ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

MARTIN
SMETANA

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Smetana** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **457567**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Multifunkční obráběcí centra a jejich technologické možnosti

Název bakalářské práce anglicky:

Multifunction machining centers and their technological possibilities

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor zadané problematiky
2. Technologické možnosti a oblasti využití multifunkčních center
3. Dosahované kvalitativní parametry obráběcích center

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Vítězslav Rázek, CSc., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Vítězslav Rázek, CSc.	Ing. Libor Beránek, Ph.D.	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24. 4. 2018 _____

Datum převzetí zadání Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval a napsal samostatně, za přispění odborných konzultací a uvedené literatury.

V Praze dne 12. července 2018

……..

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou multifunkčních obráběcích center. V první části je stručně popsána historie a vývoj až do současnosti. Následuje rozdělení do skupin dle druhů obráběcích center a jejich popis. Poté se věnuje každému druhu zvlášť a více rozvádí jejich technologické možnosti a oblasti využití, nejvíce pak stroje multifunkční. V poslední části je popsána jejich přesnost.

Klíčová slova

Soustružení, Frézovaní, Multifunkční, Obráběcí centrum

Abstract

This bachelor thesis deals with problems of multifunctional machining centers. The first part briefly describes history and development from past to the present. The second part is separating machining centers into different groups and it concentrates on their description. Afterwards, every different group is described separetaly and describes its technological possibilities and areas of utilization, especially multifunctional machines. The last part describes their accuracy.

Key words

Turning, Milling, Multifunctional, Machining center

Multifunkční obráběcí centra a jejich technologické možnosti

Obsah

1 Úvod 8

2 Rozbor zadané problematiky 9

2.1 Historie 9

2.2 Současnost 11

2.3 Rozdělení obráběcích center 12

2.4 Obráběcí centra pro rotační součásti 12

2.5 Obráběcí centra pro nerotační součásti 13

2.6 Multifunkční obráběcí centra 14

3 Technologické možnosti a oblasti využití 15

3.1 Obráběcí centra pro rotační součásti 15

3.2 Ukázka obráběcích center pro rotační součásti 18

3.3 Obráběcí centra pro nerotační součásti 19

3.4 Nabídka obráběcích center pro nerotační součásti 22

3.5 Multifunkční obráběcí centra 25

3.5.1 Mazak Integrex 26

3.5.2 Kovosvit Multicut 27

3.5.3 Okuma Multus 28

3.5.4 DMG CTX TC 29

4 Dosahované kvalitativní parametry 31

5 Závěr 33

6 Bibliografie 34

1 Úvod

Za celou historii třískového obrábění, které je ve strojírenství velmi důležitou technologií, se výrobci snaží zdokonalovat používané stroje. Tento trend setrvává již od prvních vyvrtávaček až po dnešní moderní obráběcí centra. Poptávka trhu po obrábění na CNC strojích neustále roste a firmy zabývající se obráběním mají stále plné výrobní kapacity. Velkým společnostem automobilového nebo leteckého průmyslu jsou od výrobců dodávány stále lepší technologie a stroje. Výrobci obráběcích strojů jejich produkty uzpůsobují přímo pro potřeby průmyslu, a tak dnes můžeme vidět snahu o co největší „zautomatizování“ většiny výrobních linek.

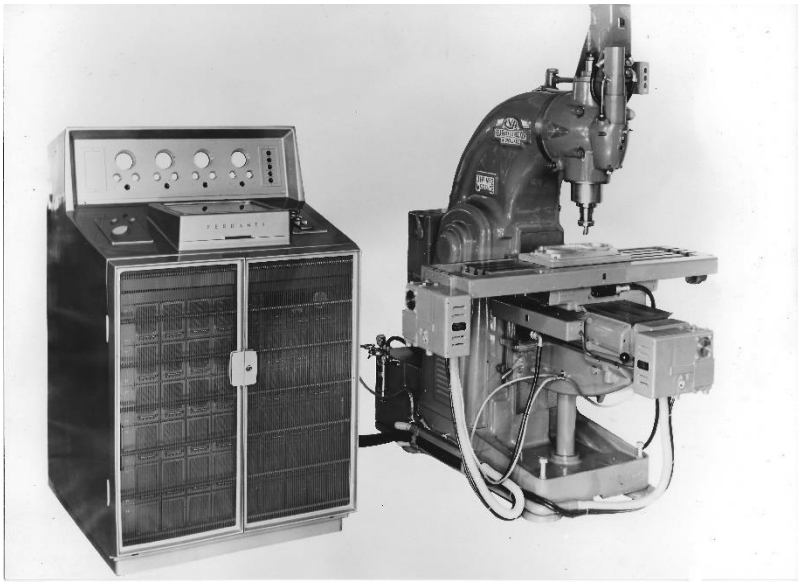
Dnes máme velmi širokou konkurenci výrobců a jejich strojů. Situace je velmi podobná automobilovému průmyslu, což znamená, že i obráběcí stroje můžeme rozdělit do tříd a ty vzájemně porovnávat mezi sebou. Velcí výrobci se snaží pokrýt co největší možnou poptávku trhu a v současné době mezi významné společnosti tohoto oboru patří německá DMG Mori, japonská Mazak, česká Kovosvit MAS a poslední japonská Okuma.

V této práci postupně podrobněji popíšu problematiku obráběcích center a jejich druhy, kinematické možnosti, technologické možnosti a oblasti využití. Od každého druhu obráběcího centra uvedu nabídku trhu od výše zmiňovaných společností. Multifunkční stroje, které každý výrobce má jako svůj nejlepší produkt popíši od každého samostatně více podrobněji.

2 Rozbor zadané problematiky

2.1 Historie

Historie počátků třískového obrábění sahají do průmyslové revoluce (18. a 19. století). Zdroje se v tomto časovém údaji liší a některé uvádějí, že vznik byl již před průmyslovou revolucí. V tu dobu byli ale pouze řemeslníci, kteří princip obrábění využívali. Vývoj samostatného oboru a výroba sofistikovanějších strojů patří až do průmyslové revoluce. První prvky automatizace se začaly objevovat počátkem 20. století. Myšlenka o číslicovém řízení přišla ze Spojených států a v 50. letech začaly být vyvíjeny první NC stroje.



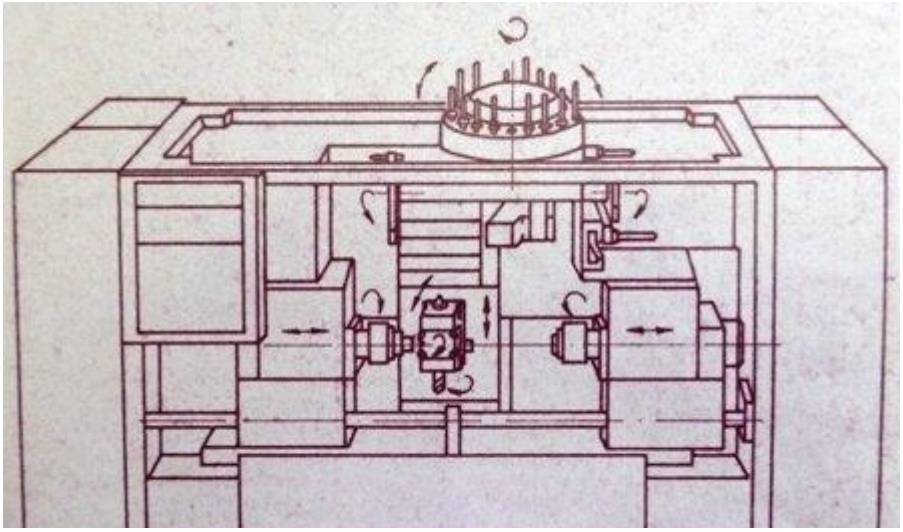
Obrázek 1 První NC stroj vyrobený v Evropě (1956) [3]

První obráběcí centrum pro nerotační součásti bylo vyvinuto ve Spojených státech na počátku 60. let firmou Kearney & Trecker a ve stejné době německá společnost Siemens uváděla na trh své první číslicové řízení. Během 60. let se na automatizaci a řízení strojů začala zaměřovat firma Heidenhein, která se později v tomto oboru stala velmi významnou. První obráběcí centrum pro rotační součásti s rotačními nástroji, např. pro frézování, uvedla v 70. letech společnost Herbert. V této době se začaly objevovat první výrobní linky s integrovanými NC stroji. Významný krok učinila americká firma Westinghouse a to tak, že NC systémy začínala vybavovat pamětí a možností editace programu odkud k CNC již nechyběl velký krok. Ten provedla

společnost Fanuc, když v roce 1972 vyrobila CNC obráběcí centrum Fanuc Robodrill, využívající technologii počítačového řízení.

Významný rozvoj počítačových technologií v 80. letech se citelně promítl i do technologie CNC obrábění. Veliký vzestup přišel zhruba v následujících patnácti letech. S lepší možností řízení se do systémů přidaly možnosti automatické výměny obroku a nástroje nebo různé senzory pro snímaní pohybu. To vedlo k tomu, že obráběcí centra se začala mnohem více prosazovat do výroby. V roce 1996 učinila pokrok německá společnost Siemens, když uvedla na trh první CNC systém s integrovanými bezpečnostními funkcemi (Sinumerik). [1][2]

Abychom se nepohybovali pouze v zahraničí, je dobré zmínit také český průmysl, který šel s dobou, a i u nás probíhal vývoj v oblasti třískového obrábění a zlepšování jeho produktivity. V roce 1973 byl zadán státní úkol pro VÚOSO (Výzkumný ústav obráběcích strojů a obrábění), ZPS Gottwaldov, Kovosvit MAS a TOS Trenčín do konce tohoto roku navrhnout stroj třetího vývojového stupně (automatická výměna obrobků a nástrojů, integrace strojů do výrobních soustav). Od původního plánu se odloučil v roce 1977 Ladislav Borkovec z Kovosvitu MAS, který dostal nápad více technologických operací integrovat do jediného stroje. I přesto, že neměl velikou podporu od ostatních, po večerech pracoval a vyrobil dřevěný model stroje pro naplnění svého nápadu. Dosud vzniklý koncept tří strojů na výrobu jedné součásti dokázal sloučit do jediného stroje – MCSY (1983) – a ten byl tehdy inspirací pro zahraniční firmy. Ačkoliv tímto předběhl dobu, nedokázal výrazně prosadit svůj nápad kvůli nedostatečným možnostem řízení.



Obrázek 2 Schéma kinematiky multifunkčního stroje MCSY [4]

Kovosvitu v Sezimově Ústí proto náleží prvenství v oblasti multifunkčních obráběcích strojů. [4]

2.2 Současnost

František Borkovec, jehož ideou bylo sloučit co nejvíce operací do jediného stroje, položil základ obráběcím centrům dnešní doby. Největšími výhodami jeho myšlenky jsou obrábění na menší počet upnutí (zvyšuje přesnost) a možnosti automatizace (zlepšuje produktivitu). Dnes máme díky rozvíjením technologií ve všech oborech mnohem větší možnosti a ta největší je v možnosti řízení. Dnešní centra dokáží pracovat současně v několika osách, obrábět více součástí v jeden moment a mají různé bezpečností prvky, ať už se jedná o uzavřený pracovní prostor nebo ochranu proti kolizi. Napsat program řádek po řádku pro takový stroj, by bylo velice složité oproti řízení dvou nebo tří os, proto se hojně využívají CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) systémy usnadňující programování strojů. Tyto sofistikovanější stroje jsou využívány převážně většími společnostmi, zejména díky jejich možnosti automatizace, což vede ke snižování nákladů při velkosériové výrobě. Pro menší podnikatele jsou postačující „jen“ CNC soustruhy nebo frézky a následné rozdělení operací na více strojů. Pořizovací cena obráběcího centra je pro ně často příliš vysoká. U těch nejmenších podnikatelů jsou běžně v praxi k nalezení starší stroje kdysi neřízené číslicově s přidanými nesériovými díly, které stroj numericky řízeným dělají. Nejjednoduššími případy jsou takto předělané frézky nebo soustruhy. K jejímu naprogramování není potřeba vyspělejších systémů, ale stačí napsat program v ISO kódu. Jedná se hlavně o menší podnikatele nebo opravárenství.

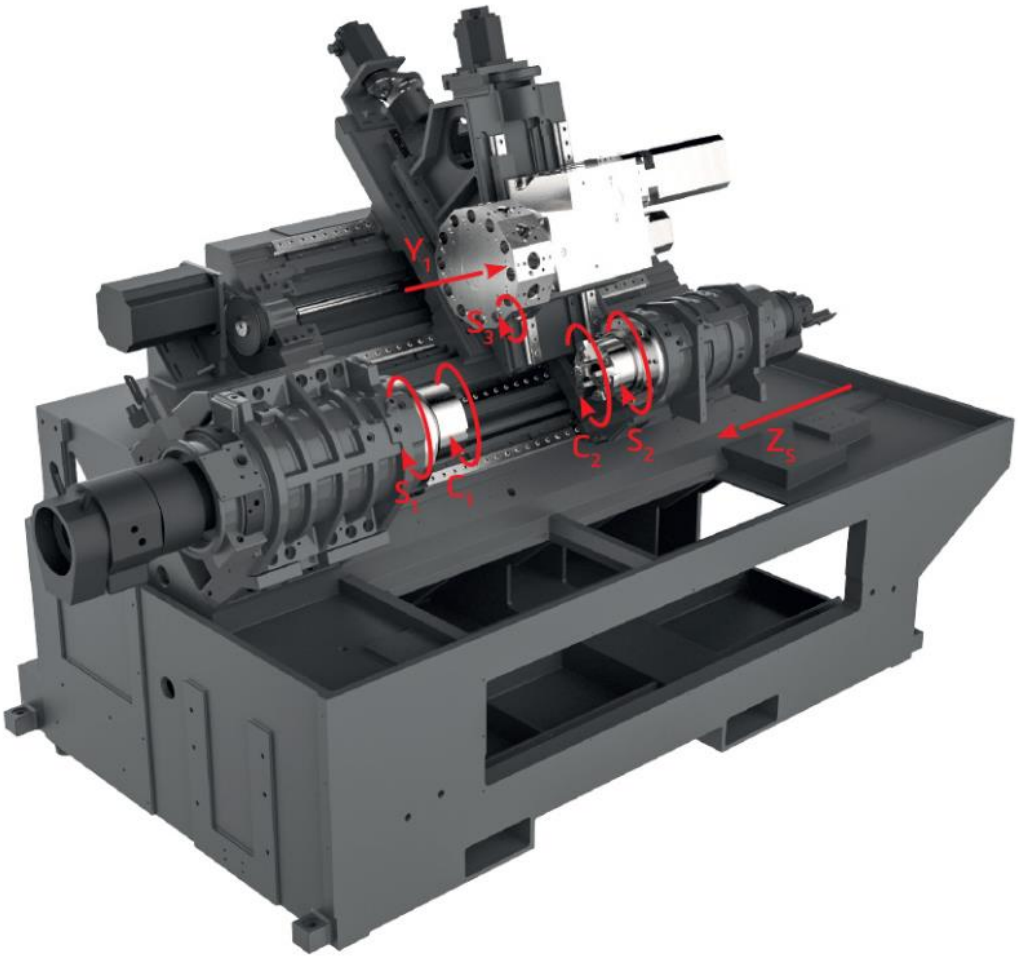
Obrázek 3 Multifunkční obráběcí centrum MTC 500i [10]

2.3 Rozdělení obráběcích center

První skupinou jsou obráběcí centra pro obrábění rotačních součástí, někdy méně správně nazývána soustružnická obráběcí centra. Druhou skupinou jsou stroje pro výrobu nerotačních součástí, někdy méně správně nazývána frézovací obráběcí centra. Poslední skupinou jsou multifunkční obráběcí centra, která tyto dvě základní technologie třískového obrábění – soustružení a frézování – slučují pro práci na jediném stroji. Oproti strojům pro rotační a nerotační součásti je hlavní rozdíl v přenášení výkonu na vřetena, kde je trendem výkony pro soustružení i frézování vůči sobě přibližovat. [4]

2.4 Obráběcí centra pro rotační součásti

Dále je můžeme podle osy vřetena rozdělit na svislé nebo vodorovné. Svislé se používají převážně pro obrobky větších rozměrů, tzv. karusel. Obráběcí centra pro rotační součásti mají základ v podobě soustruhu. Tyto stroje mnohdy podporují i

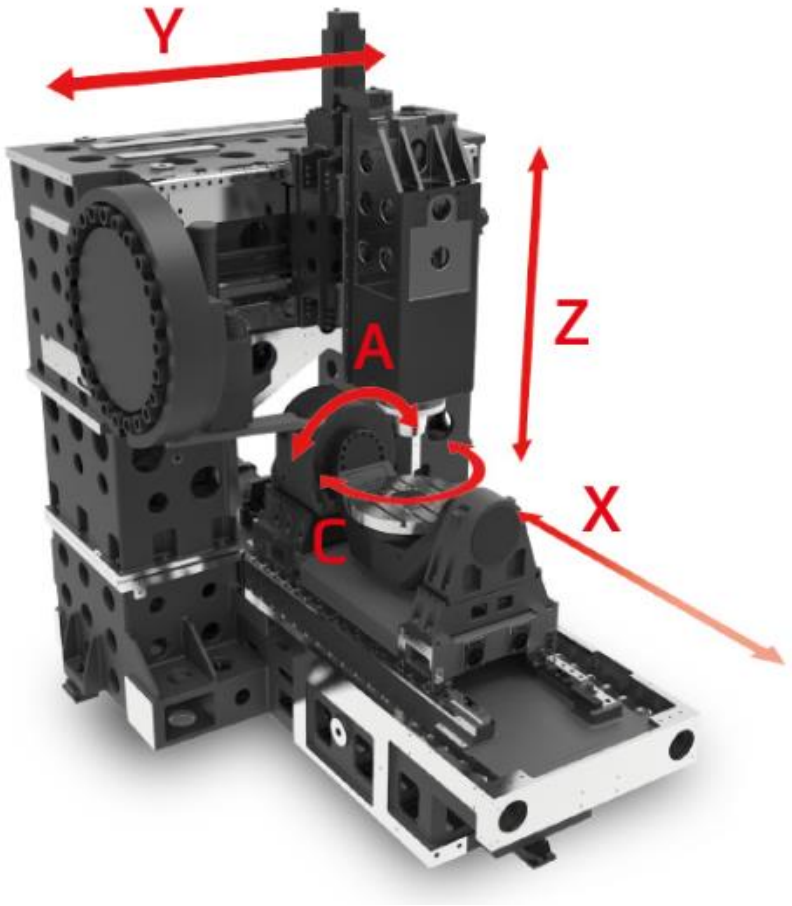


Obrázek 4 Kinematické schéma stroje SP 280 SY pro rotační součásti [17]

možnost frézování, avšak ne s takovým výkonem jako disponuje hlavní vřeteno. Upínání nástrojů bývá zpravidla pomocí revolverové hlavy, do které můžeme upnout pomocí přípravků různé druhy nástrojů. Pokud stroj umožňuje i frézovat, pak je v jeho nástrojové hlavě i další vřeteno. Většina výrobců má v nabídce i doplňkovou výbavu jako jsou například hydraulické lunety pro dlouhé obrobky, řízený koník nebo protivřeteno kterým získáme další osu navíc.

2.5 Obráběcí centra pro nerotační součásti

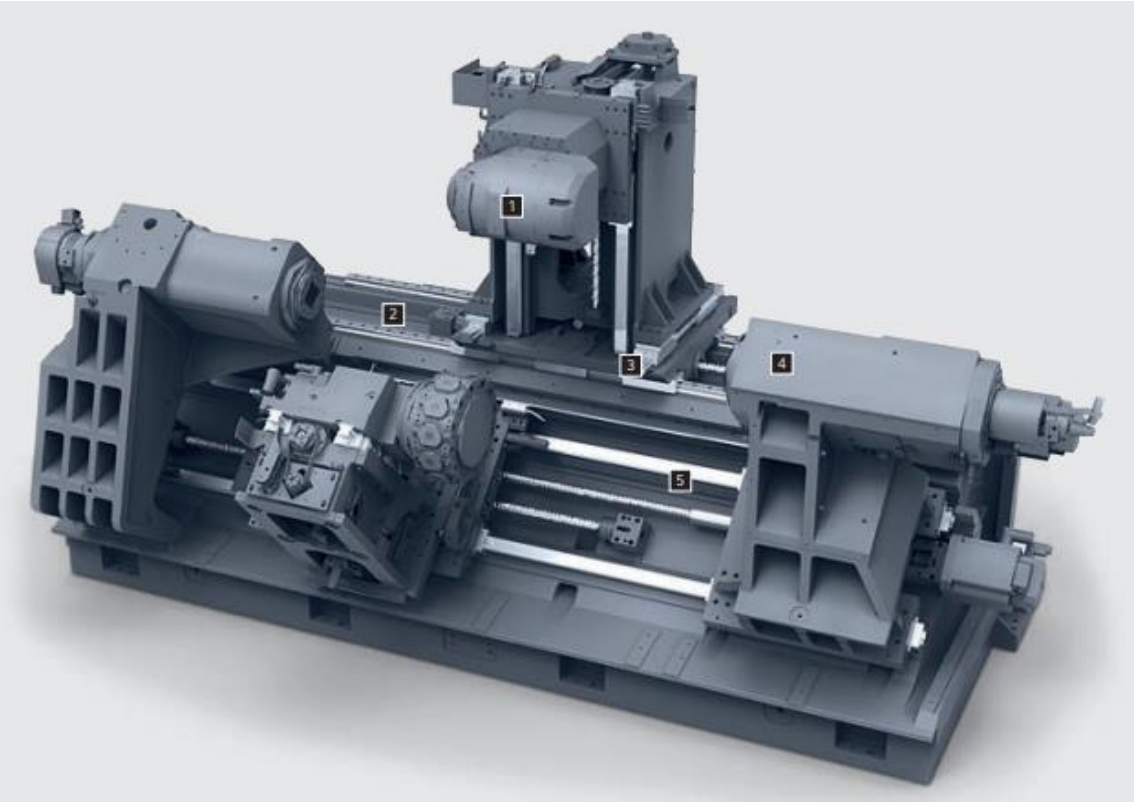
Mohou být buď vertikální, anebo horizontální. Tato centra jsou v nabídkách výrobců jako tříosé, stejně jako běžné frézky, nebo s vyšším počtem os. Vyššího počtu os můžeme snadno docílit buď naklápěcím a otočným stolem nebo otočnou hlavou. Tato centra jsou již vhodná pro výrobu tvarově náročných součástek. Tvarově náročným dílem se myslí například turbína, kterou řízením tří os neobrobíme.



Obrázek 5 Kinematika stroje obrábějícího v pěti osách [5]

2.6 Multifunkční obráběcí centra

Odlišné od předchozích dvou druhů obráběcích center, jsou centra multifunkční. Tyto stroje vždy pracují s větším počtem os. Dvě nejrozšířenější technologie obrábění (soustružení a frézování) jsou základem a disponují přibližně stejným výkonem, což o centrech pro rotační a nerotační součásti říci nelze. Dalšími technologiemi, kterými může stroj disponovat, se liší dle stroje, nicméně mezi nejrozšířenější technologie patří: broušení, odvalování, obrážení a další. Jejich hlavními výhodami jsou obrovská schopnost automatizace, vyšší přesnost díky menšímu počtu upnutí, které zároveň vede k snižování výrobních časů, protože nemusíme obrobky přesouvat mezi různými pracovišti. Nevýhodou je samozřejmě cena.



Obrázek 6 Multifunkční obráběcí centrum od společnosti DMG MORI [19]

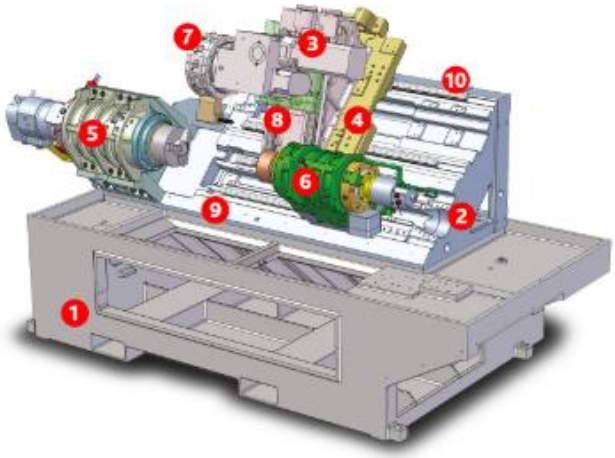
3 Technologické možnosti a oblasti využití

3.1 Obráběcí centra pro rotační součásti

Obráběcí centra pro rotační součásti jsou nejvíce vhodná, jak již název napovídá pro výrobky z válcových polotovarů. Nejjednodušší stroje jsou číslicově řízeny pouze ve dvou osách, což znamená, že se pohybuje stejně jako konvenční soustruh. Navíc, oproti konvenčním, stroje umožňují automatickou výměnu obrobku a nástroje. Jsou vhodné pro velké série jednoduchých součástí (například čepy). Nelze ovšem říci, že pro kusovou výrobu není vhodný. Jedním z hlavních kritérií určujících vhodnost stroje pro kusovou výrobu je zejména jeho pořizovací cena a je vhodné si uvědomit, zda by nám stačilo jednoduché soustružnické centrum a k němu například vrtačka nebo centrum vybavit možností vrtat rovnou (vřeteno v revolverové hlavě). Až poté je možné se rozhodnout jakou cestou pokračovat.

Obrázek 7 CNC soustruh Mazak Quick Turn Primos 150 SG [20]

Jednou z modifikací stroje je možnost řízení polohy hlavního vřetena. Samostatné řízení polohy hlavního vřetena nemá využití, a proto se objevují zároveň s poháněnými nástroji upnutými v revolverové hlavě. To se používá tehdy, pokud budeme do součásti například vrtat nebo dělat závity nerovnoběžně s osou obrobku. Takhle můžeme obrobit například kostku, kde srazíme čelo, poté ofrézujeme čtyři strany, a nakonec se blízko ke vřetenu upíchne. Konkrétně obrábění hrací kostky jsme mohli vidět v rámci předmětu Technologie II.

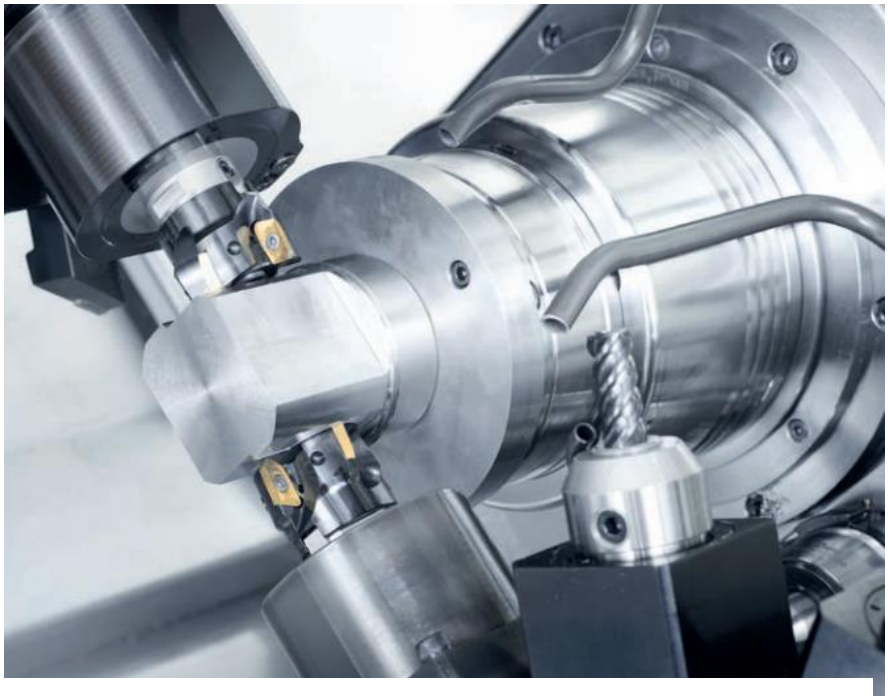


Obrázek 8 Schéma obráběcího centra pro rotační součásti [17]

Další možnou úpravou je nahradit koník protivřetenem, které má zpravidla menší nebo stejný výkon jako hlavní vřeteno. Otáčky na něm jsou u většiny strojů stejné. Využíváno je pro přeupnutí obrobku na jeho druhý konec čímž snižujeme výrobní čas, protože obrobek nemusí být otočen operátorem (obsluhou) stroje ani přesunut na jiné pracoviště. K obrábění v protivřetenu musíme mít uzpůsobeny nástroje v revolverové hlavě.

Jednou z nejlepších modifikací centra pro rotační součásti je taková, která obsahuje protivřeteno, hydraulické lunety, dvě revolverové hlavy, u kterých dokážeme řídit nástroje (pro vrtání apod.) i v ose rovnoběžné s osou obrábění. Takový stroj je vhodný pro velmi dlouhé hřídele, protože dokáže obrábět pomocí dvou nástrojů zároveň. Možným příkladem jsou dlouhé hřídele, které obrábí na dvou místech nezávisle na sobě. Bude ovšem obrábět na stejných průměrech, jelikož na jiném průměru bude při

stejných otáčkách jiná řezná rychlost. Další příklad je pro součástku, která bude obrobena z jedné strany v hlavním vřeteni a poté přeupnuta do protivřetena. Následně se v hlavním vřeteni může začít obrábět ten stejný kus a v protivřeteni se obrábí druhý konec výrobku. Tím se opět snižují výrobní časy a také tím dokážeme odvalováním vyrábět drážkování nebo ozubení. Na Obrázku 9 vidíme dva frézovací nástroje, které obrábějí proti sobě.



Obrázek 9 Obrábění pomocí dvou vřeten současně [19]

Automatická výměna obrobků může probíhat více způsoby. Pro soustružení je běžné, že skrz vřeteno jde tyč a po obrobení se vyrobený kus upíchne, ten spadne na dno pracovního prostoru odkud ho vyveze dopravník. Na celé tyče může mít stroj buď podavač externí, nebo integrovaný. Pokud máme polotovary například odlité slouží nám k jejich výměně mechatronické pomůcky jako jsou roboty apod. Jedním z těchto případů je stroj na obrázku 7, kdy „shora“ vřetena sjede robotická ruka s dvěma držáky na polotovary. V jednom má polotovar připravený k obrobení a druhý držák je prázdný. Do volného si upne hotový kus a polotovar podá sklíčidlu na vřeteni, které si jej upne. Následně opustí pracovní prostor a v „zákulisí“ stroje je automatizovaná linka, která se stará o ostatní materiálový tok. Tato linka samozřejmě není součástí stroje, ale dodávána externě.

3.2 Ukázka obráběcích center pro rotační součásti

Ve zbytku své práci se budu věnovat zejména výrobcům Kovosvit, Mazak, Okuma a DMG. Každá z těchto společností nabízí sobě velmi podobné stroje různých tříd a specifikací, obdobně jako je tomu u automobilek s jejich vozy.

Na obrázku 4 vidíme kinematické schéma stroje SP 280 SY, který je výrobkem Kovosvitu MAS ze Sezimova ústí. Osy S_x značí otáčky vřeten, C_x je natočení kolem osy Z_s, čímž jsme schopni řídit jejich natočení a Y je posuv nástroje v nástrojové hlavě. Na obrázku 11 je stroj stejné modelové řady, ovšem již tak, jak jej můžeme vidět při práci. Největší obrobitelný průměr je 280 mm, což je uvedeno i v názvu. Maximální délka soustružení je 450 mm. Hlavní vřeteno disponuje výkonem 27 kW a otáčkami 4700 1/min. Protivřeteno má výkon 9 kW a otáčky až 6000 1/min. Využití tohoto stroje nalezneme v mnoha oborech průmyslu jako je automobilový, elektrotechnický, textilní a další. [17]

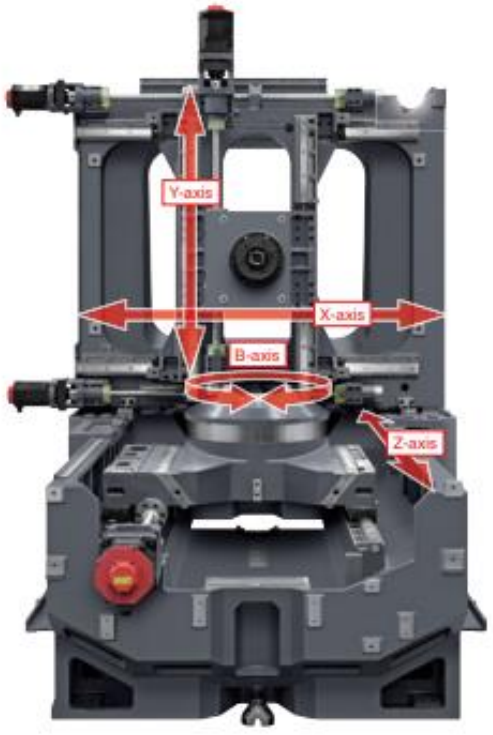
Obrázek 10 Soustružnické centrum SP 280, Kovosvit MAS [17]

Obrázek 11 Ukázka výrobku na stroji SP 280 SY [17]

Na obrázku 7 je CNC soustružnické centrum QT Primos od japonské společnosti Mazak. Tento soustruh obrábí pouze ve dvou osách, ovšem je přizpůsoben k tomu, aby jeho produkce byla co nejrychlejší. Je vybaven automatickou výměnou nástrojů a obrobků, což vede k tomu, že stroj je bezobslužný. Maximální otáčky vřetena jsou 4000 1/min a výkon 11 kW. Při těchto parametrech je dle výrobce jedním z nejproduktivnějších strojů ve své kategorii. [7]

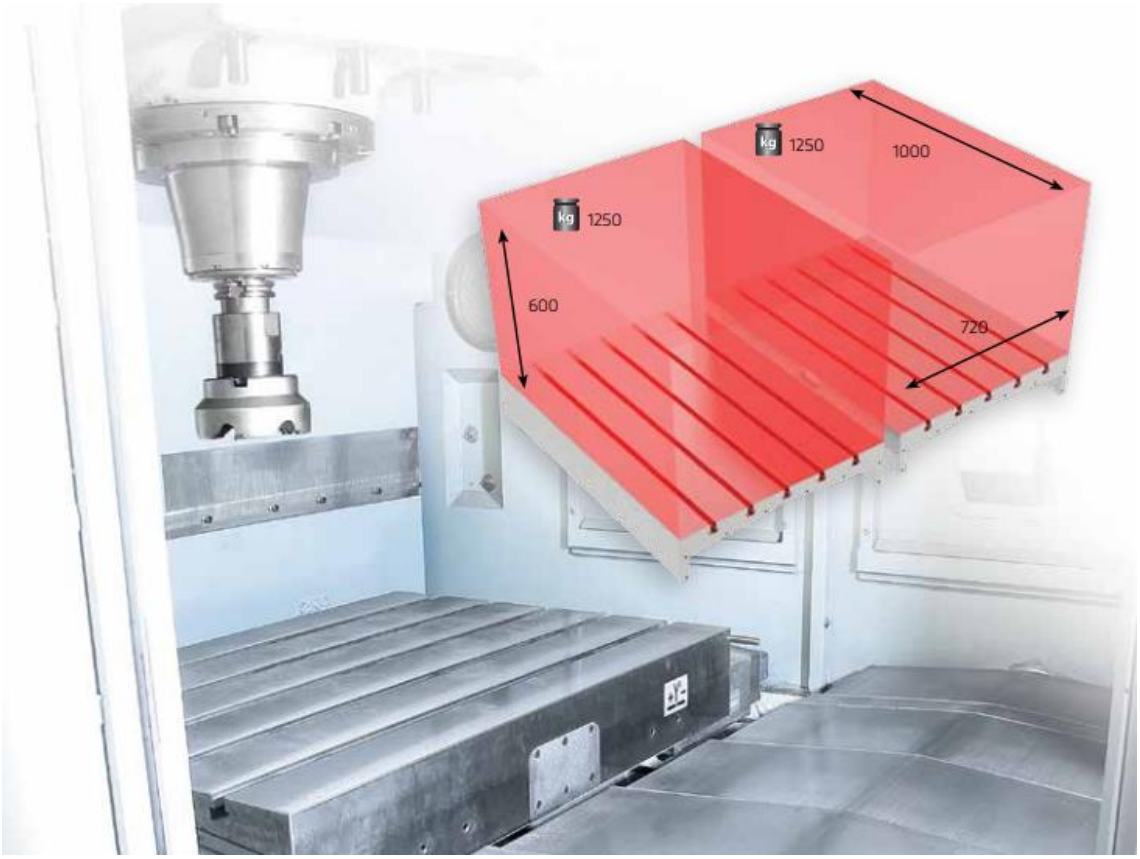
3.3 Obráběcí centra pro nerotační součásti

Nejjednoduššími centry tohoto typu jsou stroje velmi podobné konvenční frézce navíc s numericky řízenými osami a automatickou výměnou nástrojů. Složitější stroje umožňující obrábění z pěti stran mají přidány osy v podobě naklápěcího a otočného stolu, eventuálně hlavy. Můžeme je rozdělit podle orientace osy vřetena, a to buď na svislé nebo vodorovné. Stroje se svislou osou vřetena jsou rozšířenější, s vodorovnou jsou vhodné spíše pro obrobky, které je nutné obrobit ze stran nebo jsou větších rozměrů.



Obrázek 12 Kinematické schéma vodorovného frézovacího centra s otočným stolem [18]

Tříosá centra nenabízejí žádné výrazně lepší technologické možnosti, ale stroje mohou mít tužší konstrukci a pracovat ve vytíženějších stavech (větší tříska, vyšší řezné rychlosti). Tím se dosáhne lepší produktivity pro součástky jednoduchých geometrických tvarů. Velmi častou konstrukcí je typ „C“ vypadající stejně jako konvenční stroj se stolem, který se pohybuje v osách X, Y a vřeteno v ose Z. Pohyb stolem, na kterém je obrobek přináší problémy, pokud bychom chtěli obrábět hmotnější obrobky, a tak se používají portálová obráběcí centra. Tam se obrobek pohybuje buď v žádném nebo jednom směru. Pracovní prostor portálových obráběcích center také můžeme rozdělit na více menších, jako je zobrazeno na obrázku 13.



Obrázek 13 Rozdělený pracovní prostor portálového obráběcího centra [16]

Pětiosá obráběcí centra jsou dnes využívané velmi hojně. Jejich výhoda spočívá v širokém spektru využití, čímž se myslí že je můžeme využívat pro zakázkovou, kusovou i sériovou výrobu. Pro zakázkovou a kusovou výrobu jsou vhodné, protože na jednom stroji dokážeme vyrobit kusy se složitou geometrií, přičemž nemusíme jeden kus přesouvat mezi stroji nebo pracovišti a vše se obrobí na jednom místě – vyšší přesnost. Do jaké míry sériovosti jsou tyto stroje vhodné závisí na mnoha faktorech. Jak bylo

zmíněno výše u obráběcích center pro rotační součásti, tak i zde bude hlavní roli hrát cena. Je nutné si určit, zda nám bude stačit tříosé centrum a obrobek přeupínat do jiné polohy nebo pořídit jedno centrum pětiosé. Pětiosé má vyšší potenciál vezme-li se v potaz i to, že na něm nebudeme vyrábět pouze jeden druh výrobků. Jeho pořizovací cena je ovšem vyšší. Asi nejtypičtějším produktem pětiosých obráběcích center jsou turbíny, kde se odfrézuje materiál mezi lopatkami a k tomu je nutný pohyb vřetena v pěti osách. Tento výrobek je vidět na obrázku 14, kde je konkrétně turbína pro letecký průmysl obráběná na pětiosém stroji společnosti Okuma.

Obrázek 15 Technologické možnosti pětiosého obráběcího centra [10]

Obrázek 14 Obrábění turbíny pro letecký průmysl [8]

Automatická výměna obrobků je zde trochu obtížnější než u center pro rotační součásti. Polotovary pro nerotační součásti jsou velmi často odlitky a výkovky čili součásti se složitější geometrií. Složitější je i jejich vlastní upínání, kde nám tříčelisťové sklíčidlo nestačí, ale musíme používat přípravky, upínky nebo upínání pomocí elektromagnetu. Opět nám pomáhají roboty a velmi rozšířený způsob je pomocí palet. Ten spočívá v tom, že na stole ve stroji máme paletu, na kterou byl obrobek připnut mimo obráběcí stroj a automatizovaná linka tyto palety mění.

Obrázek 16 Systém Palletech společnosti Mazak [15]

3.4 Nabídka obráběcích center pro nerotační součásti

Nabídka obráběcích center pro nerotační součásti je také velmi široká a každý stroj je zaměřen na jiný druh výrobků. Tříosá svislá obráběcí centra jsou cenově nejlevnější. Vyrábějí se v nejrůznějších rozměrech a je možno obrábět součásti až do několika tun hmotnosti. K vodorovným centrům se vyplatí pořizovat i otočný stůl (osa C), čímž dosáhneme možnosti obrábění ze čtyř stran. Nejpokročilejší z této oblasti jsou centra pětiosá, která dnes nabízí skoro každý výrobce obráběcích strojů.

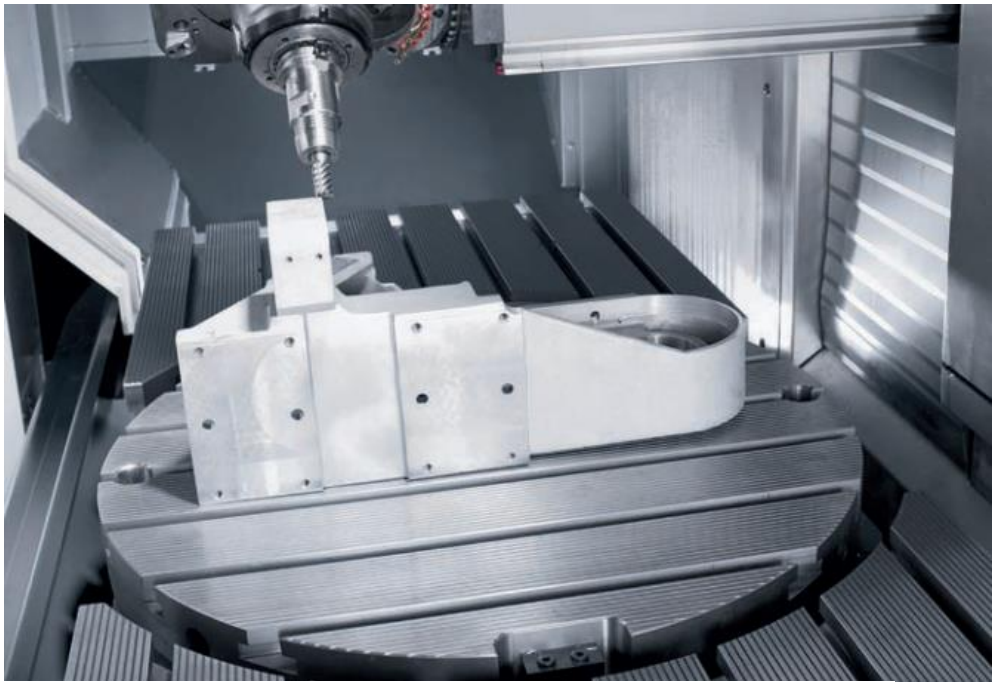
Model VARIAXIS j-500/5X je pětiosé obráběcí centrum od společnosti Mazak. Je vybaveno otočným i naklápěcím stolem a automatickou výměnou nástrojů. Do stroje se vejdou 2 palety s obrobky najednou, kdy jedna může být pomocí systému Palletech vyměněna a druhá je v pracovním prostoru. Tento stroj je vhodný k implementaci do bezobslužné výrobní linky a k výrobě zejména méně rozměrných součástí. Standardně je vybaven zásobníkem na 18 nástrojů, ale pokud by bylo potřeba využívat více nástrojů, je možné kapacitu rozšířit až na 30. Maximální pracovní prostor je definován průměrem obrobku (500 mm) a maximální výškou (350 mm). Minimální krok pro natočení os A (naklápění stolu) a C (otáčení stolu - ±360^{o}) je 0,0001^{o}. Maximální otáčky vřetene jsou 12000 1/min. [14]

Obrázek 17 Mazak VARIAXIS j-500/5X [14]

Jiné konstrukce jsou stroje řady DMF od výrobce DMG Mori. Zde není naklápěcí stůl, ale naklápěcí vřeteno. V nejmenší specifikaci DMF 180|7 je maximální pracovní prostor daný posuvem na osách X/Y/Z: 1800/700/700. Omezující je zde hmotnost obrobku, která je maximální přípustná pro pevný stůl 1500 kg a pro otočný stůl 500 kg

Přesnost stroje je dána nejmenším krokem na osách, který je zde na osách X, Y a Z stejný 10 µm. V nabídce je několik různých vřeten disponujících otáčkami 8000 až 20000 1/min. Největší výkon (46 kW) a kroutící moment (130 Nm) je pro vřetena s otáčkami 15000 1/min. Upnutí obrobku může být v závislosti na specifikace stroje různé, jak je vidět na obrázcích 18 a 19.

Obrázek 18 Pětiosý stroj pro dlouhé obrobky s osou B [6]



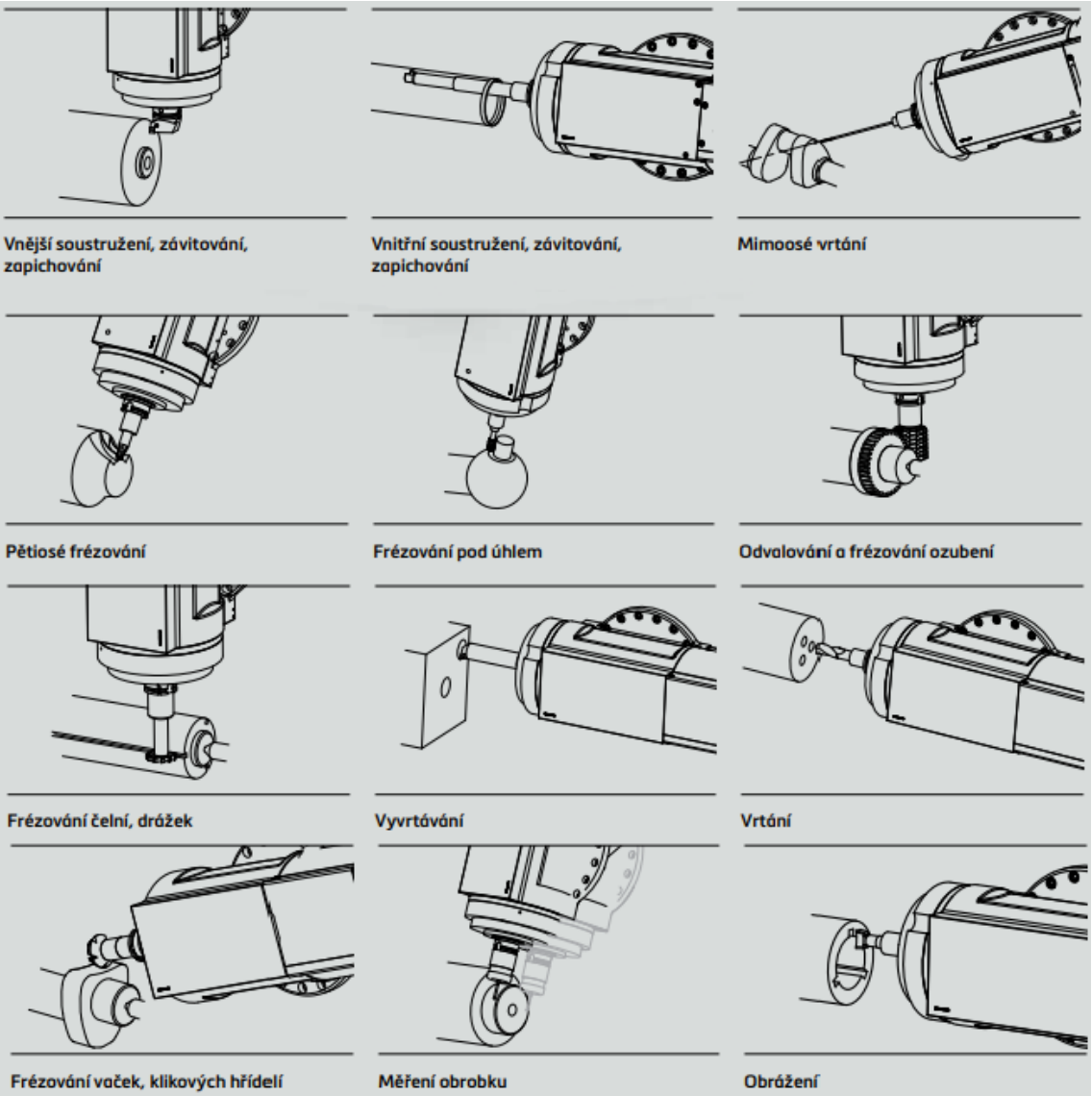
Obrázek 19 Integrovaný otočný stůl [6]

3.5 Multifunkční obráběcí centra

V současnosti nejlepší, co se týče technologických možností, jsou multifunkční obráběcí centra. Spojují dohromady dvě základní technologie soustružení a frézování, k čemuž přidávají spoustu dalších možností. Rozdíl oproti předchozím centrům je snaha o vyrovnání výkonů pro soustružení i frézování. Na obrázku 6 je schéma takového stroje. Taková konstrukce je u všech strojů velmi podobná, to znamená dvě vřetena naproti sobě, u kterých můžeme řídích jejich polohu a frézovací vřeteno umístěné „uprostřed“ pracovního prostoru. Mezi hlavní výhody těchto strojů patří: výrazné zkracování času celkového obrábění, zjednodušení materiálového toku, eliminace mezioperačních prostojů, snížení počtu přípravků, nástrojů, operátorů a času seřízení a výrobní přesnost. Nevýhodou jsou rozměry takových strojů, protože většina výrobců je nabízí zejména pro rozměrnější díly a pořizovací cena. Využití těchto strojů pro rozměrnější obrobky je logické, protože s rostoucí hmotností se zhoršují možnosti manipulace, tím dochází ke zvyšování časů a následně k menší produktivitě. Typickými výrobky pro tyto stroje jsou rotační součásti s drážkováním, ozubením nebo mimoosými dírami (mazací drážky na klikové hřídeli). Každý z výrobců, zmíněných výše, takový stroj nabízí a mohli bychom je nazvat jejich „vlajkovými loděmi“. Pro Mazak jsou to stroje typu Integrex, Kovosvit je nabízí pod názvem Multicut, Okuma je nazývá Multus a DMG Mori má druhů více, tak zmíním jejich modelovou řadu CTX CA. Na obrázku 20 je schematicky zobrazeno, jak by mohla výroba na takovém centru vypadat. Ze čtyř strojů, tří operátorů a pěti programátorů stačí jeden stroj, jeden operátor a jeden programátor. [7]

Obrázek 20 Slučování operací podle společnosti Mazak [7]

Všechny stroje dokáží snížit výrobní čas jedné „složitější“ součástky, kterou bychom museli přesouvat například mezi třemi pracovišti (soustružení, frézování, odvalování), zhruba na třetinu. To dokáží pokrytím technologiím zobrazeným na obrázku 21. Pro všechny stroje to samozřejmě nemusí být stejné. Například nemusejí umět obrážet, ale mohou umět brousit apod.

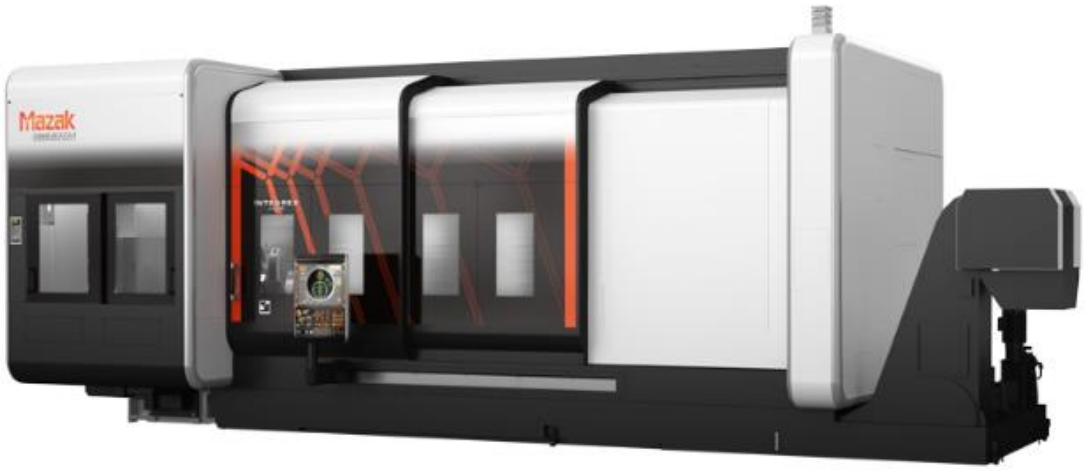


Obrázek 21 Nejčastější technologické možnosti multifunkčních obráběcích center [10]

3.5.1 Mazak Integrex

Modely této řady se vyrábějí v horizontálním a vertikálním provedení. Vertikální provedení výrobce uzpůsobuje pro jeho systém Palletech. Horizontální obráběcí centrum INTEGREX i-500 uvádí výrobce jako svůj nejnovější model této řady a zároveň ji

označil za vlajkovou loď společnosti Mazak. Vyšší přesnosti dosahuje pomocí vhodné konstrukce apelující na maximální tuhost stroje a přesnému odměřování os B a C, patřícímu do standardní výbavy. Stroj výrobce připravil i na automatizaci, kde je možné v doplňkové výbavě koupit například vysokorychlostního portálového robota pro výměnu polotovarů. Projevuje se zde také ergonomičnost, která má za úkol zajistit snadnou údržbu a obsluhu. Demonstrovat to může snadný přístup k zásobníku nástrojů a další. V nabídce jej má s délkou lože až 3000 mm. Jednou z možných specifikací stroje by mohl být stroj s 30 kW motorem, maximálními otáčkami frézovacího vřetena 12000 1/min, hlavního vřetena 4000 1/min a se zásobníkem na 36 nástrojů. [9]

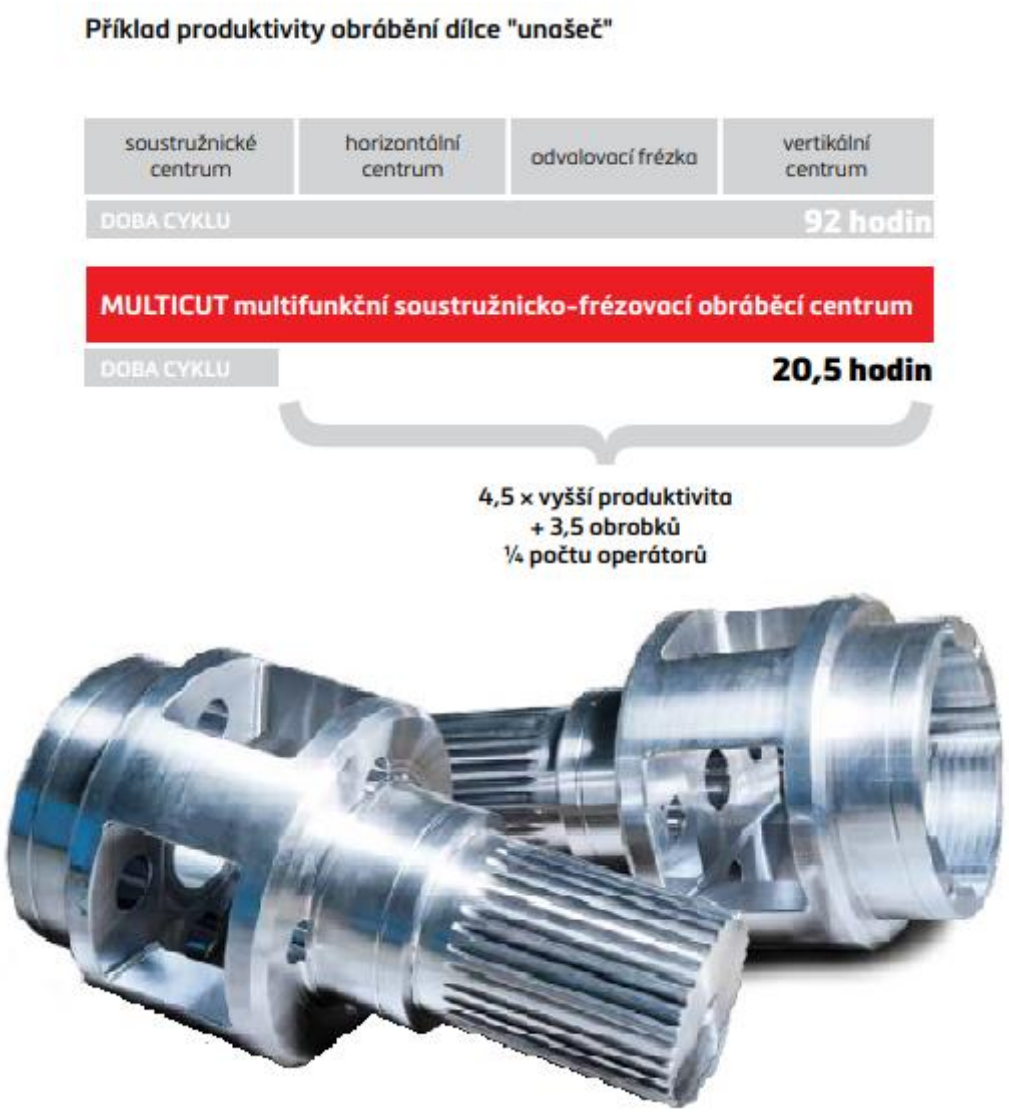


Obrázek 22 Mazak INTEGREX i-500 [9]

3.5.2 Kovosvit Multicut

V nabídce Kovosvitu MAS ze Sezimova Ústí jsou dva druhy stroje Multicut lišící se v rozměrech. První, menší stroj s číselným indexem 500i a větší 630. Obě verze jsou dostupné ve dvou kinematických variantách, a to buď s koníkem nebo protivřetenem. Oproti Mazaku se vyrábí pouze ve vodorovném provedení, svislé provedení má Kovosvit pouze jako obráběcí centrum pro nerotační součásti. Multicut 630 je v nabídce s maximální délkou lože až 6100 mm a k tomu má i dvě hydraulické lunety. Otáčky vřetena a protivřetena jsou shodně 2800 1/min a pro stroj Multicut 500i jsou v nabídce i vřetena s otáčkami 3500 1/min. U 630 je rovněž možnost volby druhu frézovacího vřetene, které může mít 3500 – 12000 1/min. U 500i tato specifikace není a je v nabídce pouze s vřetenem s maximálními možnými otáčkami. Pro větší stroj je kapacita

zásobníku až 180 nástrojů (závisí na upnutí), pro menší pouze 81. Kovosvit demonstruje zlepšení produktivity na součásti „Unašeč“, jak je zobrazeno na následujícím obrázku. [10]



Obrázek 23 Zlepšení produktivity podle Kovosvitu [10]

3.5.3 Okuma Multus

Společnost Okuma je původem, stejně jako Mazak, z Japonska. Jejím distributorem pro český trh je pražská firma Misan, která dříve nabízela i stroje Mazaku. Multifunkční stroje nabízí v provedení svislém (řada VTM) a vodorovném (Multus a MacTurn). Stroje zmíněné v této práci jsou všechny vodorovné, a proto jsem se rozhodl lépe specifikovat řadu Multus.

Nejlépe ostatním konkuruje model z řady Multus s katalogovým číslem U4000 (2SW-2000). Je vybaven nástrojovou natáčecí hlavou s frézovacím vřetenem, osami X, Y, Z, B, C, W s automatickou výměnou nástrojů a s protivřetenem. Maximální obráběná délka je 2000 mm a průměr 650 mm. Hlavní vřeteno disponuje širokým rozsahem otáček 45 – 4200 1/min a výkonem 15 kW při kontinuálním provozu. V jiné variantě může mít větší výkon a nižší otáčky. Protivřeteno má shodný výkon 15 kW a menší rozsah otáček 38 – 3800 1/min. Frézovací vřeteno může mít otáčky až 12000 1/min a výkon až 15 kW. [11]

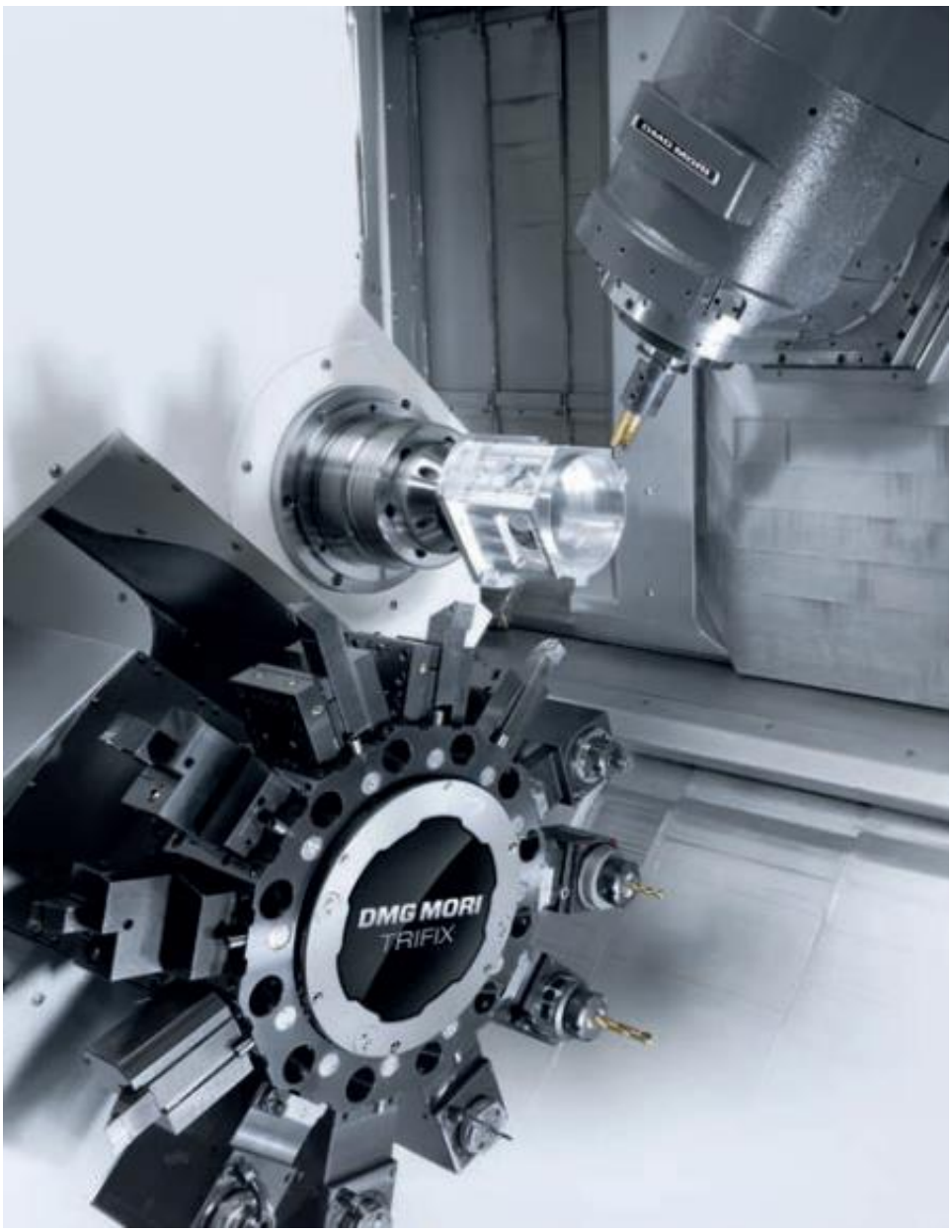
Obrázek 24 Rozsah osy B stroje Okuma Multus U-series [12]

3.5.4 DMG CTX TC

Velmi širokou nabídkou obráběcích center všech druhů se pyšní německá společnost DMG Mori, v České Republice se zastoupením v Plané nad Lužnicí. Model CTX TC je stejné konstrukce jako předchozí stroje, tudíž umožňuje součásti obrábět ze šesti stran. Největším nabízeným modelem je CTX gamma 3000 TC. Maximální obráběný průměr je až 700 mm a délka až 3050 mm. Vřeteno disponuje výkonem 52 kW a kroutícím momentem 2200 Nm při otáčkách 2500 1/min. Protivřeteno má vyšší otáčky (4000 1/min) na úkor kroutícího momentu (770 Nm) a výkon má 45 kW. Frézovací

vřeteno je nabízeno v různých specifikacích. Při otáčkách 12000 nebo až 18000 1/min má výkon 22 kW a kroutící moment 100 Nm. Další varianta má nižší otáčky (8000 1/min), ale větší výkon (39 kW) a kroutící moment (160 Nm).

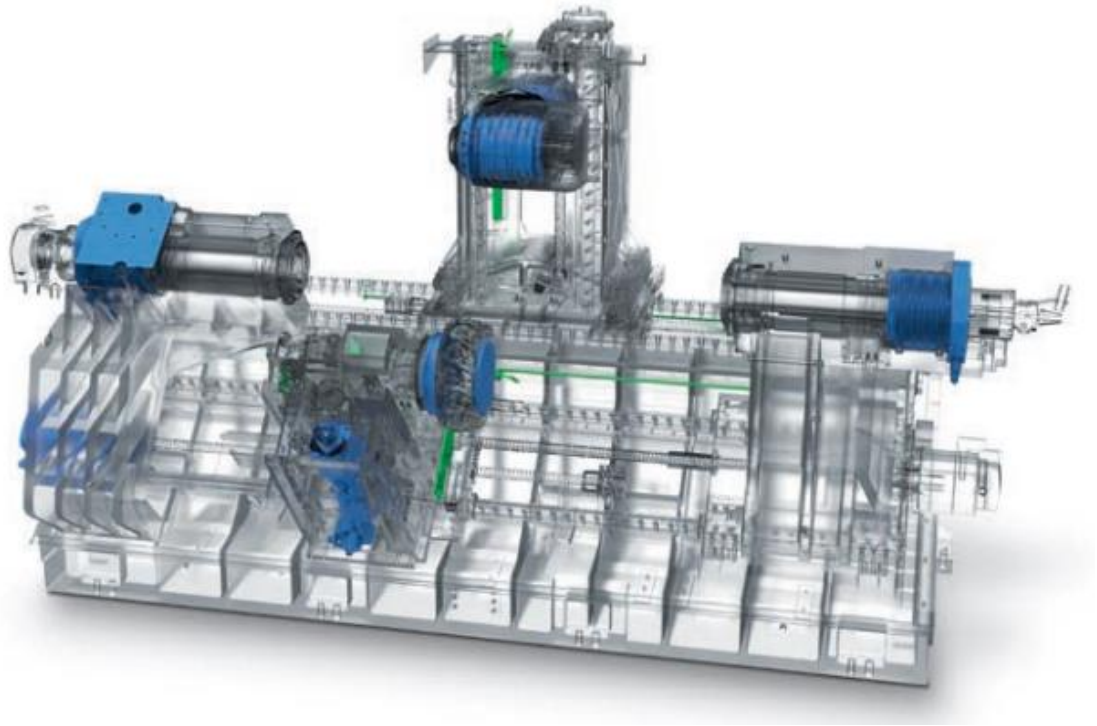
DMG jej nabízí i v provedení, kde je navíc další nástrojová hlava, která je zobrazená na obrázku 25. Ten má poté označení CTX TC 4A. Doporučuje jej zejména pro větší sériovou výrobu. [13]



Obrázek 25 Pracovní prostor stroje DMG CTX TC 4A [13]

4 Dosahované kvalitativní parametry

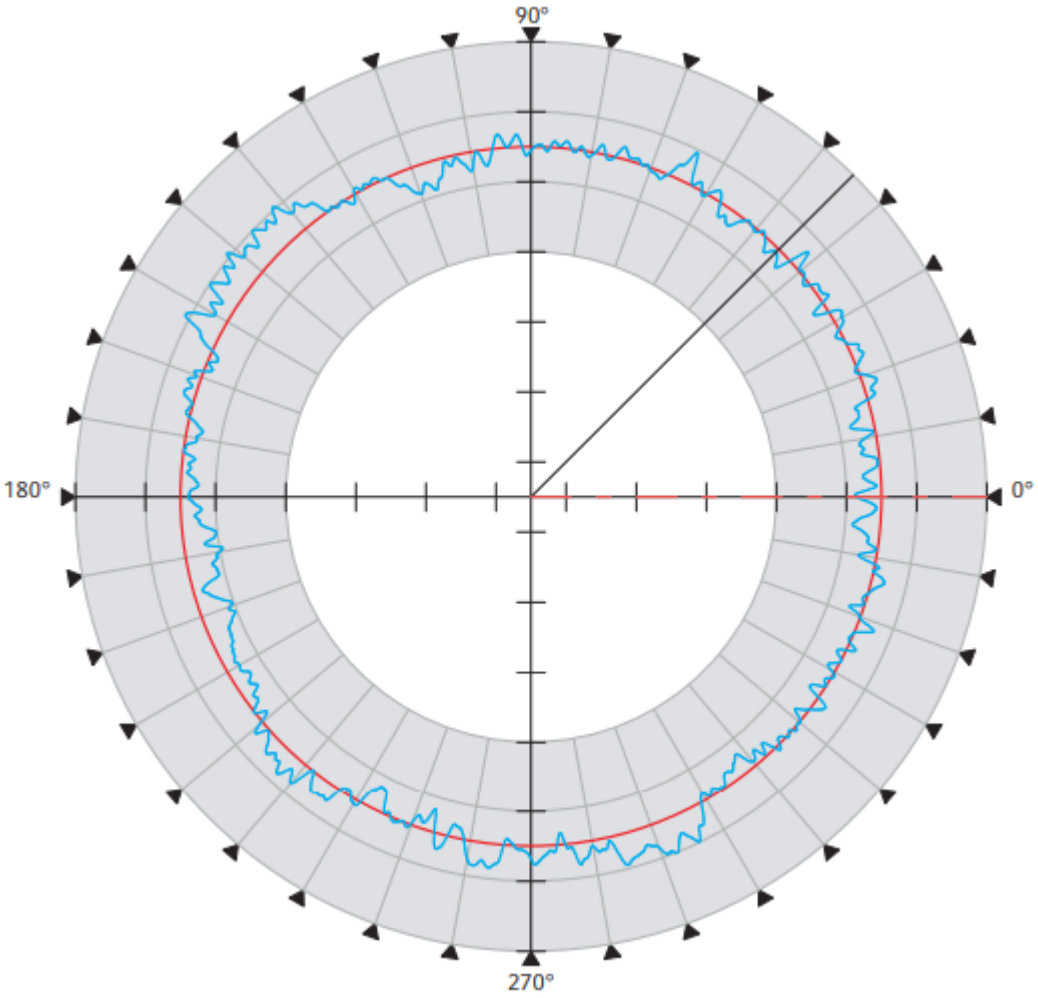
Dosahovanou kvalitu povrchu na obráběcích centrech nemůžeme nijak jednoznačně definovat. Dosahované parametry jsou závislé na spoustě různých faktorů od uložení stroje ve výrobní hale (vodorovné uložení) až po materiál nástroje. Jedním z těchto faktorů je také minimální inkrement, který nám udává minimální krok pro pohyb na ose nebo otočení kolem ní. Většina zde zmiňovaných strojů mají minimální inkrement otočení kolem své osy 0,0001°. Maximálních přesností je dosahováno pomocí chlazení vřeten a přímým měřícím systémům. Rozvod chladiva po stroji (do vřeten) je zobrazen na obrázku 26. Stroje Okuma Multus jsou vybaveny „Thermo-Friendly Concept“ technologií zaručující velmi dobrou stabilitu stroje při okolních teplotních změnách. Na základě dat ze senzorů dokáže upravovat polohu frézovacího vřetena v osách X, Y a Z s přesností 0,1 µm. Bez zásahu této technologie způsobí zvýšení okolní teploty o 8°C rozdíl 10 µm [11].



Obrázek 26 Rozvod chladiva do vřeten [13]

Dalším může být přesnost najetí do naprogramované polohy. Ta se liší, pokud je ojedinělá nebo opakovaná. Konkrétně pro stroj Kovosvit Multicut 630 je to v osách X/Y/Z v µm 4/4/10 pro najetí. Pro opakované najetí se hodnoty mírně snižují na 2/3/6 µm.

Stroje německého výrobce DMG Mori jsou na tom podobně. Konkétně model CTX TC se dokáže polohovat v osách X a Y shodně po 6 µm, v ose Z je to 10 µm a natočení kolem osy C je rovno 0,005°. Pro opakované polohování se hodnoty X/Y/Z/C snižují na 2/2/3/0,0014°. Na obrázku 27 je zobrazena kruhovitost obráběné součástky na stroji CTX TC. Jeden díl je 0,5 µm. Nástroj byl diamantový a obráběl hliníkový polotovar o průměru 42 mm, 80 mm dlouhý. Obráběn byl za následujících parametrů: řezná rychlost 280 m/min, hloubka třísky 0,2 mm a posuv 0,1 mm.



Obrázek 27 Kruhovitost obrobku po dokončení [13]

Moderní CNC stroje jsou velice přesné, někteří výrobci dokonce uvádějí, že pokud se na jejích strojích bude obrábět za správných podmínek, tak dokáží nahradit i operace jako je například broušení.

5 Závěr

Cílem této práce s tématem „Multifunkční obráběcí centra a jejich technologické možnosti“ bylo zhodnotit a uvést moderní trendy ve vývoji těchto strojů a uvést aktuální nabídku od významných výrobců obráběcích strojů.

V první kapitole jsem se nejprve stručně zabýval historií a uvedl trendy ve vývoji obráběcích center od průmyslové revoluce až k prvnímu návrhu multifunkčního stroje, který je od českého inženýra Františka Borkovce, jehož návrh těmto strojům položil základní koncept. Následovalo rozdělení obráběcích center do tří kategorií (pro rotační a nerotační součásti, multifunkční), abych mohl detailněji popsat každou skupinu zvlášť a poté jsem je stručně popsal.

Další částí mojí práce byly jejich technologické možnosti a oblasti využití. Nejprve jsem se zaměřil na obráběcí centra pro rotační a nerotační součásti, popsané podobnou strukturou. Jako první byly zhodnoceny jejich technologické možnosti, kde jsem uvedl, jak tyto stroje pracují v různých provedeních (koník x protivřeteno, otočný a naklápěcí stůl apod.) od výrobců. Z toho proběhlo celkové zhodnocení, pro jaké využití by byly různé specifikace strojů výhodné nebo nevýhodné. Poté jsem se dostal k multifunkčním obráběcím centrům, u kterých je rozdíl od předchozích dvou v přenášení výkonu. Multifunkční stroj spojuje soustružení a frézování do jednoho stroje s trendem výkony pro jednotlivé technologie vůči sobě co nejvíce přibližovat. Obecně jsem zhodnotil jejich technologické možnosti, oblasti využití a uvedl výhody, nevýhody. Následoval výběr strojů patřících mezi multifunkční obráběcí stroje od různých výrobců. Má pozornost připadla zejména produktům společností Mazak, Okuma, Kovosvit MAS a DMG Mori. Po prostudování katalogů s nabídkami jejich strojů jsem od každého výrobce podrobněji popsal jeden stroj.

Poslední část je zaměřena na jejich možnosti, co se týče přesnosti obrábění. Bohužel, nelze obecně uvést jakých drsností povrchu nebo třídy přesnosti dosáhneme, protože to ovlivňují mnohé vedlejší faktory.

Tato bakalářská práce by měla i neznalému čtenáři ukázat možnosti moderního obrábění. Toto téma je aktuální, protože poptávka po obrábění na CNC strojích neustále roste.

6 Bibliografie

[1] ***COPT Kroměříž*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=22926&instance=2

[2] ***10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění?*** [online]. 2016 [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/

[3] ***First European NC Machine Tool*** [online]. 2017 [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://www.mybrightonandhove.org.uk/page/technology

[4] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

[5] ***Kovosvit MAS*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://www.masmachinetools.com/storage/1_74_mcvlinecz-pl-web.pdf

[6] ***DMG Mori*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/blob/126142/473f005a0575819327b2363e26a4b914/pm0uk16-dmf-series-pdf-data.pdf

[7] ***Mazak*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://www.mazakeu.cz/cs/strojni-technologie/produkty/integrex-5-osa-obrabeci-centra/

[8] ***Morris Company*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://www.robertemorris.com/home/engineering/morris_turbine_group.html

[9] ***Mazak*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://www.mazakeu.cz/cs/machines/integrex-i-500/

[10] ***Kovosvit MAS*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://www.masmachinetools.com/storage/1_85_multicutczweb.pdf

[11] ***Misan*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: 11) http://misan.cz/okuma/katalog-detail/multus-u4000-2sw-2000-okuma-multus-u4000-2sw-2000/

[12] ***Bulmak Metal*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://bulmakmetal.com/wp-content/uploads/2016/10/MULTUS_U-Series-E-7a-150Sep2016.pdf

[13] ***DMG Mori*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/blob/123332/2dcd64a8100baebf0a08f45904bf6c4d/pt0uk13-ctx-tc-series-pdf-data.pdf

[14] ***Mazak*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://www.mazakeu.cz/cs/machines/variaxis-j-500-5x/

[15] ***Mazak*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://www.mazakeu.cz/cs/strojni-technologie/produkty/automatizace/

[16] ***Kovosvit MAS*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://www.masmachinetools.com/storage/1_79_mmccz-pl-web.pdf

[17] ***Kovosvit MAS*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: http://www.masmachinetools.com/storage/1_80_sp-280-cz-pl-web.pdf

[18] ***DMG Mori*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/blob/166066/19b4a62b475403da1bff9021626eff89/pt0uk14-nt6600-dcg-data.pdf

[19] ***DMG Mori*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/blob/335794/608b67e7cd993ffb983aeb69a0aa1baf/pt0uk14-ctx-4a-pdf-data.pdf
[20] ***Mazak*** [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: https://www.mazakeu.cz/cs/machines/quick-turn-primos-150-s/

Seznam obrázků

Obrázek 1 První NC stroj vyrobený v Evropě (1956) [3] 9

Obrázek 2 Schéma kinematiky multifunkčního stroje MCSY [4] 10

Obrázek 3 Multifunkční obráběcí centrum MTC 500i [10] 11

Obrázek 4 Kinematické schéma stroje SP 280 SY pro rotační součásti [17] 12

Obrázek 5 Kinematika stroje obrábějícího v pěti osách [5] 13

Obrázek 6 Multifunkční obráběcí centrum od společnosti DMG MORI [19] 14

Obrázek 7 CNC soustruh Mazak Quick Turn Primos 150 SG [20] 15

Obrázek 8 Schéma obráběcího centra pro rotační součásti [17] 16

Obrázek 9 Obrábění pomocí dvou vřeten současně [19] 17

Obrázek 10 Soustružnické centrum SP 280, Kovosvit MAS [17] 18

Obrázek 11 Ukázka výrobku na stroji SP 280 SY [17] 18

Obrázek 12 Kinematické schéma vodorovného frézovacího centra s otočným stolem [18] 19

Obrázek 13 Rozdělený pracovní prostor portálového obráběcího centra [16] 20

Obrázek 15 Technologické možnosti pětiosého obráběcího centra [10] 21

Obrázek 14 Obrábění turbíny pro letecký průmysl [8] 21

Obrázek 16 Systém Palletech společnosti Mazak [15] 22

Obrázek 17 Mazak VARIAXIS j-500/5X [14] 23

Obrázek 18 Pětiosý stroj pro dlouhé obrobky s osou B [6] 24

Obrázek 19 Integrovaný otočný stůl [6] 24

Obrázek 20 Slučování operací podle společnosti Mazak [7] 25

Obrázek 21 Nejčastější technologické možnosti multifunkčních obráběcích center [10] 26

Obrázek 22 Mazak INTEGREX i-500 [9] 27

Obrázek 23 Zlepšení produktivity podle Kovosvitu [10] 28

Obrázek 24 Rozsah osy B stroje Okuma Multus U-series [12] 29

Obrázek 25 Pracovní prostor stroje DMG CTX TC 4A [13] 30

Obrázek 26 Rozvod chladiva do vřeten [13] 31

Obrázek 27 Kruhovitost obrobku po dokončení [13] 32