog 2016* [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/downloads/catalogue%20pramet%202016%20cz-en%20bookmarks.pdf>

15. *ELUC: Teorie obrábění* [online]. [cit. 2016-05-15].
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1182>
16. *HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM Publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.*
17. GRYČ, Jan. Nová generace povlakovaných cermetů. *MM Průmyslové spektrum*. 2016, (4), 2. ISSN 1212-2572.
18. *Factory automation: Víte, jak probíhá upínání nástrojů na CNC?* [online]. 2014 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/vite-jak-probiha-upinani-nastroju-na-cnc/>
19. DE VOS, Patrick. *Příručka pro technology: Proces obrábění kovů – životnost nástrojů* [online]. 2012 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: https://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/7/Seco_07_bez_inzerce.pdf
20. MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
21. *Index: Machine tools* [online]. [cit. 2016-05-15].
Dostupné z: <http://www.index-traub.com/en/index/>
22. *Tornos* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.tornos.com/en/content/products>
23. *Schuetze: Product information* [online]. [cit. 2016-05-15].
Dostupné z: <http://www.schuetze.de/AHS/V2/index.php?id=47&L=1>
24. *DMG Mori: Automatic lathes - GMC series* [online]. [cit. 2016-05-15].
Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/lathes/automatic-lathes/gmc-gm>
25. *Metra: Custom multispindle machine solutions* [online]. [cit. 2016-05-15].
Dostupné z: <http://www.metramh.com/en/166286/CustomMultispindlemachineVIDEOSMETRA.htm>
26. *K.R. Pfiffner AG: Rotary transfer machines Hydromat* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://update.pfiffner.biz/cms/front_content.php?idart=54
27. *We Fun: Rotary Transfer Machine* [online]. [cit. 2016-05-15].
Dostupné z: http://www.we-fun.com/html/e_02products.htm
28. *Mikron: Mikron Multistar* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.mikron.com/en/mikron-machining/machining-solutions/products/mikron-multistar/>
29. DEDERLE, Tomáš a Jiří HEJNÍK. Proč dlouhotočný automat. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, (12) [cit. 2016-05-15]. ISSN 1212-2572.
30. BRAMLET, Christina. Consider L:D When Choosing A Lathe For Small Parts. *Modern Machine Shop* [online]. 2007 [cit. 2016-05-15].

31. *Výrobní stroje I* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf
32. Konstrukce CNC obráběcích strojů: Zvyšování pracovní přesnosti u CNC (7). *Technický týdeník* [online]. 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/zvysovani-pracovni-presnosti-u-cnc-7>
33. BĚLÍN, Zdeněk. Vrtání hlubokých otvorů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, (5) [cit. 2016-05-15]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru.html>
34. *Guhring: Catalog* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://shop.guehring.de/catalog>
35. Frézy kotoučové HSS. *ZPS - frézovací nástroje* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/frezy-kotoucove-hss/>
36. Katalog nástrojů: Katalog produktů. *Ham - Final: Carbide and Diamond Tool - Systems* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.ham-final.cz/>
37. *Baublies rollier - technologie: Katalog*. 2010. Dostupné také z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/baublies/technicke-podklady/>
38. VAŇEK, Vladimír. *Návrh výroby otvoru*. Brno, 2016, 1 s.
39. Dual Turn 20. *Mazak* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/dual-turn-20/>
40. PATOČKA, Miroslav. OEE a odvozené ukazatele TEEP, PEE, OAE, OPE, OFE, OTE a CTE. *MEScentrum.cz* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://mescentrum.cz/clanky/mes-mom/133-oee>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

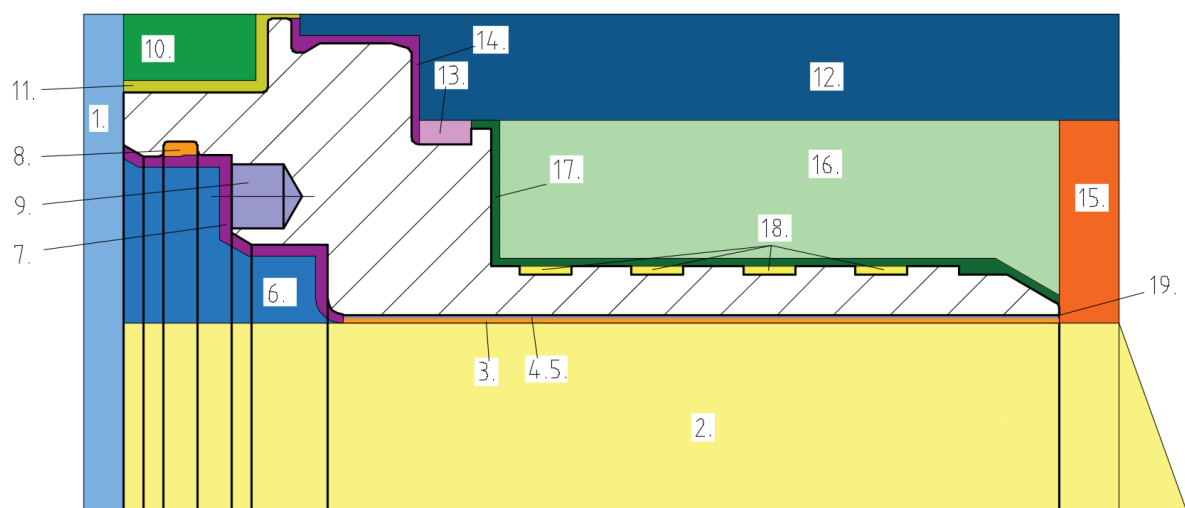
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_D	mm^2	jmenovitý průřez třísky
a_p	mm	šířka záběru ostří
b_D	mm	šířka třísky
CBN		kubický nitrid bóru
CNC		computer numerical control
CrC		karbid chromu
Cr_{ekv}	%	chromový ekvivalent
C_T		Taylorova konstanta
ČSN		česká technická norma
d	mm	konečný průměr obrobku
D	mm	počáteční průměr obrobku
E	GPa	modul pružnosti v tahu
f_n	mm	posuv na otáčku
G_{Core}		využití tyče pro součást Core
G_{Pole}		využití tyče pro součást Pole tube
HB, HRC, HV		tvrdost
HW, HT, HC		značení slinutých karbidů
i		počet záběrů
ISO		mezinárodní technická norma
l	mm	délka obráběné plochy
L	mm	délka obrobku
L_{Core}	mm	potřebná délka na jeden kus Core
l_n	mm	délka náběhu
l_p	mm	délka přeběhu
L_{Pole}	mm	potřebná délka na jeden kus Pole tube
$L_{\text{tyč}}$	mm	délka polotovaru
m		Talorův exponent
n	min^{-1}	otáčky za minutu
NbC		karbid niobu
NC		numerical control
N	€	náklady
Ni_{ekv}	%	niklový ekvivalent
N_k	€	cena jedné součástky
N_s	€	cena stroje
PCD		polykrystalický diamant
P_f		boční nástrojová rovina
ρ_m		počet potřebných strojů
P_n		normální nástrojová rovina
P_o		ortogonální nástrojová rovina
ρ_p		výrobní kapacita stroje
P_p		zadní nástrojová rovina
P_r		základní nástrojová rovina
P_s		nástrojová rovina ostří
ρ_v		počet vyrobených kusů
Q		velikost série
R_m	MPa	mez pevnosti
R_{max}	μm	maximální výška profilu
$R_{p0,2}$	MPa	minimální mez kluzu

RTM		rotary transfer machine
r_ε	mm	poloměr zaoblení špičky
SK		slinuté karbidy
T	min	trvanlivost nástroje
TaC		karbid tantalu
t_{AS}	min (s)	strojní jednotkový čas
t_c	s	čas cyklu
TiC		karbid titanu
t_p	s	požadovaný čas cyklu
t_R	s	roční časový fond stroje
t_v	min	čas výměny nástroje
VBD		vyměnitelná břitová destička
v_c	$m \cdot \min^{-1}$	řezná rychlost
v_e	$m \cdot \min^{-1}$	rychlost řezného pohybu
v_f	$m \cdot \min^{-1}$	posuvová rychlost
WC		karbid wolframu
x_8		počet výměn nástrojů v 8 hodinové směně
α	°	sklon Taylorovi přímky
α_o	°	ortogonální úhel hřbetu
β_o	°	ortogonální úhel břitu
γ_o	°	ortogonální úhel čela
η	%	celková efektivnost zařízení
κ_r	°	úhel nastavení ostří
κ_r'	°	úhel nastavení vedlejšího ostří
λ_s	°	úhel sklonu hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Alternativní technologický postup - Pole tube
- Příloha 2 Přídavné nástroje pro alternativní technologický postup - Pole tube
- Příloha 3 Zvolené stroje [21, 22, 24, 26, 39]
- Příloha 4 Frekvence výměny nástrojů

Příloha 1: Alternativní technologický postup - Pole tube



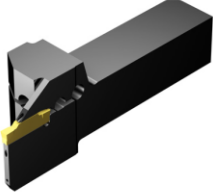


Alternativní technologický postup - Pole tube

Alternativní technologický postup - Pole tube

č. op	Vypracoval: Jakub Skládaný	Polotovár: $\varnothing 25 \times 5500$	Datum: 14. 2. 2016
	Popis práce		Nástroj
-	Upnout s vyložením 30 mm		
1	Zarovnat čelo		T1
2	Vrtat díru $\varnothing 9,6$ mm v ose součásti		T9
3	Soustružit díru $\varnothing 9,9$ mm		T7
4	Vystružit díru		T11
5	Válečkovat díru		T12
6	Hrubovat vnitřní konturu s přídávkem 0,3 mm na dokončení		T7
7	Dokončit vnitřní konturu		T7
8	Soustružit zápich na vnitřní ploše		T8
9	Vrtat excentrickou díru $\varnothing 1,6$ mm		T10
10	Hrubovat $\varnothing 21,2$ mm s přídávkem na dokončení 0,3 mm		T1
11	Dokončit vnější konturu		T5
12	Hrubovat vnější konturu konturu s přídávkem 0,2 mm na dokončení		T15
13	Soustružit zápich s přídávkem 0,2 mm na čelní ploše		T2
14	Dokončit vnější konturu		T4
-	Součást upnout do protivřetena za $\varnothing 21,2$ mm		-
15	Součást upíchnout		T6
16	Hrubovat vnější konturu bez zápichů, s přídávky na dokončení 0,3 mm		T1
17	Dokončit vnější konturu		T5
18	Soustružit 4x vnější zápich		T3
19	Srazit hranu na otvoru $\varnothing 10,06$ mm na $0,04 \times 45^\circ$		T16

Příloha 2 Přídavné nástroje pro alternativní technologický postup

Přídavné nástroje pro alternativní technologický postup (Pole tube) [sandvik, guhring]

Číslo nástroje	Tělo nože	VBD	Popis
T15			Stopkový nástroj pro obrábění vnějších ploch drobných součástí. VBD je vhodná pro dokončovací operace. (1125)
	SDACR 1010K 07-S	N123G2-0300-0004-TM	
T16			Záhlubník pro 45°sražení. Největší průměr 15 mm.
	Gühring 1326		

Příloha 3: Zvolené stroje [21, 22, 24, 26, 39]
Mazak Dual Turn 20

Specification		Bed Length -
Capacity	Maximum Swing	12.60 in / 320 mm
	Maximum Machining Diameter	10.000 in / 254 mm
	Maximum Bar Work Capacity	2.0 in / 51 mm
	Maximum Machining Length	5.910 in / 150 mm
Main Spindle	Chuck Size	8 in
	Maximum Speed	5000 rpm
	Motor Output (30 minute rating)	15.0 hp / 11 kw
Second Spindle	Chuck Size	8 in
	Maximum Speed	5000 rpm
	Motor Output (30 minute rating)	15.0 hp / 11 kw
Turret (Upper)	Number of Tools	24
Feed Axes	Travel (X Axis)	9.06 in / 230 mm
	Travel (X2 Axis)	9.06 in / 230 mm
	Travel (Z Axis)	19.69 in / 500 mm
	Travel (Z2 Axis)	19.69 in / 500 mm

Index SpeedLine C 100



Working area

Distance main and counter spindles	mm (inch)	515 (20.3)
------------------------------------	-----------	------------

Main spindle

Bar capacity	mm (inch)	42 (1.7)
Speed	rpm	7000
Power at 100%/40%	kW (hp)	25/29 (33.5/38.9)
Torque at 100%/40%	Nm (ft lbs)	49/65 (36.2/48)
Chuck diameter	mm (inch)	110 (4.3)
Spindle head ISO 702/1	size	A5
C axis resolution	degrees	0.001

Counter spindle

Bar capacity	mm (inch)	42 (1.7)
Speed	rpm	7000
Power at 100%/40%	kW (hp)	16.5/19 (22.1/25.5)
Torque at 100%/40%	Nm (ft lbs)	32/43 (23.6/31.7)
Chuck diameter	mm (inch)	110 (4.3)
Spindle head ISO 702/1	size	A5
C axis resolution	degrees	0.001

Counter spindle slide

Z

Slide travel	mm (inch)	505 (19.9)
Rapid traverse	m (inch) / min	60 (2360)

Turret

Number of stations		14	10
Tool system DIN 69880	mm (inch)	20 x 40 (0.8 x 1.6)	25 x 48 (1 x 1.9)
Tool drive speed	rpm	8000	8000
Power at 25%	kW (hp)	6.2 (8.3)	6.2 (8.3)
Torque at 25%	Nm (ft lbs)	11 (8.1)	11 (8.1)

Tool carrier 1 (top left)

X

Z

Y

Slide travel	mm (inch)	70 (2.8)	250 (9.9)	70 (2.8)
Rapid traverse	m (inch) / min	30 (1180)	60 (2360)	15 (590)

Tool carrier 2 (bottom)

X

Z

Y

Slide travel	mm (inch)	70 (2.8)	400 (15.8)	70 (2.8)
Rapid traverse	m (inch) / min	30 (1180)	60 (2360)	15 (590)

Tool carrier 3 (optional top right)

X

Slide travel	mm (inch)	125 (4.9)
Rapid traverse	m (inch) / min	30 (1180)

Workpiece discharging unit

Workpiece weight	kg (lbs)	2.5 (5.5)
------------------	----------	-----------

Weight and connecting power with maximum configuration

Weight	kg (lbs)	5500 (12125)
Connecting power		57 kW, 68 kVA, 97 A, 400 V, 50/60 Hz

Control		INDEX C200-4D (based on Siemens S840D sl)
----------------	--	-------------------------------------------

Tornos EvoDECO 16/32



TECHNICAL SPECIFICATIONS

	EvoDECO 16/10	EvoDECO 32
	10 linear axes + 2 C axes 4 independent tool systems	10 linear axes + 2 C axes 4 independent tool systems
Main spindle (Z11/S11/C11)		
Max. bar capacity	mm 16	32
Standard workpiece length with rotating guide bush	mm 180	260
Spindle speed of rotation	rpm 0 to 12 000	0 to 8 000
Spindle output	kW 9,8/12	9,5 (12,5)
Max. constant torque	Nm 12,1/15,8	19,6 (28,8)
Spindle stoppage time (8,000 rpm to 0)	sec 0,7	0,8
Mild steel drilling capacity	mm 10	14
Mild steel tapping capacity	M10	M12
Guide bush holder (X11/Y11/S21) (X21/Y21/S12)		
Number of tool positions on guide bush	10/2 x 5	10 (5 + 5)
Cross section of turning tools	12 x 12/12,7 x 12,7	16 x 16
Positions for rotating tools	6/2 x 3	Max 6 (4 white S21 + 2 white S12)
Rotating tools speed of rotation	rpm 100 to 8 000	100 to 8 000
Output of rotating tools	kW 0,55/1,1	1,5 - 2,2
Steel drilling/rotating tool capacity	mm 8	8
Rotating tool/steel tapping capacity	M6	M6 - M8
End attachment (X31/Y31/S31)		
Number of tool positions	4	4
Positions for rotating tools	3	3
Speed of rotation of rotating tools	rpm 100 to 8 000	100 to 6 000
Output of rotating tools	kW 0,55/1,1	1,5 - 2,2
Steel drilling/rotating tool capacity	mm 8	8
Rotating tool/steel tapping capacity	M6	M6
Counter spindle (Z41/Y41/S41/C41)		
Max. bar capacity	mm 16	32
Insertion length of workpiece into spindle	mm 150	150
Spindle speed of rotation	rpm 0 to 12 000	0 to 8 000
Spindle output	kW 9,8/12	9,5 (17,8)
Max. constant torque	Nm 12,1/15,8	15,1 (19,6)
Stoppage time (8,000 rpm to 0)	sec 0,7	0,8
Mild steel drilling capacity	mm 10	14
Mild steel tapping capacity	M10	M12
Secondary operation (X41/S42)		
Number of tool positions	6	7
Positions for rotating tools	6	3
Rotating tools speed of rotation	rpm 100 to 8 000	100 to 8 000
Output of rotating tools	kW 1,5/2,2	1,5 - 2,2
Steel drilling/rotating tool capacity	mm 8	8
Rotating tool/steel tapping capacity	M6	M6
Max. total number of tools	27	27
Distribution of tool operations/secondary operations	19/8	19/8

Index MS 16/40



		MS16	MS40
Working spindles		6	6
Max. bar diameter	mm	16	40 (1.6)
Speed *	rpm	10000	7000
Power (at 100%/25%)	kW	8,7 / 15	13 / 24 (17.4 / 32.2)
Torque (at 100%/25%)	Nm	10 / 18	31 / 57 (22.9 / 42.1)
Integr. bar feed in position 6 or 1 / stroke	mm	70	
Tool carrier / cross slide max.		5	12
Slide travel X	mm	45	73 (2.9)
Slide travel Z	mm	70	120 (4.7)
Tool carrier / cross slide max.		5	2
Slide travel X	mm	45	
Tool carrier / drilling slide max.		5	40 (1.6)
Slide travel Z	mm	70	8000
Tool carrier / cutoff slide		1	6000
Slide travel X	mm	14	10 / 14 (13.4 / 18.8)
Tool carrier / cutoff and back-boring slide		1	16 / 22 (11.8 / 16.2)
Slide travel X	mm	94	144
Slide travel Z	mm	70	150 (5.9)
Number of tools for rear end machining or		2 3, of which 2 are driv	6
Synchronous spindle		1	1 / 2
Max. clamping diameter	mm	16	82 (3.2)
Speed *	rpm	10000	3
Power (at 100%/40%)	kW	9,2 / 12	2
Torque (at 100%/40%)	Nm	11 / 14	
Slide travel Z	mm	140	
Dimensions, weight and connection values (for maximum configuration level, without bar guide or loading magazine)			approx. 7100 (15653)
Weight	kg	approx. 5000	3329 (131.1)
Length	mm	2599	2032 (80)
Width	mm	1300	2854 (112.4)
Height	mm	3044	65 kW, 78 kVA, 110 A
Power consumption **		approx. 49 kW	400 V, 50/60 Hz

DMG GMC 35 ISM



		GMC 35 ISM
Working area		
Max. bar passage	mm	35
Max. bar feed / component length	mm	140
Number of main spindles		6
Spindle circle diameter	mm	280
Drum indexing time	mm	1.0
Main spindle		
One drive for all six main spindles with C-axis (0.001°)	rpm	-
Six integrated spindle motors (ISM) with C-axis (0.001°)	rpm	6,000
Drive power / torque (40 % DC)	kW/Nm	18.6 / 42.7
Front-working tool spindle* and pick-up spindle		
Separate drive for each spindle position with C-axis (0.001°)	rpm	6,000
Drive power / torque (40 % DC)	kW/Nm	10.0 / 47.8
Front machining: front-working tool spindle positions 1–5		
Front slide travel W1–W5 (standard)	mm	180 (220)*
Front slide travel W1–W5 (high performance)*	mm	180
Acceleration W1–W5 (standard / high performance)	m/s ²	10 / 7
Rapid traverse speed W1–W5 (standard / high performance)	m/min	30 / 21
Thrust W1–W5 (standard / high performance)	kN	3.7 / 8.5
U-axis* travel positions 4 and 5 (positions 1–5 from GMC 35 ISM)	mm	23
Rear-sided machining: pick-up spindle, position 6		
Front slide travel W6	mm	220
Acceleration W6	m/s ²	10
Rapid traverse speed W6	m/min	30
Thrust W6	kN	3.7
Driven* tools		
Number of driven tool axes (multiple tools can be used)	Number/rpm	6 / 6,000
Drive power / torque (40 % DC)	kW/Nm	3.8 / 7.0
Radial machining: cross slides, positions 1–5		
Axial travel X1–X5	mm	80
Axial travel Z1–Z5	mm	100
Acceleration X1–X5 / Z1–Z5	m/s ²	10
Rapid traverse speed X1–X5 / Z1–Z5	m/min	30
Thrust X1–X5 / Z1–Z5	kN	3.1 / 3.0
Y-axes* travel (only possible for positions 3–5)	mm	35
Rapid traverse speed Y3–Y5	m/min	15
Thrust Y3–Y5	kN	1.7
Radial machining: two lateral slides, position 6		
X6 and U6 travel	mm	120
X6 and U6 acceleration	m/s ²	10
X6 and U6 rapid traverse speed	m/min	30
X6 and U6 thrust	kN	1.2
Z6* travel	mm	4

Hydromat HB 32/16



Number of stations		16
Number of machining units	Horizontal max.	16
	Vertical max.	8
	Total units	24
Rotary indexing table	Indexing	16-piece
	Indexing time	0.7 seconds
Collet chucks	Number	16
	Type	B 32
	Max. clamping Ø	32 mm
Workpiece	Max. workpiece length	150 mm
Machine weight inc. bar magazine (4 m)		Approx. 6,500 kg

Machine dimensions

Length 9.8 m Width 4.0 m Height 2.9 m

Příloha 4: Frekvence výměny nástrojů

Frekvence výměny nástrojů pro MS16/40 a GMC 35 ISM

Core (MS16)						Pole tube (MS40)					
Číslo vřetene	Nástroje	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]	Číslo vřetene	Nástroje	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]
1	T1	1,94	463	38,8	11,59	1	T1	3,32	271	47,5	10,11
	T9	0,88	1023	85,8	5,25		T9	3,01	298	52,2	9,20
2	T7	1,55	580	48,6	9,25	2	T2	2,31	390	68,3	7,03
	T10	2,47	363	30,4	14,79		T7	6,67	135	23,6	20,30
3	T1	3,13	288	24,1	18,64	3	T4	3,60	249	43,6	11,01
	T5	2,96	304	25,5	17,66		T11	0,53	1708	299,2	1,60
4	T2	1,44	625	52,4	8,59	4	(T12)	2,42	10 ⁴	1752	0,27
	T12	1,02	885	74,2	6,07		T3	0,28	3214	563,0	0,85
	T13	1,05	860	72,1	6,24		T5	9,51	94	16,5	29,15
5	T6	1,99	453	38,0	11,85	5	T5	2,28	393	137,7	3,49
6	T3	1,60	562	47,1	9,55		T6	2,08	433	151,7	3,16
	T4	0,46	1967	164,9	2,73		T7	4,82	186	65,2	7,37
	T8	2,21	406	34,0	13,22		T8	0,37	2443	855,9	0,56
	T11	0,31	2866	240,3	1,87		T10	0,56	1606	562,6	0,85
Pole tube (GMC 35 ISM)						6	T5	2,28	393	137,7	3,49
Číslo vřetene	Nástroje	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]		T6	2,08	433	151,7	3,16
1	T1	3,32	271	34,6	13,86		T7	4,82	186	65,2	7,37
	T9	3,01	298	38,1	12,60		T8	0,37	2443	855,9	0,56
2	T2	2,31	390	49,9	9,63		T10	0,56	1606	562,6	0,85
	T7	6,67	135	17,3	27,81						
3	T4	3,60	249	31,8	15,08						
	T11	0,53	1708	218,3	2,20						
4	(T12)	2,42	10 ⁴	1278	0,38						
	T5	4,00	225	28,8	16,69						
5	T3	0,28	3214	410,9	1,17						
	T5	5,23	171	21,9	21,96						
6	T6	2,08	433	55,4	8,67						
1. proti-vřeteno	T5	2,28	393	100,5	4,78						
	T7	4,82	186	47,6	10,09						
	T8	0,37	2443	624,6	0,77						
	T10	0,56	1606	410,6	1,17						
2. proti-vřeteno	T5	2,28	393	100,5	4,78						
	T7	4,82	186	47,6	10,09						
	T8	0,37	2443	624,6	0,77						
	T10	0,56	1606	410,6	1,17						

Frekvence výměny nástrojů pro HB 32/16 - Core

Core (HB 32/16)					
Pozice	Nástroje	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]
1	T12	1,29	696	33,9	14,42
2	2xT1	1,83	491	39,8	20,44
3	2xT2	0,45	1990	96,8	5,04
4	T9	1,40	642	49,8	15,63
5	T10	1,24	727	35,4	13,81
6	T10	1,24	727	35,4	13,81
7	T5	1,52	592	27,7	16,95
8	T5	1,44	625	29,6	16,06
9	T12	1,02	885	19,7	11,34
10	T13	0,84	1075	24,5	9,34
11	T6	1,99	453	24,5	22,16
12	Otočení součásti				
13	2xT1	0,76	1184	96,0	8,48
14	2xT8	1,52	592	48,0	16,95
15	2xT4	0,23	3934	321,9	2,55
16	T11	0,31	2866	139,5	3,50

Frekvence výměny nástrojů pro HB 32/16 - Pole tube

Pole tube (HB 32/16)					
Pozice	Nástroje	t_{AS} [s]	p_v [ks]	t_v [min]	x_8 [-]
1	T14	2,40	374	34,1	13,20
2	T9	3,01	298	27,2	16,57
3	T7	3,33	270	24,6	18,28
4	T7	3,33	270	24,6	18,28
5	T13	1,05	854	77,8	5,78
6	T12	3,64	10000	911,5	0,49
7	2xT1	2,34	384	35,0	12,86
8	2xT2	1,15	780	71,1	6,33
9	2xT4	4,77	188	17,1	26,26
10	2xT3	0,56	1607	146,5	3,07
11	Otočení součásti				
12	T7	2,29	392	35,7	12,59
13	T7	2,53	356	32,5	13,87
14	T8	0,37	2443	222,7	2,02
15	2xT5	1,50	599	54,6	8,24
16	T10	0,56	1606	146,4	3,07

