

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KOMBINOVANÉ TECHNOLOGIE NA OBRÁBĚCÍCH STROJÍCH
COMBINED TECHNOLOGIES IN MACHINING

Autor: Tomáš Makar

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Štajnochr

Rok: 2020



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Makar** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **476044**
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:

Kombinované technologie na obráběcích strojích.

Název bakalářské práce anglicky:

Combined technologies in machining

Pokyny pro vypracování:

1. Uveďte přehled dostupných kombinovaných technologií.
2. Proveďte zhodnocení současných dostupných kombinovaných technologií.
3. Navrhněte a kriticky zhodnoťte další možné kombinace technologií.
4. Ideově navrhněte dosud nepoužívanou kombinovanou technologii.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

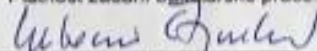
Ing. Lubomír Štajnochr, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

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

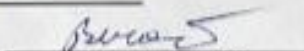
Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

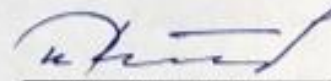
Platnost zadání bakalářské práce:



Ing. Lubomír Štajnochr
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústav/katedry



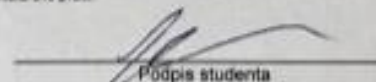
prof. Ing. Michael Valáček, DrSc.
podpis školitelky

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.

23.6.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Čestné prohlášení

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

V Praze dne __. __.

.....

Makar Tomáš

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lubomíru Štajnochrovi za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá kombinováním technologií na obráběcích strojích. V první části stručně popisuje historii obrábění až po současnost. Následuje rozdělení obráběcích center s výčtem možných kombinací konvenčních technologií. V další části jsou uvedeny nekonvenční technologie obrábění, jejich popis a možné kombinace s konvenčními technologiemi. V poslední části je rozebrána problematika dosud nepoužívaných kombinovaných technologií.

Klíčová slova

Kombinované technologie, Obrábění, Obráběcí centra, Konvenční technologie obrábění, Nekonvenční technologie obrábění

Abstract AJ

This bachelor thesis deals with the combination of technologies on machine tool. The first part briefly describes the history of machining up to the present. The following is a division of machining centers with a list of possible combinations of conventional technologies. The next section presents non-conventional machining technologies, their description and possible combinations with conventional technologies. The last part deals with the issue of non-used combined technologies.

Key words

Combined technologies, Machining, Machining centers, Conventional machining technologies, Non-conventional machining technologies

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Historie.....	10
2.1	Historie obrábění	10
2.2	Historie NC/CNC obráběcích strojů.....	10
3	Současnost.....	12
4	CNC Obráběcí centra.....	13
4.1	Rozdělení obráběcích center	13
4.1.1	Obráběcí centra pro rotační součásti – soustružnická.....	13
4.1.2	Obráběcí centra pro nerotační součásti – frézovací	21
4.1.3	Multifunkční obráběcí centra.....	24
4.1.3.1	Rozdělení multifunkčních obráběcích center	24
4.1.3.2.1	Semimultifunkční obráběcí centra.....	25
4.1.3.2.2	Soustružnická multifunkční obráběcí centra.....	25
4.1.3.2.3	Frézovací multifunkční obráběcí centra	26
4.1.3.2.4	Portálová centra.....	26
4.2	Zhodnocení obráběcích center	27
5	Aditivní technologie na obráběcích strojích	29
5.1	Zhodnocení kombinace aditivních technologií a konvenčního obrábění	31
6	Obrábění laserem na obráběcích strojích.....	32
6.1	Laserové soustružení	33
6.2	Frézování laserem.....	34
6.3	Vrtání laserem	34
6.4	Laserové značkování	35
6.5	Laserové gravírování	35
6.6	Ostření nástrojů pomocí laserové ablace	35
6.7	Laserové leštění povrchů	36
6.8	Příklady strojů	37

6.8.1	MCVL 1000 LASER	37
6.8.2	Soustruh SPM 16	37
6.9	Zhodnocení kombinace obrábění laserem oproti konvenčním technologiím ..	39
7	Broušení na obráběcích strojích	40
7.1	Zhodnocení kombinace broušení na obráběcích centrech	41
8	Návrh další možné kombinace technologií	42
8.1	Ideový návrh kombinované technologie obrábění ultrazvukem a frézování ..	42
8.1.1	Ultrazvukové obrábění abrazivní suspenzí.....	42
8.1.2	Ultrazvukové vrtání brousícími diamantovými nástroji	43
8.1.3	Ideový návrh konstrukce stroje.....	44
8.1.4	Technologické možnosti stroje a zhodnocení technologie.....	45
8.2	Ideový návrh kombinované technologie frézování a vodního paprsku	47
8.2.1	Ideový návrh konstrukce stroje.....	48
8.2.2	Technologické možnosti stroje a zhodnocení.....	49
9	Závěr	51
10	Bibliografie	53
11	Seznam obrázků	57

1 Úvod

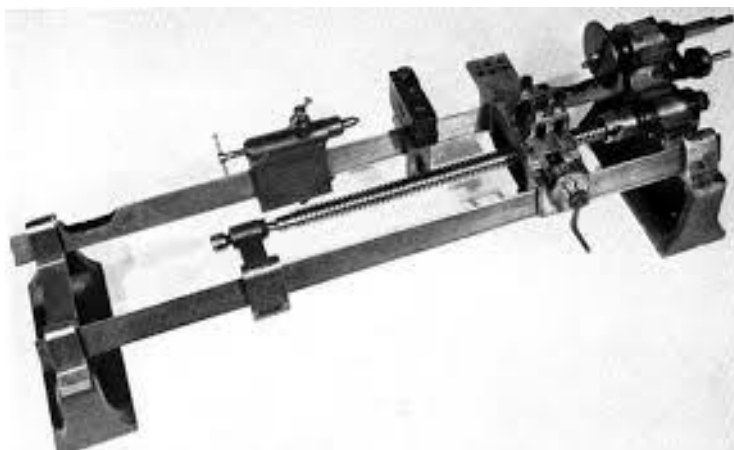
Kombinování technologií na jednom stroji je v dnešní době velmi častým jevem. V práci se budu zabývat popisem obráběcích center, které kombinují zejména konvenční technologie jako je soustružení, frézování nebo vrtání. Dále se zmíním o technologiích, které na obráběcích centrech nejsou tak často využívány, nebo se teprve rozvíjejí. Příkladem takových technologií je obrábění laserem, aditivní technologie nebo broušení na obráběcích strojích. Uvedu zde popis jednotlivých metod, princip, na jakém technologie funguje, a kriticky zhodnotím danou problematiku.

Po rešeršní části s výčtem možných kombinací technologií budu navrhopvat takovou kombinaci technologií, která se na obráběcích centrech v dnešní době nepoužívá. Tuto problematiku budu zkoumat z hlediska konstrukce stroje, technologických možností stroje a využití stroje ve výrobě. Navrženou kombinaci poté zhodnotím a uvedu výhody a nevýhody, které by z konstrukce takového stroje plynuly.

2 Historie

2.1 Historie obrábění

Velký rozvoj zažilo třískové obrábění kovů v období průmyslové revoluce. Mohla za to potřeba vyrábět efektivně díly pro stroje do továren. Obrábění jako takové již bylo známé dávno předtím. Například první zmínka o soustružnickém stroji z Řecka a pochází z 3. století před naším letopočtem. Ve 13. století byl zdokonalen smyčcový soustruh. Zdokonalením byl pohyb smyčce obmotaného kolem obrobku, který uváděl obrobek do pohybu. Ve 14. století se soustruh začíná pohánět pomocí vodního kola. V 15. století byl vynalezen primitivní suport, který sloužil pouze k uchycení nože. V období od 15. do 18. století byla zkonstruována zařízení, která dokázala řezat závity. To našlo uplatnění zejména v hodinářství. Vynálezcem soustruhu v podobě, která připomíná ty z minulosti nedávné, je Henry Maudslay. Ten spojil dohromady několik již fungujících koncepcí a vytvořil tak první soustruh kolem roku 1797.
[1] [2] [3]



Obr.1- První soustruh [1]

2.2 Historie NC/CNC obráběcích strojů

V 50. letech 20. století se objevily první řízené stroje. Jednalo se o konvenční stroj osazený jednoduchým řídicím systémem a elektronkovými obvody. Program byl realizován pomocí mechanických pamětí v podobě váček, šablon, či mechanickými zarážkami. Postupem času byl tento způsob nahrazen optickým snímačem a děrnými páskami.

První obráběcí centra vznikla v 60. letech 20. století. Jednalo se již o stroj řízený NC tranzistorovým systémem. V druhé polovině 60. let se do strojů začaly přidávat integrované

obvody. To vedlo k zařazení NC obráběcích strojů do prvních výrobních linek. Významnou firmou, které se podílela na vývoji, byla německá firma Siemens. Ta přišla s číslicovým řízením. To bylo realizováno pomocí relé.

V 70. letech se zdokonalila konstrukce strojů a začala se používat valivá, hydrostatická a kuličková vedení. Do NC řízených strojů byla přidána možnost editace programů a možnost přidání paměti systému. Poprvé se také setkáváme se soustružnickým centrem, které mělo poháněné nástroje.

V 80. letech se do obráběcích center už používají multiprocessorové mikropočítače na bázi CNC/PLC. Stroje začínají být osazovány senzory na snímání pohybu součástí. V roce 1984 firma HEIDENHAIN uvádí první centrum s grafickou simulací operace. Dalším velkým mezníkem je rok 1987, kdy americká společnost HASS AUTOMATION vyrobila své první obráběcí centrum VF-1, které bylo osazeno první automaticky programovatelnou děličkou kleštinovou děličkou.

Na konci 20. století se stále zlepšují parametry, kterých obráběcí stroje dosahují. Stroje jsou vybaveny velkokapacitními zásobníky nástrojů. Stroje v sobě mají zabudovaná vysokootáčková vřetena s aplikací lineárních motorů. Firma Siemens přichází na trh v roce 1996 s prvním CNC systémem s názvem Sinumerik a zabudovanými bezpečnostními funkcemi. V roce 1997 přichází tato firma na trh systémy ShopMill a ShopTurn, díky kterým bylo možné v grafickém prostředí vytvářet programy k obrábění. [3] [4] [5] [6]

3 Současnost

V posledních desetiletích se konstrukce většiny strojů změnila, a to zejména kvůli požadavkům jak uživatelů, tak i z důvodů ekonomických. Na stroj jsou kladeny vysoké nároky ve všech směrech. Je nutností, aby stroj byl dostatečně tuhý, což je důležité pro jeho přesnost, která je jedním ze základních parametrů stroje. Hodnotí se také produktivita stroje a samozřejmě také jakost povrchu, kterou dokáže stroj po dokončení operace vytvořit na povrchu součásti. Dalším kritériem, které je svázáno s předešlými nároky, je samozřejmě cena, která při větších nárocích vzrůstá, a tím je produkt na trhu méně konkurenceschopný. Proto se firmy snaží najít kompromis mezi cenou produktu a nabízenými funkčními vlastnostmi. Posledním, avšak neméně důležitým kritériem je dopad provozu stroje na životní prostředí. Stroj musí vyhovovat emisním normám, daných státem. Velkým trendem současnosti jsou aditivní technologie, které se používají například při opravách a renovaci dílu. Touto technologií se do opotřeбенých míst nanese materiál, a ten se třískovým obráběním obrobí do požadovaných rozměrů a parametrů. [7] [8]

4 CNC Obráběcí centra

Obráběcími centry rozumíme takové stroje, které splňují dané vlastnosti:

- Lze na něm realizovat víceosé obrábění
 - Stroj dokáže pracovat v bezobslužném provozu
 - Pracuje v automatickém obráběcím cyklu
 - Je možné provádět na stroji operace třískového obrábění na jedno upnutí
 - Má automatickou výměnu nástroje
 - Může mít automatickou výměnu obrobků
 - Je opatřen prvky diagnostiky a monitorování stavu
 - Může pracovat technologií vysokorychlostního, suchého či tvrdého obrábění
- [9]

4.1 Rozdělení obráběcích center

Obráběcí centra jsou rozdělena do tří základních skupin. První skupinou jsou obráběcí centra pro rotační součásti. Tyto stroje vycházejí ze soustruhu. Druhou skupinou jsou obráběcí centra na nerotační součásti. Tyto stroje vycházejí z frézky. Třetí a poslední skupinou jsou multifunkční obráběcí centra, která tyto předešlé dvě skupiny spojují v jednu, a na jednom stroji tak jsou obě technologie se stejným poměrem výkonu na vřetení. [10]

4.1.1 Obráběcí centra pro rotační součásti – soustružnická

Obráběcí stroje pro výrobu rotačních součástí se dělí na dvě základní skupiny. První skupinou jsou konvenční soustruhy bez CNC řízení. Do této skupiny patří klasické hrotové soustruhy, klasické revolverové soustruhy, takzvané automaty, které se vyznačují velikou produktivitou práce. Tyto soustruhy se dnes již vyrábí pouze zřídka. Příkladem může být konvenční soustruh pro údržbu nebo prototypovou výrobu, nebo soustružnické automaty pro velké série výrobků.

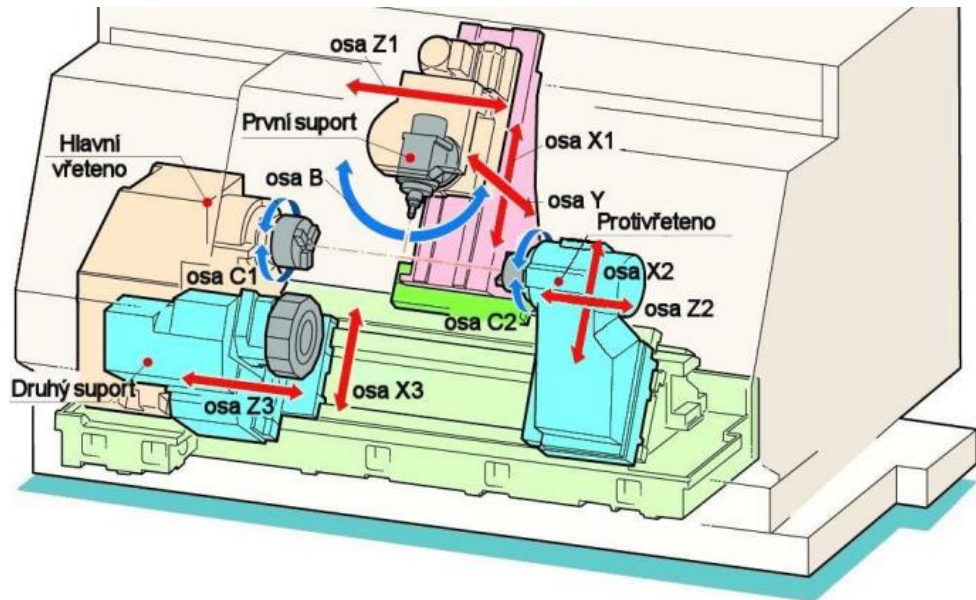


Obr.2 Konvenční soustruh [46]

Trendem dnešní doby jsou hrotové soustruhy s CNC řízením. Základní variantou takového stroje je soustružnické obráběcí centrum s dvěma osami a ruční výměnou nástrojů. Tato varianta se často rozšiřuje o revolverovou hlavu, ve které jsou upnuty další nástroje na obrábění. Díky tomu si stroj sám automaticky vyměňuje nástroje a zvyšuje tak efektivitu práce. Velkým zlepšením je soustružnické obráběcí centrum s řízenou osou C, neboli řízenou osou vřetene, díky které jsme schopni numericky vřeteno řídit a pracovat tak jak v klasickém otáčkovém režimu, kde se zadává počet otáček k soustružení, tak polohovat obrobek o daný úhel. Osa C je nezbytná pro poháněné nástroje v revolverové hlavě, nebo na nástrojové liště, díky které jsme schopni například pootočit obrobek o daný úhel a vrtat tak do něj. Je ale potřeba zmínit, že se jedná téměř výhradně o doplňkové operace. To znamená, že výkony, kterých dosahují poháněné nástroje nebo vřeteníky, jsou vždy menší než výkon hlavních vřeteníků. Rozdíl těchto výkonů vřeten může činit až 50%.

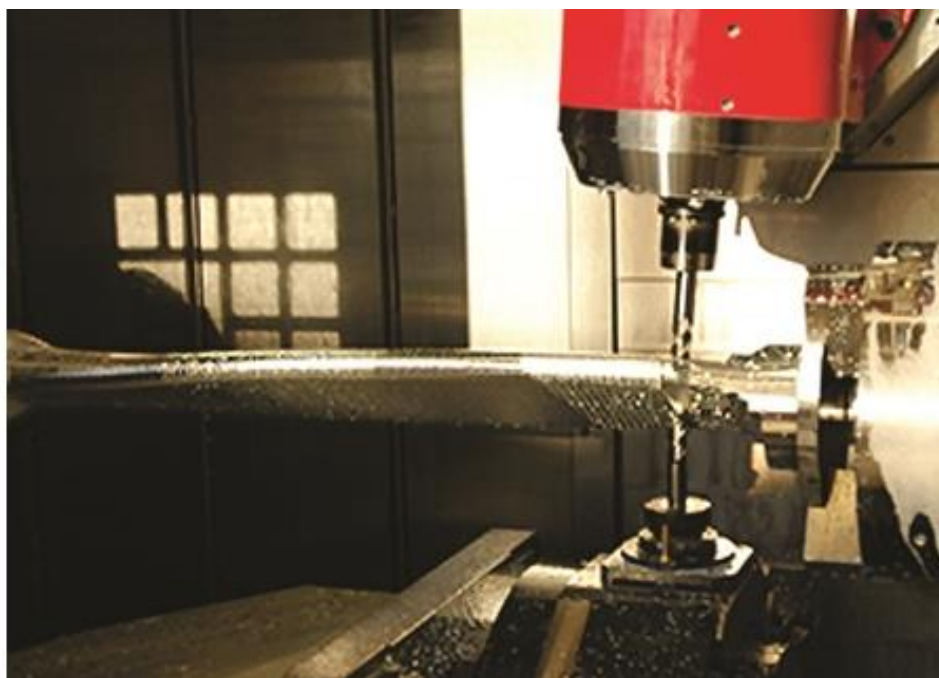
Dalším vylepšením soustružnického obráběcího centra s řízenou osou C a poháněnými nástroji je pohyblivá osa Y a protivřeteno. Takovéto vřeteno má zpravidla stejné otáčky jako vřeteno hlavní, ale má menší výkon. Používá se pro přeupnutí obrobku na jeho konec. Tímto lze snížit výrobní čas, protože se obrobek nemusí přeupínat ručně, nebo nemusí být nikam přemísťován. Pokud však stroj nabízí protivřeteno a součást je třeba obrábět i v protivřetení, musí stroj mít k tomu přizpůsobené nástroje v revolverové hlavě. Osa Y umožňuje pohyb nástroje kolmo k ose Z. Současně se osa nástrojové hlavy, která reprezentuje osu Y, může pohybovat ve směru osy X. Díky této ose jsme schopni obrobek obrábět poháněnými nástroji radiálně k ose soustruženého obrobku a obrábět tak tvarově složité obrobky na jedno upnutí a snížit tak strojní čas na výrobu jednoho dílu. Hlavní přínos osy Y při soustružení je tedy v

možnosti provádět mimoosé operace, jako je například vrtání, vyvrtávání, vystružování děr, tvorba mimoosých drážek, tvarových drážek, tvorba mimoosých tvarových ploch a frézování děr a závitů. Nevýhodou však jsou malé vzdálenosti pojezdů v ose Y. Další nevýhodou, kterou osa Y přináší, je snížení tuhosti nástrojové hlavy, která je upevněná na loži v suportu.



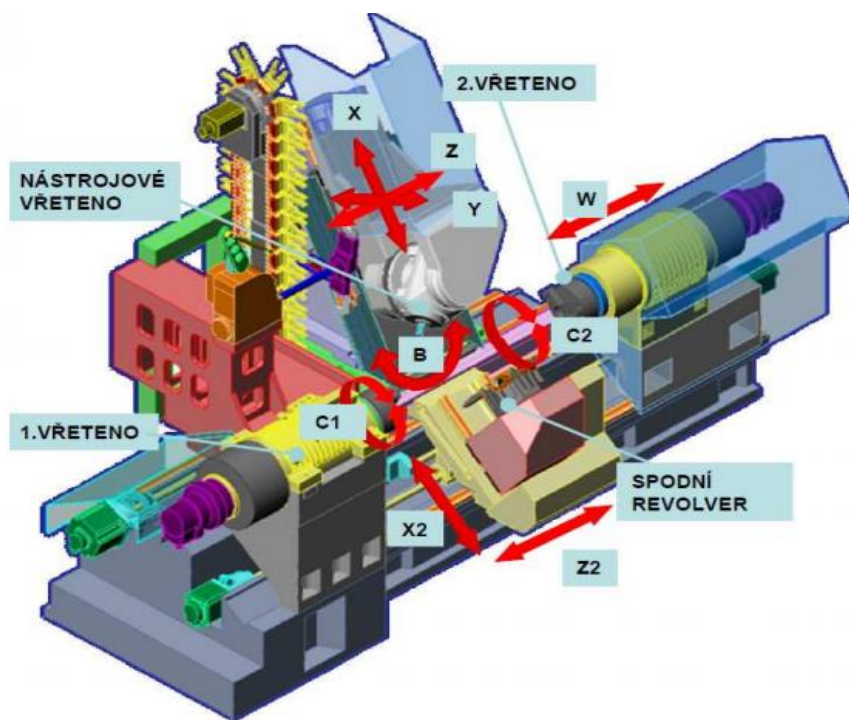
Obr.3 Popis os obráběcího centra [11]

Přidáním nástrojového vřetene, které je řízené osou B, jsme na soustružnickém centru schopni nejen soustružit a provádět operace v ose obrobku, ale také například frézovat radiálně k ose obrobku. Jednou z nejlepších modifikací je stroj, který obsahuje protivřeteno, dvě hydraulické lunety a dvě revolverové hlavy. Zde dokážeme řídit jednotlivé nástroje, a to dokonce i v ose rovnoběžné s hlavní osou obrobku. Výhodou takového stroje je možnost obrábět dvěma nástroji najednou a snížit tak strojní čas. Příkladem obrobků jsou například dlouhé hřídele, které jsou obráběny ve dvou místech najednou. Musí však být obráběny na stejném průměru kvůli měnícím se rezným rychlostem na různých průměrech. Další aplikací takového stroje je například možnost výroby drážkování nebo ozubení odvalováním tak, že obrobek, který je obroben z jedné strany, se v hlavním vřeteni přeupne do protivřetene. Následně se v hlavním vřeteni začne obrábět stejný kus a v protivřeteni se obrábí druhý konec výrobku. [12]



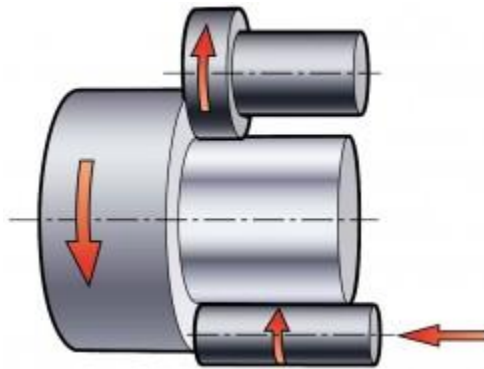
Obr.4 Obrábění dvěma nástroji [12]

Dalším velmi dobře vybaveným strojem, který kombinuje technologie obrábění, je stroj na obrázku č.5. Je to stroj vybavený hlavním vřetenem s řízenou osou C, naproti hlavnímu je vřetenem druhé, které slouží k přepnutí obrobku, nebo k upnutí obrobku společně s vřetenem hlavním. V horní části stroje se nachází frézovací vřeteník, který se dokáže pohybovat ve směru všech tří hlavních os stroje, a dokonce se natáčí kolem své vlastní osy. Díky tomu lze frézovat velmi složité obrobky, vyrábět ozubení, nebo vrtat do dílu pod úhlem. Do vřeteníku lze upnout celou řadu nástrojů, ať už to je fréza, vrták nebo brusný kotouč, ale také soustružnický nůž. Tudiž se při rotaci obrobku dá pomocí frézovacího vřetene i soustružit. U některých strojů se ještě setkáme s pojízdným suportem s revolverovou hlavou, ve které jsou nástroje pro soustružení na hlavním vřetení.

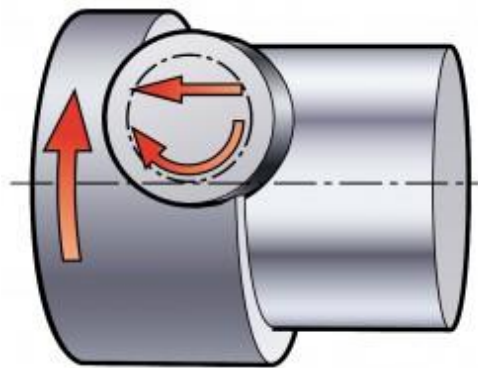


Obr.5 Obrázek os CNC soustružnického centra [13]

Zajímavou technologií, kterou koncepce s frézovacím vřeteníkem přináší, je rotační frézování. Jde o frézování, kdy fréza rotuje okolo své osy a zároveň koná pohyb rovnoběžný s osou obrobku. Při tomto způsobu frézování obrobek rotuje kolem své osy. Rychlost otáčení obrobku by měla být stejná jako doporučená hodnota posuvu na zub pro danou destičku frézy. Díky této technologii se dají vyrábět excentrické tvary, jako jsou například vačky hřídelí, nebo turbíny. Nespornou výhodou tohoto způsobu obrábění je také vysoká kontrola nad tvorbou třísky. Při soustružení některých materiálů, jako je například titan, se při soustružení utváří dlouhá, nepřerušovaná tříska, která může poškodit nástroje, nebo znehodnotit obráběný díl. Kvůli nepřerušované třísce se také špatně odvádí teplo ze stroje, a to ovlivňuje jeho tuhost. Při rotačním frézování se totiž tříska po krátkých úsecích dělí a nemůže tak dojít k poškození stroje. Rotační frézování můžeme provádět jak čelním frézováním, tak frézováním obvodem frézy. Oba způsoby mají své výhody a nevýhody. Výhodou čelního rotačního frézování je možnost tvarového obrábění a díky využití nástrojů s menším průměrem dochází k menšímu krouticímu momentu. Nevýhodou však je nedokonalá válcovitost obrobenej plochy a nemožnost obrábění vnitřních ploch. Oproti tomu rotační frézování obvodem frézy nabízí obrábění vnitřních ploch i solidní válcovitost, ale postrádá možnost tvarového obrábění. Kvůli většímu průměru nástrojů také dochází k větším krouticím momentům. [14]



Obr.6 Rotační frézování boční [14]



Obr.7 Rotační frézování čelní [14]

Dalším zajímavým příkladem je soustruh s nástrojovými lištami. Tento typ stroje se využívá pro složité součásti většinou menších rozměrů, na kterých je potřeba provádět více technologických operací. Jedná se o složité součásti zejména pro zdravotnictví nebo pro specifické obory průmyslu. Obrobek je v takovém stroji upnut pohyblivě v axiálním směru. Pomocí vysouvání obrobku je možno obrábět díl po celé jeho ploše. Jedná se o takzvaný koncept dlouhotočného centra. Vedle vřetene se nachází suport, který má v lištách připevněny soustružnické nástroje. Suport se může pohybovat ve dvou směrech, a to radiálně k součásti a svisle ve směru osy Z. Díky posuvu v ose Z je možno měnit soustružnické nástroje a pomocí radiálního posuvu získáme možnost nastavovat průměrové hodnoty obrábění. Na suportu se také nacházejí axiální hnané nástroje, jako jsou frézy nebo vrtáky. V další části se také nacházejí opět nástroje radiální, tentokrát už ale hnané, a to opět frézy a vrtáky. V druhé části stroje se nachází protivřeteno, které je vybaveno posuvem v ose obrobku a může tak upnout

obrobek z již obrobené strany. Pomocí druhého suportu pro druhé vřeteno obrobí součást i z druhé strany.



Obr.8 Nástrojové lišty [15]

Soustružnická obráběcí centra nejsou jen horizontální, ale také vertikální. Takové stroje se nazývají vertikální soustružnická obráběcí centra. Hlavním rozdílem je tedy směr osy rotace obrobku, který není horizontální, ale vertikální. Tyto stroje nejsou primárně určeny na obrábění dílů z tyčových polotovarů jako stroje horizontální. Jejich využití nalezneme u přírubových součástí o velkých průměrech, které by se na horizontálních soustruzích těžko obráběly. Stroj se skládá z hnané desky stolu, lože, stojanu, příčnicku s náhonem zvedání, saňové části suportu s náhonem (osa X), smykadlové část suportu se smýkadlem a jeho náhonem (osa Z) a z náhonu rotačních nástrojů s upínáním.



Obr.9 Vertikální soustruh [16]

Obrobek se upíná na otočnou desku stolu. Rotace desky stolu zajišťuje hlavní řezný pohyb. Rotační osa stolu bývá velmi často řízená jako osa C a umožňuje tak přesné polohování obrobku pro další technologické operace. Díky hnaným nástrojům v nástrojové hlavě je možné také například frézovat, vrtat a vyvrtávat. [9]

Stroj SP 280 MC je horizontální obráběcí centrum společnosti Kovosvit MAS. Stroj je osazen hlavním vřetenem o výkonu 27 kW, protivřetenem disponuje výkonem 9kW a otáčkami 6000 ot/min. Nástrojová hlava je upevněna na saních, které umožňují pohyb v ose Y a Z1. Maximální otáčky nástrojového vřetene jsou 4000 ot/min a výkon vřetene je 8 kW. Na stroji lze obrábět díly o maximálním průměru 280 mm a délce 550 mm. Maximální hmotnost obrobku, který je upnutý mezi dvě vřetena, je 350 kg. [17]



Obr.10 Soustružnické obráběcí centrum [17]

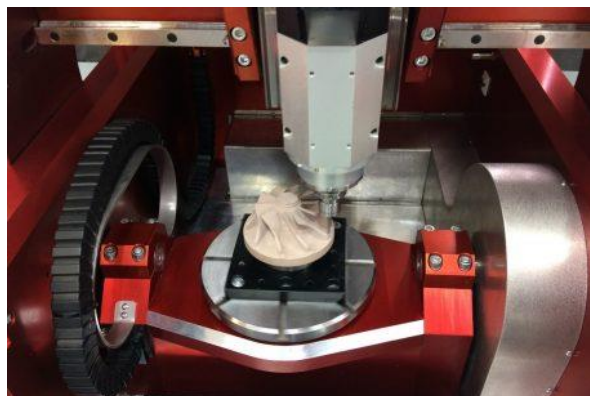
4.1.2 Obráběcí centra pro nerotační součásti – frézovací

První skupinou frézovacích strojů jsou stroje konvenční. Můžeme je dělit na frézy stolové nebo konzolové, dále na horizontální konzolové frézy a portálové frézy. Konvenční frézovací stroje jsou v dnešní době vytlačovány CNC frézovacími stroji, které rozšiřují možnosti obrábění. Klasickým zástupcem frézovacích strojů je tříosá stolová frézka. U takového stroje se pohybuje stůl s obrobkem v ose X a Y a vřeteník se pohybuje v ose Z. Výhodou této koncepce je to, že pohyb v ose Z nevykonává stůl, ale vřeteník. To má za následek větší tuhost stolu a díky menší hmotnosti vřeteníku lze lépe seřizovat přesnost stroje. Tento typ stroje bývá často dovybaven čtvrtou osou, která je realizována pomocí děličky. Díky děličce jsme schopni na stroji vyrábět například šroubové drážky. Stroje ale běžně mají i čtvrtou a pátou řízenou osu. Tyto dvě otočné osy umožňují nástroji natočit se k obrobku z libovolné strany i úhlu, samozřejmě kromě strany spodní. Čtvrtá a pátá řízená osa bývá realizována pomocí otočné hlavy, ve které je vřeteník.



Obr.11 Frézovací hlava [18]

Velmi častým řešením při přidání čtvrté a páté řízené osy je takzvaná kolébka s otočnou osou A a s otočným stolem s osou C.



Obr.12 Naklápěcí a otočný stůl [19]

Tato pětiosá obráběcí centra se dnes těší velké oblibě, a to zejména díky jejich univerzálnosti. Do otočného vřeteníku se dají upínat nejen frézovací nástroje, ale i nástroje na broušení či vrtání. Na některých frézovacích centrech je možné i soustružení, a to díky rotaci stolu okolo řízené osy C. Do frézovacího vřeteníku se upne soustružnický nůž a frézovací vřeteník se zamkne. Výrobci často udávají takovéto soustružení za velmi účinnou technologii. Je potřeba ale zmínit, že se jedná o soustružení s omezenými možnostmi. Vřetenem, ve kterém je soustružnický nůž upnut, musí být velmi tuhé, aby nedocházelo k nepřesnostem při obrábění. S tím je spojen menší úběr materiálu a tím zapříčiněná delší doba soustružení než na soustružnickém stroji. Aby stroj mohl dosáhnout vysokých otáček, je nutné obrobek na stůl velmi přesně upnout, aby nedocházelo k házení vyvolaném nevyvážeností stolu. Jako příklad uvádím stroj NMV5000 DCG. Stůl takového stroje je schopen dosáhnout až 1200 otáček/min. Další nevýhodou soustružení na frézovacích obráběcích strojích je samotný otočný stůl. Jedná se tedy o tuhost stolu. Pokud je například frézka bez zabudovaného natáčecího stolu a stůl je přimontován dodatečně, dochází k rapidnímu úbytku tuhosti a k nepřesnému obrábění. Na frézovacím centru se dá soustružit dvěma způsoby; buď má obrobek osu obrábění svislou a je tedy položen a upnut na vodorovném stole, nebo je obrobek upnut v děličce a osa obrobku je tedy kolmá na osu Z. V prvním případě působí silové účinky při soustružení pouze tlakem do stolu a nedochází k velkým deformacím, zatímco při upnutí do děličky dochází k velkým ohybům a stroj ztrácí na tuhosti. Další nevýhodou tohoto konceptu je o mnoho menší výkon stolu oproti soustružnickému vřetení a soustružení tak není výkonné jako na soustružnickém obráběcím centru. [20]



Obr.13 CNC Frézka s popisem os [20]

Další nevýhodou takového centra je ovšem jeho vysoká cena, a je proto nutno zhodnotit, na co bude stroj využíván. Na pětiosém obráběcím centru dokážeme obrobít díly se složitou geometrií a vysokou přesností díky tomu, že obrobek není potřeba přeupínat.

Stroj VARIAXIS j-500/5X je vertikální obráběcí centrum společnosti Mazak. Stroj je vhodný pro pětiosé obrábění, díky pojezdu frézovacího vřetene v ose X, Y a Z společně s naklápěcím stolem, který rotuje kolem osy C. Na stroji lze obrábět obrobek o maximálním průměru 500 mm a výškou 350 mm. Vřeteno dosahuje až 12 000 ot/min. Předností tohoto stroje je možnost vložit do stroje dvě palety s obrobky, přičemž na jedné se obrobek obrábí a na druhé je pomocí systému Palletech vyměněn hotový obrobek za nový polotovár. [21]



Obr.14 Frézovací obráběcí centrum [22]

4.1.3 Multifunkční obráběcí centra

Multifunkční obráběcí centra jsou stroje, které spadají do kategorie CNC obráběcích strojů. Tyto stroje ve velké většině případů slučují dvě základní operace třískového obrábění. Jedná se o soustružení a frézování, které jsou doplněny o další technologie, jako je například broušení nebo vrtání. Oproti obráběcím centrům je rozdíl v tom, že multifunkční centra mají základní operace třískového obrábění nastaveny na podobné výkonové úrovni. To znamená, že ani jedna z těchto operací není na stroji dominantní. Dalšími vlastnostmi těchto center je automatická výměna nástrojů a také schopnost stroje pracovat v automatickém cyklu. K těmto charakteristickým znakům obráběcích center se také často připojují prvky základního měření, automatická výměna obrobku a také umělá inteligence. [23] [24] [25]

Důvody, které vedly k vzniku takovýchto strojů, jsou:

- Možnost zakoupit pouze jeden stroj, který dokáže více operací. (nemusí se kupovat více drahých strojů)
- Zkrátit čas opracování obrobku a zlepšit jakost povrchu.
- Docílit vyšší přesnosti díky obrobení dílu na co nejmenší počet upnutí.
- Zkrátit čas obrábění díky malému počtu upnutí. [23] [24]

4.1.3.1 Rozdělení multifunkčních obráběcích center

Multifunkční obráběcí centra se dělí na semimultifunkční, soustružnická a frézovací. Každá skupina se dělí na další, podle obrázku.



Obr.15 Rozdělení obráběcích center [10]

4.1.3.2.1 Semimultifunkční obráběcí centra

Semimultifunkční obráběcí stroje tvoří přechod mezi soustružnickými a frézovacími obráběcími centry a multifunkčními obráběcími centry. Typickým znakem těchto strojů je zvýšený počet stupňů volnosti a to buď v nástroji, anebo v obráběném dílu. Zvýšení stupňů volnosti se realizuje pomocí otočné vřeteníkové hlavy anebo pomocí otočného stolu v kolébce. Dalším typickým znakem těchto strojů je doplnění soustružnických operací k frézovacím strojům. Stroje mají soustružnický nástroj upnutý buď přímo anebo využívají technologii turn-milling. [24] [10]

4.1.3.2.2 Soustružnická multifunkční obráběcí centra

Uspořádání částí multifunkčního soustružnického stroje je velmi podobné soustružnickému obráběcímu centru. Stroj má šikmé lože. Na loži se nachází vřeteno a protivřeteno a revolverové hlavy. Typickou součástí multifunkčního soustružnického centra je naklápěcí vřeteníková hlava. Tato hlava rotuje kolem osy Y a díky této ose je možné nástroj na obrábění nastavit k obrobku pod libovolným úhlem. Druhou možností uspořádání stroje je, že nástroj vykonává lineární pohyb ve třech osách oproti dvěma proti sobě ležícím vřetenům. Ve spodní části se také nachází revolverová hlava s nástroji. I pro tento stroj je typická vřeteníková naklápěcí hlava B. V některých modifikacích těchto strojů bývá protivřeteno nahrazeno koníkem. V praxi se setkáváme s dvěma druhy multifunkčních obráběcích center. Základní odlišnost těchto dvou koncepcí spočívá ve výsuvu vřeteníku, ve kterém je obráběcí nástroj. V prvním případě se vřeteník posouvá společně s celým stojanem a v případě druhém je vysouváno pouze smykadlo nesoucí vřeteník.



Obr.16 Soustružnické multifunkční centrum [26]

Velkou výhodou takových strojů s více revolverovými hlavami je možnost obrábět obrobky hned několika nástroji najednou. Dosahuje se tak zkrácení času obrábění, a pokud proti sobě zároveň obrábějí dva nástroje, nedochází k tak velkým průhybům na například obráběných hřídelích. Pokud obrobek nelze obrábět dvěma nástroji najednou, je možné napojit operace hlav hned za sebe a ušetřit tak čas s výměnou nástroje. Také je možné použít nožovou hlavu jako pevnou lunetu. [24] [10]

4.1.3.2.3 Frézovací multifunkční obráběcí centra

Tyto stroje vycházejí z frézovacích obráběcích center. Typickým příkladem obrobků, pro které se tato centra používají, jsou obrobky pro automotive a aerospace. Většinou se jedná o obrobky menších a středních rozměrů. Stroje také často poskytují možnost automatické výměny nástrojů a palet. Tato centra se dále dělí na stroje s pohyblivým stojanem, s nepohyblivým stojanem a portálová.

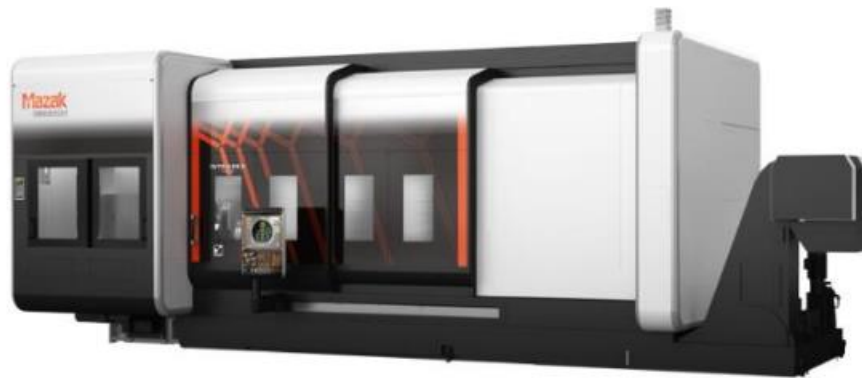
Stroje s nepohyblivým stojanem se vyznačují tím, že mají pevný stojan, ke kterému je napevno a kolmo ke stojanu připevněno lože se saněmi. Na loži se nachází poháněný otočný stůl, ke kterému je možno upnout paletu. Stůl se pohybuje v ose X a otáčí se okolo osy C. Stojan, který se pohybuje v ose Z, nese univerzální obráběcí hlavu.

Stroje s pohyblivým stojanem odpovídají svojí stavbou horizontálním vyvrtávacím strojům. Odlišností oproti předešlé skupině strojů je pohyblivý stojan. Vedení stojanu bývá realizováno pomocí valivého vedení. [24] [10]

4.1.3.2.4 Portálová centra

Tato centra se hodí na obrábění obrobků velkých velikostí a obrobků technologicky náročných. Tyto stroje dělíme do tří skupin. První skupinou jsou horní gantry. Tato centra mívají takzvanou modulární stavbu. Základ stroje bývá tvořen buď betonovými, nebo litinovými stěnami. Na těchto masivních stěnách bývá umístěno vedení, které slouží k pohybu saní a smykadel. Příčnick se posouvá ve směru osy X. Další pohyby stroj umožňuje v ose Y a Z. Aby stroj dokázal obrábět i složité součásti, je na stroji také otočný soustružnický stůl. Druhou skupinou jsou spodní gantry. U těchto center se pohybuje portál. Mezi portálem se nachází pevný pracovní stůl. Ten často bývá doplněn stolem soustružnickým. Na portálu je připevněno smykadlo s obráběcí hlavou. Třetí skupinou jsou portálová centra s pohyblivým strojem. Tato centra mají pevně ukotvenou portálovou konstrukci a pohyb ve směru X vykonává pohyblivý stůl. Běžný je u těchto strojů také zdvih stolu. [24] [10]

Stroj INTEGREX i-500 je horizontální multifukční obráběcí centrum společnosti MAZAK. Vertikální provedení výrobce uzpůsobuje pro jeho systém Pallettech. Stroj je vybaven velmi dlouhým ložem, které je dlouhé až 3000 mm. Stroj je tak vhodný pro obrábění dlouhých obrobků. Výrobce uvádí, že je stroj osazen kompaktním frézovacím vřeteníkem, který díky své malé velikosti poskytuje větší prostor pro obrábění. Kromě frézovacího vřeteníku je stroj osazen hlavním horizontálním vřetenem o výkonu až 30 kW. Vysoká přesnost stroje je zajištěna vysokou tuhostí stroje společně se systémem odměřování pro osy B a C. Stroj je také připraven pro automatizaci. K stroji lze připojit portálového robota, nebo kloubový robot, který je uchycen v podlaze u stroje. [21]



Obr.17 Multifunkční obráběcí centrum [21]

4.2 Zhodnocení obráběcích center

Obráběcí centra jsou v průmyslu velmi užitečným nástrojem pro výrobu. Díky kombinace technologií na jednom stroji zvyšují produktivitu práce a poskytují větší variabilitu pro výrobu. Je třeba ale zdůraznit, že kombinování technologií na jednom stroji má jistá omezení. Sekundární operace obrábění, jako je například frézování na soustružnickém obráběcím centru, jsou pouze doplňkové. Oproti primárním operacím se výrazně zmenšují výkony vřeten poháněných nástrojů, a tudíž neumožňují procesy obrábění, které by bylo možné provést na specializovaném stroji.

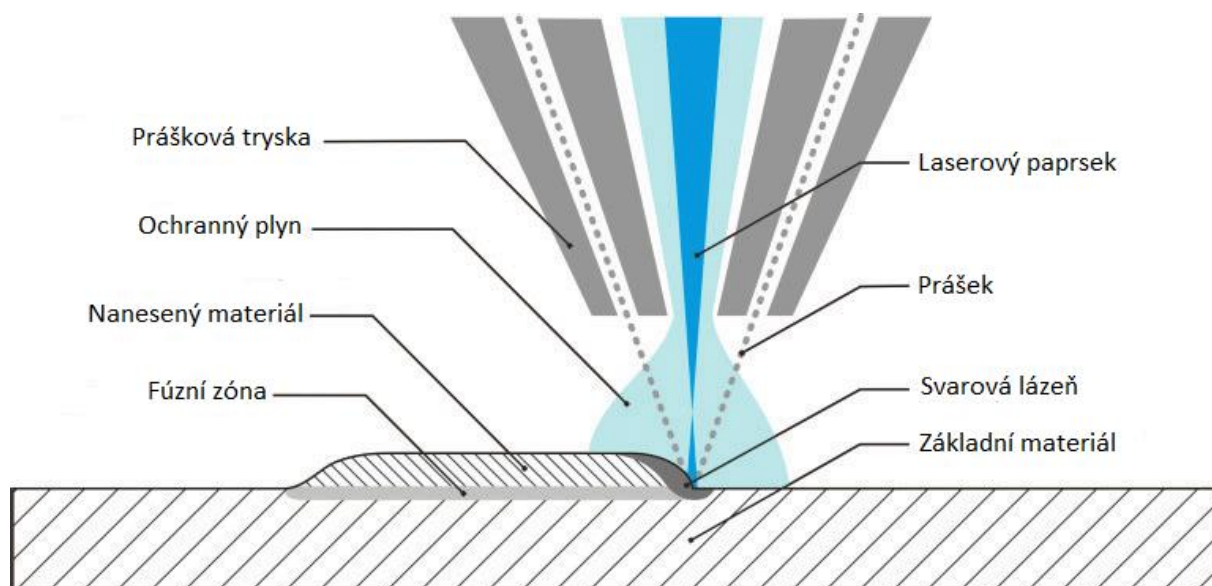
Výrobci takových strojů ve svých katalogích uvádějí pouze základní informace, jako jsou výkony vřeten, otáčky, rozměry stroje, nebo maximální možné rozměry obrobku. Pro přesnost stroje je velmi důležitá tuhost lože. Lože se u obráběcích center se vyrábí ve dvou

variantách. První možností je lože vytvořené jako svařenec. Pro výrobce je to velmi výhodné řešení. Výroba svařence je totiž levná a technologicky relativně jednoduchá. Nevýhody takového lože jsou však zřejmé. Svařenec je totiž velmi náchylný na teplotní vlivy, které na něj působí z okolí při obrábění součástí. Ve svařenci vznikají pnutí a začíná se kroutit. To znehodnocuje výrobu a stroj ztrácí přesnost. Proto stroje, které mají lože vyrobené jako odlitek, jsou mnohem spolehlivější a jejich přesnost se s časem nemění tak rychle, jako u svařencových loží. Nevýhodou je technologická náročnost výroby takového lože a samozřejmě cena, která je o mnoho vyšší než cena svařence. Důležité je také vedení suportů, koníka nebo vřetene. Pokud se jedná pouze o vedení kluzné, je manipulace s částmi stroje velmi náročná. Proto je třeba dát pozor na poškození lože, ke kterému může dojít. Proto je mnohem efektivnější použít lineární vedení, například v podobě kuličkového šroubu, které zajišťuje lehkou manipulaci a při poruše se dá lehce vyměnit. Dalším důležitým parametrem je náhon vřetene. Pokud je vřeteno hnáno pomocí řemene, přináší to mnoho nevýhod. Řemen se musí měnit a má omezenou životnost. Další nevýhodou je možné proklouznutí řemene při záběru a tudíž nedostatečný přenos krouticího momentu na vřeteno. Výhodou vřetene hnaného pomocí řemene je ale možnost osazení stroje dutým vřetenem. To se využívá zejména u dlouhotočných soustruhů. Oproti tomu pohon vřeteno servomotorem napřímo je mnohem spolehlivějším řešením. Chlazení nástrojů je dalším důležitým prvkem stroje. Kapalina může být přiváděna do místa řezu pomocí externích trysek, nebo může být přiváděna středem vřetene. Přívod kapaliny středem vřetene přináší řadu výhod. Kapalina totiž nástroj nechladí pouze v místě řezu, ale v celé jeho délce. Nástroji se tak zvyšuje životnost a není nutné nástroj tak často brousit. Při přivádění chladicí kapaliny středem vřetene je ale nutné kapalinu hnát mnohem větším tlakem a je tak nutné do stroje zakomponovat výkonnější kompresor. To má ale své výhody, a to zejména při čištění stroje. Díky vysokému tlaku kapaliny je pracovní prostor možné velmi efektivně očistit od třísek a nečistot vzniklých při obrábění. Častým požadavkem bývá vybavení stroje korekční sondou. Ta umožňuje přesné nastavení nástrojů do řezu a jejich průběžné korekce a tím zvyšuje přesnost procesu obrábění.

5 Aditivní technologie na obráběcích strojích

Aditivní technologie jsou v současnosti velmi populárním a rychle se rozvíjícím oborem. Do roku 2020 měla tato technologie podle odhadu z roku 2018 dosáhnout růstu až o 50 %. Proto se na tuto technologii zaměřují všechny velké firmy v oboru.

Proto se budeme více zabývat technologií Laser Deposition Welding (LDW). Tato technologie se používá zejména v kombinaci s frézováním, soustružením a broušením. Přívod železného prášku je realizován pomocí inertního plynu do trysky, ze které je prášek dopraven až do upravované oblasti, kde je pomocí laserového paprsku navařen na materiál součásti a tím vznikne nová vrstva materiálu. Tato technologie navíc nepotřebuje k vytvoření nových 3D částí podpurné struktury. Tato technologie také umožňuje nanášet i jiné materiály, jako je například hliník a titan. [27]



Obr.18 LDW technologie [28]

Příkladem takového zařízení je například stroj od firmy DMG Mori s názvem LASERTEC 65 3D Hybrid. Na tomto stroji je možno obrábět součásti o rozměrech až 500x400mm a maximální hmotností 600 kg. Stroj kombinuje laserové navařování (laser o výkonu 2,5kW) s obráběním ze šesti stran pomocí frézování nebo soustružení. Výhodou takového zařízení je velká univerzálnost. Na jedno upnutí se zde dají obrobit celé součásti složitých dílů, jako jsou například části turbín. [29]



Obr.19 Laser tec - hybridní stroj [30]

Další aditivní technologií je svařování a navařování elektrickým obloukem technologií MIG/MAG. Jedná se o svařování v ochranné atmosféře. Podavač posouvá drát hlavicí až do místa svaru. Z hlavice jsou pod tlakem k místu svaru hnány ochranné plyny, které slouží ke stálosti elektrického oblouku a chrání ho před vnějšími vlivy. Mezi koncem drátu a obrobkem vzniká elektrický oblouk, který konec drátu roztaví a kapka kovu se přenesse do svarové lázně. Příkladem takového stroje je stroj WELDPRINT MCV 5X od firmy KOVOSVIT MAS. Jedná se o frézovací obráběcí centrum. [31]



Obr.20 Stroj umožňující technologii navařování elektrickým obloukem [31]

5.1 Zhodnocení kombinace aditivních technologií a konvenčního obrábění

Výhody strojů, které poskytují aditivní technologie, jsou zřejmé a využití stroj nachází například při opravě a renovaci dílů. Stroj je schopen výroby jakékoliv součásti a její následné obrábění. V případě kusové výroby nebo oprav malého počtu dílů se jedná o produktivní technologii, která je mnohdy rychlejší než vyrobení nové součásti. Navíc se díky tomu uspoří materiál, který by na novou součást musel být vynaložen. Pokud by se však jednalo o sériovou výrobu, je tento stroj nevhodný. Vytvoření celé nové součásti trvá hodiny a v některých případech i dny.

6 Obrábění laserem na obráběcích strojích

Další velmi perspektivní skupinou kombinovaných technologií na obráběcích strojích je spojení laseru a obráběcího stroje. Snahou je provádět na jednom stroji více technologií při použití pouze jednoho laseru. To znamená například mikrofrézování, leštění, kalení, řezání, svařování, značení, gravírování nebo vrtání malých děr. Výhodou laserových technologií je, že při operaci nedochází k fyzickému/mechanickému kontaktu s obrobkem. Laser je také schopen obrábět a upravovat těžko přístupné oblasti, kde by nebylo možné použít jiné technologie, například při vrtání v těžko dostupných místech, kam by se hlava s nástrojem nedokázala dostat, nebo jen s vrtákem velké délky, což by znamenalo veliké nepřesnosti z důvodu deformace nástroje vlivem vzpěru. Obrábění laserem se často používá pro velmi malé součásti, například při mikroobrábění. Laser dokáže například vytvořit velmi tvarově složitý otvor o velmi malých rozměrech. V praxi se používají tři základní varianty strojů: [32] [33]

1. K obráběcímu stroji se doplní laser – díky tomu jsme na stroji schopni provádět třískové obrábění v kombinaci s laserovou technologií, a to pouze při jednom upnutí.
2. Ke stroji se připojí laser, a to i k rámu a pracovnímu stolu včetně řízení a pohonů – díky tomu je na stroji možno vykonávat pouze operace prováděné laserem.
3. Laser se stane součástí výrobní linky. [32]

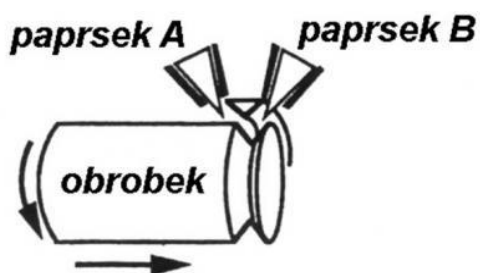
Stroje, které dnes obsahují laserové zařízení se dnes vyrábějí v následujících kombinacích:

- Frézka – kalení – mikrofrézování, popisování
- Frézka – mikrofrézování, odstraňování otřepů, leštění, kalení
- Frézka - frézování úzkých drážek, vrtání malých děr
- Frézka -popisování
- Soustruh - obrábění s předehřevem (obrábění keramiky a dalších těžce obrobitelných materiálů)
- Soustruh - kalení, popisování, gravírování,
- Soustruh - výroba úzkých drážek, kalení, popis, odstraňování otřepů
- Soustruh - nanášení materiálů metodou Rapid Prototyping (např. výroba osazeného pouzdra z polotovaru ve tvaru trubky) [32]

6.1 Laserové soustružení

První metodou soustružení laserem je obrábění s předehřevem. Tato metoda kombinuje konvenční třískové obrábění nástrojem a laser. Laser září do oblasti před břit nástroje, kam se břit díky posuvu posune. Tato oblast je tepelně ovlivněna a z tohoto důvodu se materiálu snižuje tvrdost a pevnost a zvyšuje se obrobiteľnosť.

Druhou metodou je odtavování materiálu z povrchu obrobku. Díky rotaci obrobku oproti stacionárnímu laseru se odtavuje vlivem záření laserového paprsku materiál, který je pomocí proudícího plynu odveden z místa obrábění. Třetí variantou obrábění laserem je odřezávání materiálu dvěma laserovými paprsky, které jsou vůči sobě naklopeny o daný úhel, který tvoří výseč, a vyřezávají tak do obrobku drážku, nebo odeberou materiál v podobě prstence. Pro soustružení laserem se používají CO₂ a Nd:YAG lasery s výkonem 500-2500W, respektive 100 – 500W. [32]



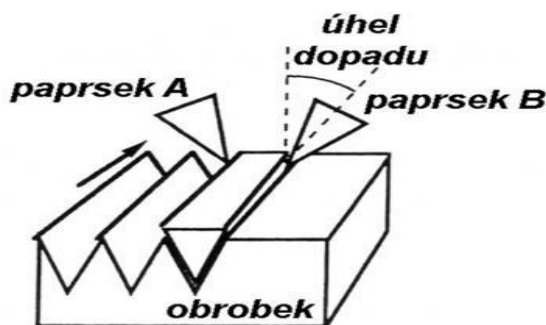
Obr.21 Obrábění laserem [34]



Obr.22 Odebraný materiál v podobě prstence pomocí laseru [34]

6.2 Frézování laserem

Stejně jako u soustružení laserem se u frézování setkáváme se stejnými principy obrábění. Jedná se o odtavování materiálu pomocí laserového paprsku a odřezávání materiálu dvěma laserovými paprsky, které vůči sobě svírají daný úhel. Pro frézování laserem se používají stejné lasery a to CO₂ a Nd:YAG laser s výkony 500-2500W a 100-500W. [32]



Obr.23 Frézování laserem [34]

6.3 Vrtání laserem

Hlavní výhodou vrtání laserem je možnost vrtání děr v nedostupných místech obrobku nebo vrtání velmi malých otvorů. Princip této technologické operace je založen na odporování materiálu. Jedná se o jednu z nejkomplicovanějších aplikací laseru na obráběcích strojích. K vrtání jsou používány takzvané pulzní lasery, které mají délku pulzu okolo 1ms. Jak již bylo napsáno, výhodou laseru je jeho schopnost vrtat díru i v nepřístupných místech, ale také jeho přesnost a schopnost opakovat operaci. Nedochozí také ke kontaktu s obrobkem, to znamená k mechanickému kontaktu s obrobkem. K tepelnému ovlivnění materiálu při vrtání laserem dochází stejně jako u vrtání mechanického. Výhodou vrtání laserem je, že laser ovlivní jen oblast bezprostředně v blízkosti místa vrtu, i když teplota, kterou laser odpařuje materiál, je značně vyšší, než teplota vzniklá třením vrtáku o materiál. To je dáno velikou rychlostí vrtání, kterou laser dokáže vyvrtat zejména díry velmi malých průměrů. Pomocí laseru jsme také schopni vrtat různé druhy otvorů například jednotlivými pulzy do jednoho místa a vytvořit tak malou díru od průměru 10–100 μm a výše, nebo vyřezáváním otvoru do materiálu vytvořit díru teoreticky jakkoliv velkou. Nespornou výhodou je také dlouhá životnost technologie, to znamená, že na rozdíl od vrtáku se laser neopotřebovává a nemusí se tak vyměňovat nebo brousit nástroj. [32]

Nejčastějším laserem, který se pro tuto technologii používá, je vláknový laser o výkonu 100 až 1000 Watt.

Dalšími druhy laserů jsou:

CO₂ lasery – ty se používají k vyřezávání tvarových i kruhových otvorů. Tento laser dokáže vyříznout díru o nejmenším průměru 5 mm a vyvrtat díru o nejmenším průměru 0.2 mm

Nd:YAG lasery – tyto lasery se používají pro vrtání děr o velmi malých průměrech a to například 0.025mm.

Excimerové lasery – používají se k vrtání děr do keramiky a mikrovrtání. [32]

6.4 Laserové značkování

Podobně jako u laserového vrtání je laserové značkování založeno na lokálním odpaření materiálu z obrobku. Značkování se provádí dvěma základními metodami. Při první metodě prochází laser takzvanou maskou. V masce jsou vyříznuty znaky, které má obrobek mít na sobě napsány. Laser pak na povrchu obrobku vytvoří požadovaný obrazec. Při druhé metodě se laserový svazek pohybuje po obrobku a vytváří obrazec tímto způsobem. Výhodou laserového značení je bezkontaktní použití na rozdíl od ražení, které materiál poškozuje. [32]

6.5 Laserové gravírování

Stejně jako u předešlých technologií je gravírování založeno na lokálním odpařování materiálu z povrchu obrobku. Tímto způsobem se do povrchu obrobku dají vytvořit 2D i 3D obrazce a vzory, ať už z důvodu estetického nebo funkčního (gravírované držadlo). Pro gravírování do kovu se nejčastěji používá laser Nd:YAG. Výhody technologie jsou nesmazatelnost vzoru a vysoká přesnost stroje. [32]

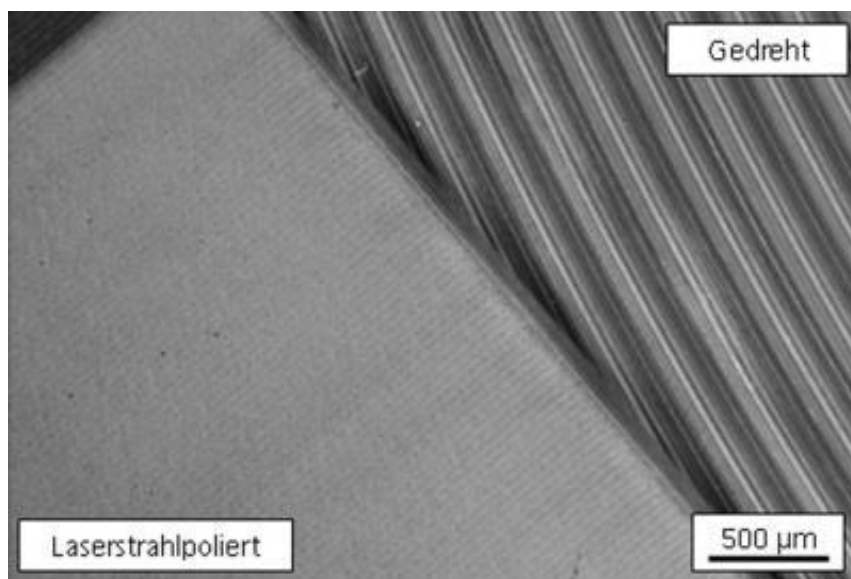
6.6 Ostření nástrojů pomocí laserové ablace

Princip takové technologie spočívá ve využití laserových pulzů k odpaření velmi malé vrstvy materiálu z povrchu součásti. Laser se zaměří na terč, v našem případě jde o obráběný nástroj. Vlivem záření laseru dochází k porušení struktury materiálu a chemickým změnám v materiálu a následnému uvolnění tepla, které způsobí odpaření materiálu v podobě aerosolu a par. Pro tuto technologii je možné použít jakýkoliv laser s dostatečným výkonem. Proto se tato technologie velmi často kombinuje například s gravírováním. Výhodou takové technologie je vysoká přesnost, která je klíčová pro řezné hrany nástrojů. Nástroj není zároveň při ostření tepelně ovlivňován. [32]

6.7 Laserové leštění povrchů

Laser se nejdříve používal k čištění povrchu součástí od mastnoty a nečistot. Jednalo se o pulzní laser, jehož délka pulzu byla od mikrosekund do nanosekund. Výkon laseru přitom byl volen tak, aby tepelně neovlivnil svrchní vrstvu materiálu a odpařil pouze nečistoty, zatímco při laserovém leštění dochází k natavení velmi tenké svrchní vrstvy obrobku ($\leq 100 \mu\text{m}$). Při takto malé tepelně ovlivněné hloubce materiálu dochází k zkvalitnění povrchu (snížení drsnosti). Zejména u kovových materiálů se používá laser Nd:YAG nebo Nd:Y.

Leštění může probíhat dvěma způsoby, a to buď pulzním režimem a nebo trvalým režimem. Při pulzním režimu se svrchní vrstva přetaví a zároveň se největší nerovnosti (nejvyšší body povrchu) vypaří. Leštěním pomocí laseru lze dosáhnout drsnosti Ra 0.1–0.2 μm . Další výhodou na rozdíl od mechanického leštění a čištění, které bylo předchůdcem této technologie, je bezdefektní povrch a zároveň povrch, na němž nezbyly žádné zbytky po čisticím. [35] [32]



Obr.24 Porovnání soustruženého a laserem leštěného povrchu [35]

6.8 Příklady strojů

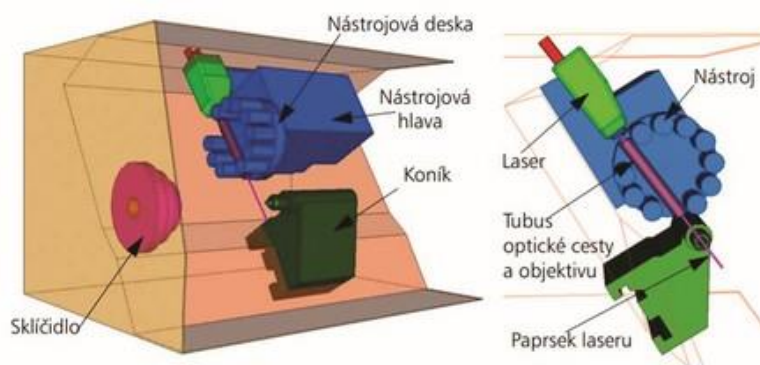
6.8.1 MCVL 1000 LASER

Obráběcí centrum MCLV 1000 Laser je běžné obráběcí centrum. Toto centrum má však na vřeteníku přidán laser typu Yd:YAG. Stroj je pětiosý a je vhodný na obrábění složitých součástí běžnými řeznými nástroji na jedno upnutí s možností použití laserových technologií po obrobení. Na stroji je možno díky laseru mikrofrézovat a popisovat laserovým paprskem. Stroj také nabízí možnosti frézování libovolných prostorových ploch, vrtat a vyvrtávat přesné díry. Umístěný laser má výkon 50 W. [36]

6.8.2 Soustruh SPM 16

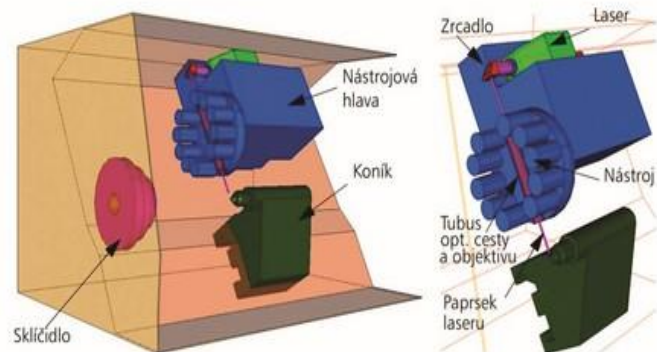
SPM 16 je CNC soustruh, který byl firmou Kovosvit MAS modifikován a bylo na něj přidáno laserové zařízení. Tento stroj je určen pro obrábění menších součástí. Na tomto soustruhu se řešilo optimální umístění laseru. Uvedu zde tři varianty: [36]

1. Laser se nachází v nástrojové hlavě nad nástrojovou deskou – výhodou takového umístění laseru je krátká optická vzdálenost, kterou musí paprsek laseru urazit. K správnému nasměrování laseru nejsou potřeba žádná zrcadla. Nevýhodou takového rozložení stroje je nutnost zvýšit jeho výšku. Do nástrojové hlavy lze upnout méně nástrojů než při jiných umístěních laseru. Laser je také nutné dokonale zakrytovat. [36]



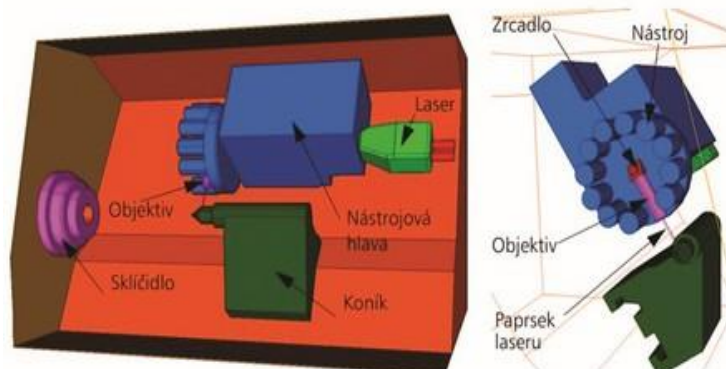
Obr.25 Umístění laseru na obráběcím centru [36]

2. Laser je umístěn na horní ploše tělesa nástrojové hlavy. Výhodou takového řešení je, že paprsek je veden mimo nástrojovou hlavu, kterou je chráněn. Laser také vykonává krátkou optickou cestu. Nevýhody takového rozmístění je nutnost zvýšit pracovní výšku stroje. Do nástrojové hlavy lze upnout menší počet nástrojů. Pro správné nasměrování laserového paprsku je nutné použít zrcadlo a zároveň zakrytovat optickou cestu. [36]



Obr.26 Umístění laseru na obráběcím centru [36]

3. Laser je umístěn za nástrojovou hlavou rovnoběžně s osou vřeten a je tak nástrojovou hlavou chráněn. Výhody takového řešení jsou nenutnost zvětšovat pracovní prostor stroje, možnost dobrého zakrytování optické cesty paprsku, do nástrojové hlavy je možné upnout pouze o jeden nástroj méně. Nevýhodou je nutnost rozšíření prostoru za vřeten, aby tam bylo možné laser umístit. Dále je nutné použít duté vřeteno, aby mohl laserový paprsek projít do pracovního prostoru. [36]



Obr.27 Umístění laseru na obráběcím centru [36]

6.9 Zhodnocení kombinace obrábění laserem oproti konvenčním technologiím

Oproti konvenčním technologiím jsou laserové technologie šetrnější k materiálu obrobku. Tepelně a mechanicky ho tak neovlivňují. Záporem laserových strojů je vysoká pořizovací cena oproti strojům konvenčním, avšak nabízí vysokou adaptaci na různé technologické problémy, které obyčejný konvenční stroj nabídnou nemůže. Další výhodou je, že při tomto způsobu obrábění není nutno řešit opotřebení nástroje díky bezkontaktnímu obrábění. Při obrábění laserem jsou zanedbatelné řezné síly a nedochází tak k elastickým deformacím. Hlučnost procesu je minimální. Laserové stroje pracují velmi rychle a s vysokou spolehlivostí a přesností a dají se lehce automatizovat. Obrobené plochy jsou čisté a hladké, takže nepotřebují žádné dokončovací operace. Nevýhodou je naopak vysoká spotřeba elektrické energie, kterou musíme dodávat paprsku a také vysoká spotřeba aktivních médií, které se používají například při odvádění nataveného materiálu. Navíc lasery mají nízkou energetickou účinnost. Další nevýhodou laserového obrábění jsou dlouhé časy obrábění oproti konvenčním technologiím jako je soustružení. Je to způsobenou malou tloušťkou odebíraného materiálu.

7 Broušení na obráběcích strojích

Při výrobě součástí, na které jsou kladeny vysoké požadavky, co se přesnosti a jakosti povrchu týče, nedokázala konvenční soustružnická a frézovací centra docílit daných parametrů pouhým obráběním nástroji. Například při soustružení na čisto se dosahuje parametrů drsnosti $Ra=1,6 - 12,5$ přesnosti třídy IT 9–11 a při jemném obrábění dosahují hodnoty $Ra=0,2-1,6$ třídy přesnosti IT 5–8. To u mnohých součástí nejsou dostatečně dobré parametry a obrobek musel být přenesen do brusného centra, kde byl dokončen. To ovšem přináší komplikace z hlediska přesnosti z důvodu nutnosti znovu upínat obrobek do stroje a také nutnosti vlastnit druhý stroj. Proto se do obráběcích center začala implementovat technologie broušení. [37]

Broušení je realizováno pomocí brusných kotoučů. Kotouč je tvořen pojivem, do kterého jsou zasazena brusná zrna. Podle usazení zrn v pojivu se určují parametry kotouče. Ideální kotouč je konstruován tak, aby neztrácel na úběru a zároveň nedocházelo k nadměrnému vzniku tepla při broušení. Pokud kotouč neztrácí na úběru, a sám se naostřuje není nutné tak časté orovnávaní kotouče, a tudíž nedochází k tak velkému opotřebení orovnávacích nástrojů. [38]

Firma DMG Mori nabízí hned několik strojů, které dokáží kombinovat soustružení, frézování a broušení. Prvním takovým strojem je CTX gamma 2000 TC. Jedná se o stroj pro šestistranné kompletní obrábění. Příkladem dílu, který se na tomto stroji vyrábí, je šneková hřídel. Stroj má hlavní a vedlejší vřeteno. Hlavní vřeteno má výkon 50kW a 4000ot/min a slouží primárně k upnutí obrobku. Vedlejší pomocné vřeteno o výkonu 40kW a otáčkách 5000ot/min slouží k pohánění nástrojů při obrábění a je možné ho natáčet podle potřeby v rovině ZY až o 120°. Pomocné vřeteno má revolverovou hlavu a poháněný nástroj, ve které je již zmíněný soustružnický nůž, fréza a brusný kotouč. Na příkladu šnekové hřídele, na které se brousí části hřídele bez šnekového závitu, si popíšeme princip broušení na takovém stroji. Kotouč se před použitím orovná o nástroj, aby pracoval s dostatečnou přesností. To spočívá v rotaci kotouče okolo osy vřetene, ve kterém je upnuto, a v kontaktu s brusným nástrojem. Poté dochází k samotnému broušení. Aby nedocházelo k enormnímu ohřevu při broušení, je do místa obrábění přivedeno chladicí médium. Většinou na bázi oleje. V těle hřídele, na které je brusný kotouč, je vestavěný akustický senzor pro broušení. Akustický senzor snímá akustické emise v místě dotyku kotouče a obrobku nebo orovnávače a brusného kotouče. Díky zvukovým emisím je možno indikovat změny řezných sil. Díky těmto

znalostem lze provádět při broušení automatické korekce. Takový stroj dosahuje velmi kvalitních parametrů povrchu a to $R_a < 0,4 \mu\text{m}$, $R_z < 2,5 \mu\text{m}$ a kruhovitosti $< 3 \mu\text{m}$. [29]



Obr.28 Broušení na CNC stroji [29]



Obr.29 Příklad stroje s kombinovanou technologií broušení [29]

7.1 Zhodnocení kombinace broušení na obráběcích centrech

Z popisu by se mohlo zdát, že stroje, které nabízejí takové kombinace, obrábění jsou velmi výhodné a produktivní. Proč tedy na trhu není takovýchto strojů více? Odpověď na tuto otázku spočívá právě ve všestrannosti stroje, která ovšem má své velké nedostatky. Tyto stroje nabízejí implementované broušení, ale jedná se pouze o broušení kosmetické, a tudíž jen zlepšení drsnosti R_a . Každá tato technologie totiž využívá jiné silové operace. Při soustružení vznikají tangenciální síly, které vyvolávají kroučící moment. Při frézování vznikají často síly axiální a při broušení dochází k radiálnímu zatížení kotouče. Proto uložení stolu a konstrukce každého stroje, v tomto případě soustruhu, frézky a brusky je jiné z důvodu právě silových poměrů. Při přidání frézovacího vřetene do soustružnického centra, do kterého se upíná fréza nebo brusný kotouč, proto dochází k nedostatečné kompenzaci deformací a stroj ztrácí na tuhosti a přesnosti. Z toho důvodu nejsou na stroji možné náročné operace broušení o velkých silách.

8 Návrh další možné kombinace technologií

V předešlých kapitolách této práce jsem uvedl mnoho technologií, které se mezi sebou kombinují a vytvářejí tak stroje, které jsou pro dnešní dobu již typické. Cílem této části bude objevit možnou kombinaci technologií, které se spolu v kombinaci na jednom stroji nenacházejí a zhodnotit, zda má taková kombinace technologií uplatnění a je možné ji realizovat nebo takovou možnost vyloučit a uvést, proč je to nemožné.

Po rešerši, kterou jsem si provedl, se budu ubírat směrem kombinace ultrazvukového obrábění v kombinaci s frézováním a využití obrábění vodním paprskem v kombinaci s frézováním. Ultrazvukové obrábění může být realizováno dvěma fyzikálními principy. Prvním principem je ultrazvukové obrábění abrazivní suspenzí. Druhou metodou je ultrazvukové vrtání brousícími kotouči.

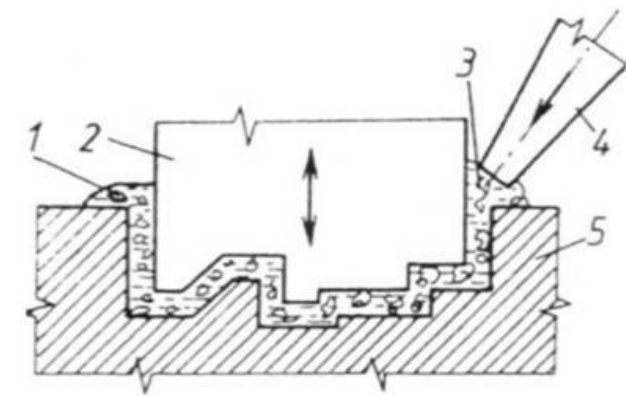
8.1 Ideový návrh kombinované technologie obrábění

ultrazvukem a frézováním

Ultrazvukové obrábění je velmi přesným způsobem obrábění, který se využívá například při výrobě velmi tvarově složitých součástí pro zdravotnictví, jako jsou například implantáty. Ultrazvukové obrábění lze realizovat dvěma způsoby.

8.1.1 Ultrazvukové obrábění abrazivní suspenzí

Do místa obrábění je mezi nástroj a obrobek přiváděna suspenze obsahující abrazivní částice. Nástroj kmitá ultrazvukovou frekvencí 18-25 kHz. Zrna jsou vlivem kmitání nástroje přitlačována do obráběného materiálu a způsobují tak odštěpování materiálu z obrobku a realizují tak úběr materiálu. Proces je možný díky šíření vln mechanického kmitání v kapalině. Tento jev se nazývá kavitace. Suspenze slouží nejen jako přívod abrazivních zrn, ale také odvádí obrobený materiál. Touto metodou se dají obrábět tvrdé a křehké materiály. Například sklo, kevlar, keramika, karbid, ferit a diamant. Tato technologie také umožňuje vyrábění velmi tvarově složitých útvarů, jako jsou například tvarové drážky. Při obrábění touto metodou dochází k úběru materiálu téměř pouze pod spodní stranou nástroje. Na stranách nástroje k úběru materiálu dochází sice také, ale v porovnání se úběrem materiálu ve spodní straně je velmi malé. Otvor, který tak vznikne, je větší než samotný nástroj. Na rozdíl velikostí má vliv velikost abrazivního zrna. [39] [40]

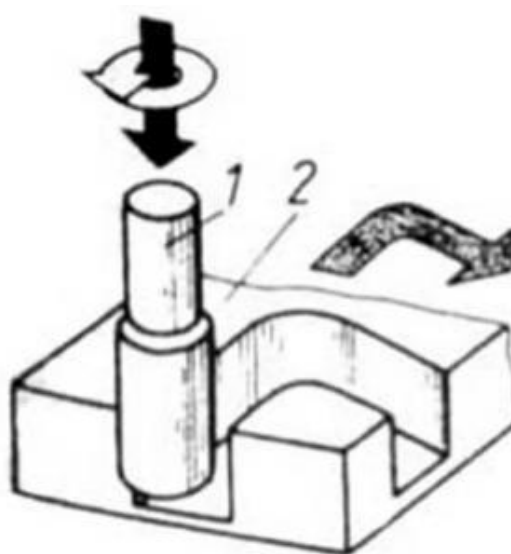


1- kapalina, 2-nástroj, 3-brousící zrna, 4-přívod brusných zrn a kapaliny, 5-obrobek

Obr.28 Princip metody obrábění ultrazvukem pomocí abrazivní suspenze [40]

8.1.2 Ultrazvukové vrtání brousícími diamantovými nástroji

Úběr materiálu pomocí technologie ultrazvukového vrtání brousícími diamantovými nástroji je realizován pomocí diamantového nástroje, který kmitá ve směru své osy a zároveň kolem osy rotuje. Otáčky nástroje jsou velmi vysoké a mohou být až 60 000 ot/min. Nástroj je k obrobku přisouván stálou silou a do místa obrábění bývá přiváděna chladicí kapalina. Ta kromě chlazení nástroje a obrobku také odnáší obrobený materiál pryč z místa obrábění. Touto technologií lze obrábět nejen těžko obrobitelné materiály, ale také kovy. Oproti konvenčnímu rotačnímu vrtání je také výhodou, že nástroj nemusí být v průběhu obrábění vytahován za účelem odstranění třísek. Nástroje, které se používají, jsou většinou vyrobeny z rychlořezných ocelí a jsou impregnovány diamantovým brusivem. [39] [40]



Obr.29 Vytváření průchozí drážky diamantovým nástrojem [40]

8.1.3 Ideový návrh konstrukce stroje

Při ideovém návrhu stroje vycházím z již známých konstrukcí strojů. Na obrázcích jsou stroje od společnosti DMG Mori. Na obrázku vlevo vidíme vertikální frézku. Vpravo je stroj, který umožňuje obrábění pomocí ultrazvuku. U výrobce není dostupná výkresová dokumentace, ze které by se dalo s jistotou konstatovat, že se jedná o velmi podobnou konstrukci strojů, avšak po vizuální stránce jsou si stroje svojí konstrukční stavbou velmi podobné. Oba stroje mají vertikální vřeteno, obrobek je upínán na stůl, který je v horizontální poloze.

Rozdílem, který mezi stroji je a který by mohl přinést potíže při konstrukci takového stroje je právě vertikální vřeteno. U frézky se jedná o vřeteno, které má maximální otáčky 12 000 ot/min, výkon 9 kW a kroutící momentu 54 Nm. Oproti tomu vřeteno na stroji Ultrasonic má možné otáčky až 60 000 ot/min, výkon pohonu 15 kW a kroutící moment 6 Nm. Další odlišností, kterou tato dvě vřetena mají, je u ultrazvukového obrábění kmitání nástroje v ose vřetene. Ve vřeteni je umístěn generátor ultrazvukových kmitů, který pracuje na principu indukce a je zde také systém pro vytvoření mechanických kmitů. Tyto mechanické kmity mají amplitudu okolo 12 μm . Vřeteno není tak tuhé jako vřeteno frézky a je stavěno na téměř desetinásobně menší kroutící moment. Proto by bylo nutné zkonstruovat vřeteno s dostatečnou tuhostí pro operace frézování a zároveň vřeteno zachovat jeho unikátní vlastnost tvorby mechanických kmitů. [41] [42]

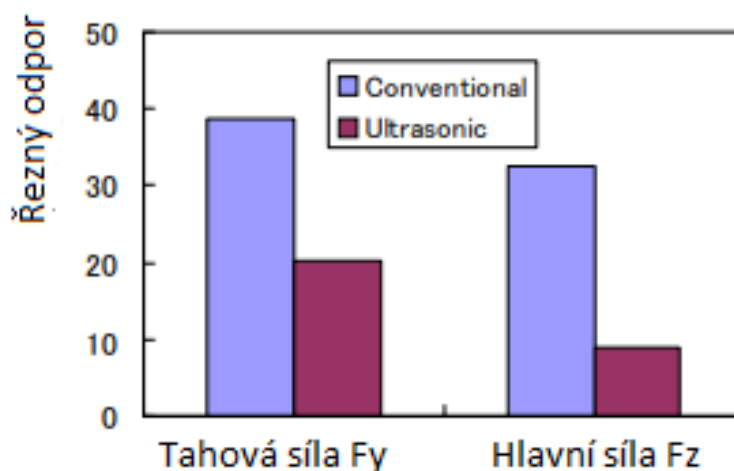


Obr.32 Frézka CMX 600V [42]



Obr.33 Ultrasonic 20 linear [41]

Na vřeteno také působí jinak veliké řezné síly. Ty jsou u konvenčního obrábění v případě tahové síly F_y větší zhruba dvojnásobně a hlavní síly téměř čtyřnásobně.



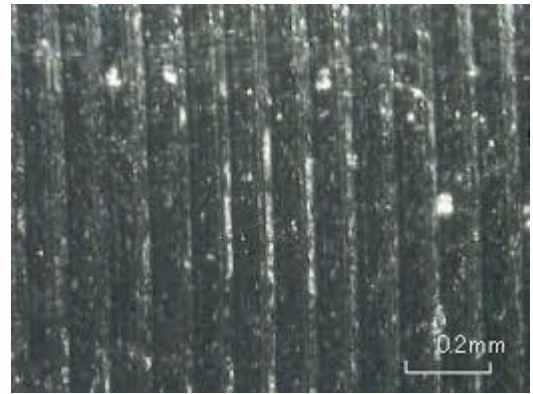
Obr.30 Porovnání řezných sil [43]

8.1.4 Technologické možnosti stroje a zhodnocení technologie

Ultrazvukové obrábění je velmi přesné. Využívá se například pro výrobu implantátů pro zdravotnické účely, na které jsou klady vysoké nároky. Touto technologií se také dají obrábět vysoce tvrdé a křehké materiály, na které konvenční frézování nestačí. Na stroji by se tak dalo obrábět široké spektrum materiálů od kovů až po diamant. Proto by kombinace těchto dvou technologií mohla přinést zajímavou alternativu například pro výrobky, které potřebují mít velmi precizně zpracované funkční nebo dosedací plochy a zároveň zbytek obrobku nemusí být tak precizně obrobena. To vše by bylo možno realizovat na jednom stroji pouze při jednom upnutí. Díky tomu by došlo k zlepšení přesnosti obrábění. Na obrázcích č.35 a č.36 je vidět rozdíl kvality povrchu při obrábění ultrazvukem a konvenční technologií. Dosažená drsnost při obrábění ultrazvukem je $R_a = 0.55 \mu\text{m}$, zatímco při konvenčním obrábění je téměř třikrát větší a to přesně $R_a = 1.37 \mu\text{m}$. [40]



Obr.35 Obrobení ultrazvukovou technologií [43]



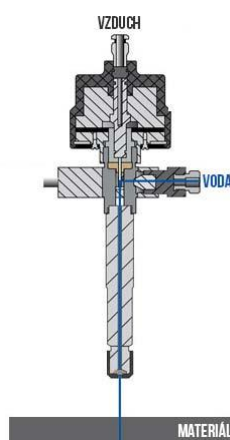
Obr.36 Obrobení konvenční technologií [43]

Stroj, kombinující tyto technologie, bude ale také mít zřejmé nevýhody. První takovou nevýhodou bude určitě pořizovací cena takového stroje. Stroje, které umožňují ultrazvukové obrábění, jsou nesrovnatelně dražší než stroje na konvenční obrábění. Důvodem je složitost technologie. To souvisí také s možností uplatnění ve výrobě. Většinu obrobků lze v dnešní době vyrobit pomocí konvenčních technologií. Konvenční technologie jsou také několikanásobně efektivnější, než ultrazvukové obrábění. Pomocí ultrazvuku také nelze obrábět plastické materiály. Při obrábění materiálu totiž dochází k extrémně rychlému opotřebení nástroje. Ultrazvukové obrábění má využití ve velmi přesném obrábění, například tělních implantátů. Úzké spektrum aplikací této technologie v kombinaci s pořizovací cenou bude převažovat nad univerzalitou stroje.

Další nevýhoda spočívá přímo v kombinaci technologií. Pokud by se podařilo technologicky zkonstruovat takové vřeteno, které by dokázalo upnout frézu a současně obráběcí nástroj na ultrazvukové obrábění, musí logicky dojít k určitým kompromisům v konstrukci z důvodu velmi rozdílných otáček vřetene a kroutících momentů a tudíž ztrátě přesnosti ultrazvukového obrábění. Tím ovšem stroj přichází o hlavní výhodu a bude tak přínosnější mít stroje dva, které jsou na svoji technologii přímo konstruované.

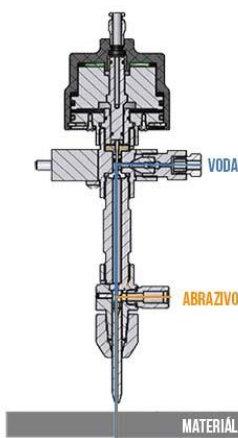
8.2 Ideový návrh kombinované technologie frézování a vodního paprsku

Princip řezání vodním paprskem spočívá ve stlačení vody ve speciálním čerpadle. Voda se tlakuje na tlak v rozmezí 50-400 Mpa. Natlakovaná kapalina je čerpadlem hnána do řezací hlavy, ze které tryskou vystupuje paprsek o průměru 0.15 – 2 mm. Měkké materiály, jako je například pryž, laminát, grafitový kompozit a sklotextil se obrábějí pouze vodním paprskem. Jedná se o technologii WJM (Water jet machining), při které proud vody dosahuje rychlosti až 900 m/s. Dopadající kapalina mění svoji kinetickou energii na tlakovou sílu, která při dopadu na povrch materiálu způsobuje erozivní odebrání materiálu. [44]



Obr.31 Řezací hlava bez přívodu abraziva [44]

Na materiály, jako je například kov, kámen, keramika nebo sklo samotný vodní paprsek nestačí. Je proto do proudu kapaliny přidáváno abrazivo. Tato technologie se nazývá zkratkou AWM (Abrasive waterjet machining). Na rozdíl od čistého vodního paprsku, kde kapalina nahlodává materiál, zde kapalina slouží k urychlení částic abraziva, které materiál rozbrušují. Tato technologie je až stokrát účinnější než samotný vodní paprsek. [44]



Obr.32 Řezací hlava s přívodem abrazivem [44]

8.2.1 Ideový návrh konstrukce stroje

Při ideovém návrhu stroje vycházím z již známých konstrukcí strojů. Konstrukce stroje na řezání materiálu je podobná portálové vertikální frézce. Na portálu se nachází tryska stejně jako u frézky frézovací vřeteno. Proto by teoreticky bylo možné vyrobit příčník, který by nesl jak frézovací vřeteno, tak hlavu s tryskou. Problematickou částí konstrukce takového stroje by pravděpodobně byl stůl na upínání obrobku. U řezacího stroje je obrobek upnut na stůl, který je tvořen drážkami, které jsou plné tekutiny, a obrobek je tak pokládá pouze na tenké části stolu vystupující z kapaliny. Kapalina se pod obrobkem nachází z důvodu pohlcení mechanické energie vodního paprsku, který projde celou tloušťkou materiálu tak, aby nepoškodil pracovní prostor stroje. Proto by musel být zkonstruován takový stůl, který by mohl být stále pod hladinou tekutiny a zároveň dokázal unést i těžší obrobek. To přináší další komplikace z hlediska koroze materiálu stolu a také nutnosti dokonale utěsnit prostor v okolí pracovního stolu, aby tekutina neutíkala do útrob stroje. Dalším problémem by byl odvod třísek po frézování. Ty by napadaly do tekutiny a nedaly by se lehce odstranit například ofouknutím. Proto by konstrukce stolu musela být zřejmá výsuvná a stůl by se tak vysouval ve svislém směru z lázně. To by ovšem přineslo snížení tuhosti stroje. Třísky napadané v tekutině by musely být pomocí čerpadla přefiltrovány v zachytném filtru na pevné částice. Pohyb příčníku by byl realizován stejně jako u frézek typu spodní gantry. Pohyb stojanu v ose X, pohyb příčníku v ose Y po stojanu a pohyb v ose Z by byl realizován výsuvným vřeteníkem s frézovací hlavou a tryskou. Konstrukce takového stroje, zejména jeho pracovního stolu, by byla velmi složitá a pro praxi složitě realizovatelná.



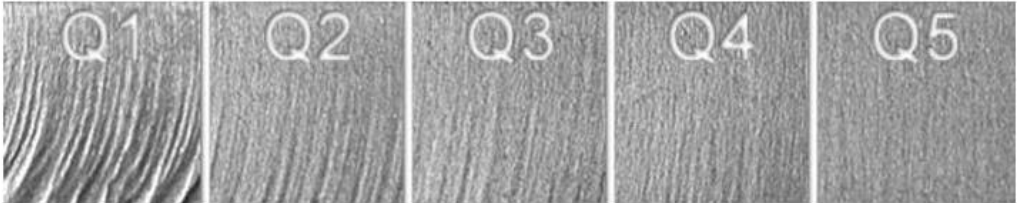
Obr.39 Vodním paprskem řezající stroj [44]



Obr.40 Frézka typu spodní gantry [45]

8.2.2 Technologické možnosti stroje a zhodnocení

Kombinace těchto dvou technologií by byla výhodná z důvodu efektivnosti obrábění. Řezání materiálu vodním paprskem je velmi produktivní a rychlá metoda, která dokáže obrobit obrobek do velmi složitých tvarů. Omezení, které ovšem tato technologie má, je hloubka řezu, kterou je vodní paprsek schopný dosáhnout. Maximální tloušťka materiálu je 200 mm. Kvalita řezu je závislá na rychlosti posuvu trysky. Čím je pohyb trysky pomalejší, tím je řez přesnější a kvalitnější, jak je vidět v tabulce na obrázku 41, kde řez Q5 je prováděn při pomalém posuvu trysky. V tabulce jsou také uvedené drsnosti materiálu po obrobení vodním paprskem.



	DĚLÍCÍ ŘEZ	HRUBÝ ŘEZ	STŘEDNÍ ŘEZ	KVALITNÍ ŘEZ	NEJLEPŠÍ ŘEZ
Stupeň	Charakter	Drsnost/horní	Drsnost/spodní	Přesnost/horní	Přesnost/spodní
Q5	nejlepší řez	pod 3,2	cca 3,2	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm
Q4	kvalitní řez	cca 3,2	cca 6,3	+/- 0,1 mm	+/- 0,2 mm
Q3	střední řez	cca 4,0	do 12,5	+/- 0,15 mm	Dle materiálu
Q2	hrubý řez	cca 4,0	do 25	+/- 0,2 mm	Dle materiálu
Q1	dělicí řez	4,0-6,3	do 40	+/- 0,2 mm	Nepřesné

Obr.33 Tabulka dosahovaných parametrů při řezání vodním paprskem [44]

Drsnosti povrchů jsou relativně velké, proto by bylo možné díky kombinaci s frézováním povrch obrobit tak, aby dosahoval lepších parametrů. Frézovací operace by také byly užitečné pro frézování neprůchozích drážek a otvorů, které obrábění vodním paprskem nedokáže vytvořit. Výhodou takového stroje by bylo jednoznačně obrobení obrobku na jedno upnutí. Další výhodou by byla vysoká rychlost vytvoření tvarově složitého obrobku díky rychlému vyříznutí tvaru pomocí vodního paprsku a následnému dokončení frézovací hlavou. Výhodou je také takzvaný studený řez. Jedná se o řez, který tepelně neovlivní řezaný materiál, v materiálu nevznikají pnutí a mikrotrhliny. Lze tak řezat i materiály, která již byly tepelně zpracována. Technologií AWJ lze také provádět frézovací a gravírovací operace. Touto

metodou je tak možné obrábět velmi tvrdé materiály, jako jsou minerály nebo sklo. Při operacích frézování a gravírování dochází k odebírání materiálu po vrstvách. Výhodou gravírování vodním paprskem oproti laserovému gravírování je možnost obrábět materiály, které jsou tepelně citlivé, a zároveň při procesu obrábění vodním paprskem nedochází ke vzniku jedovatých a karcinogenních látek. Gravírování vodním paprskem je ve většině případů potřeba dokončit broušením nebo jinou dokončovací metodou. Vodní paprsek obrobí obrobek pouze do rozměrů blízkých rozměrům požadovaným. Tato kombinace technologií také přináší řadu nevýhod. První takovou nevýhodou je samotná konstrukce stroje. Pracovní prostor stroje bude muset být dokonale utěsněn, aby nedocházelo k únikům tekutiny do stroje. Tekutina může poškodit vnitřek stroje, který může následně začít korodovat. V kapalině se také hromadí abrazivo, které je používáno jako příměs do vodního paprsku při řezání velmi tvrdých materiálů. Kvůli velké jemnosti abraziva může dojít k zadření mechanických součástí stroje a k snížení jeho funkčnosti. Než paprsek prostoupí do dostatečné hloubky řezu, odráží se od obrobku do všech směrů. Proto by muselo být vyřešeno krytí frézovacího vřetene, aby nebylo poškozeno nebo znehodnoceno směsí kapaliny a abraziva. Obrobek, který by byl vodním paprskem obroben do požadovaného tvaru, by musel být důkladně očištěn od zbytků abraziva. Abrazivo by totiž mohlo znehodnotit následné frézování obrobku a také by mohlo poškodit nebo otupit frézovací nástroje. Další nevýhodou je nevyhnutelný kontakt obrobku s vodou a abrazivem. Obrobek se musí velmi rychle očistit a osušit. Pokud se tak nestane u většiny kovových materiálů, dochází k nástupu koroze a znehodnocení dílu. Hloubka řezu ovlivňuje jeho přesnost. Při hlubokých řezech dochází k deformaci kontury řezu ve spodní hraně, a to zejména při vyšších rezných rychlostech. Problematický by také byl odvod třísek vzniklých při frézování. Třísky by napadaly do kapaliny pod obrobkem a bylo by velmi těžké je odstranit. Pracovní prostor stroje a zejména pracovní stůl stroje by musel být pravidelně čištěn od abraziva a třísek vzniklých při obrábění. To by snižovalo produktivitu práce stroje a zvyšovalo náročnost údržby. Nevýhodou je také nízká životnost trysky. Pokud tryskou prochází vodní paprsek bez abraziva, tryska dosahuje životnosti až 100 hodin. Pokud je však do vodního paprsku přidáno abrazivo, životnost paprsku se zkrátí zhruba na polovinu.

9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši dostupných kombinovaných technologií, které se v současnosti využívají. V první části práce se zmiňuji o vzniku třískového obrábění a o počátcích CNC obrábění až po současnost. Následuje popis a rozdělení obráběcích center. Ty se dělí na obráběcí centra pro rotační součásti, obráběcí centra pro nerotační součásti a multifunkční obráběcí centra. V této části se zabývám především kombinací konvenčních technologií obrábění, jako je soustružení, frézování a vrtání. U každé kapitoly popisuji stavbu stroje a zároveň uvádím možné kombinace technologií, které tento stroj nabízí. Po uvedení možných kombinací konvenčních technologií následují kapitoly o technologiích, které nejsou tak běžné na obráběcích strojích. První takovou je kombinace aditivních technologií a konvenčních technologií na CNC obráběcím centru. Zde si uvádíme dva principy aditivní technologie, a to laserové navařování a spékání kovového prášku pomocí laserového paprsku. Následující kapitola se zabývá laserovým obráběním v kombinaci s konvenčními technologiemi na CNC obráběcím centru. Zde uvádím laserové soustružení, frézování, vrtání, značkování, gravírování, ostření nástrojů a leštění povrchů pomocí laseru. Následuje porovnání a zhodnocení laserových obráběcích technologií oproti konvenčním technologiím. Sedmá kapitola se zabývá broušením na obráběcích centrech v kombinaci s konvenčními technologiemi. Kombinace těchto technologií na první pohled vypadá velmi dobře a efektivně, ale jedná se bohužel pouze o broušení vhodné ke zkvalitnění povrchu, které není vhodné na broušení přesných rozměrů nebo tvarů.

V osmé kapitole uvádím dva možné návrhy dalších možných kombinací technologií, které se v dnešní době na strojích nevyskytují. První návrh kombinuje frézování a ultrazvukové obrábění. Tuto kombinaci popisuji a hodnotím z hlediska konstrukce stroje a technologických možností, které by tato kombinace přinesla. Druhou takovou kombinací je frézování společně s použitím vodního paprsku. Stejně jako u první navrhované kombinace se zabývám samotnou konstrukcí stroje a následně technologickými možnostmi kombinace těchto technologií. Na závěr je vždy uvedeno kritické zhodnocení výhod a nevýhod, které tyto kombinace přináší.

Kombinování technologií na obráběcích strojích přináší řadu výhod do procesu obrábění. Díky kombinování více technologií na jednom stroji je možné obrábět složité tvary obrobků na jedno upnutí. Díky tomu se zvyšuje přesnost obrábění a také se snižují strojní časy, protože se s obrobkem nemusí přemísťovat do jiného stroje. Je nutné ale uvést, že

kombinování technologií přináší i nevýhody. Stroje ztrácejí tuhost, z důvodu jiných silových rozložení sil při rozdílných technologických operacích, jako je například soustružení a frézování. Pokud se nejedná o multifunkční obráběcí centrum, je jedna z technologií vždy dominantní. To znamená, že například frézovací vřeteno na soustruhu má až o 50% menší výkon než vřeteno soustružnická. To limituje možné použití takového stroje a v některých případech může být efektivnější mít dva specializované stroje místo jednoho obráběcího centra.

Kombinace technologií na obráběcích centrech i přes již zmíněné nevýhody jsou přínosem a zajisté odvětvím, které se bude dále rozvíjet. Zejména hledání technologických a konstrukčních možností, které by umožnily efektivnější kombinování technologií.

10 Bibliografie

- [1] GRUBER, Josef, 2002. Malé dějiny soustruhu. [Online] Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/soustr.pdf
- [2] Domáci soustružení, Historie soustružení - novověk. [Online] 10.1.2012. [Cit. 05. 03. 2020.] Dostupné z: <http://www.domaci-soustruzeni.cz/historie-soustruzeni/historie-soustruzeni-novovek.html>
- [3] POLZER, Aleš, 2009. Akademie CNC obrábění. [Online] 15.01. [Cit. 05. 03 2020.] Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-1_8536.html
- [4] SVOBODA, Rostislav, 2016, 10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění?. [Online] 31.01. [Cit. 05. 03. 2020.] Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>
- [5] WARFIELD, Bob, What is CNC Machining and CNC Machines. [Online] CNC Cookbook. [Cit. 05. 03. 2020.] Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/what-is-cnc-machining-and-cnc-machines/>
- [6] Computer Numerical Control. [Online] [Cit. 05. 03. 2020.] Dostupné z: <http://cnc.fme.vutbr.cz/>
- [7] KOLÁŘ, Petr, 2016. Jaké jsou současné trendy v obráběcích strojích. [Online] 07.10. [Cit. 04. 03. 2020.] Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/jake-jsou-soucasne-trendy-v-obrabecich-strojich_37440.html
- [8] Tech magazín, 2016. Nové trendy v obrábění. [Online] 22.12. [Cit. 04. 03. 2020.] Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/46036>
- [9] MM Spektrum, 2001. Svislá soustružnická obráběcí centra. [Online] 11.04. [Cit. 06. 03. 2020.] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svisla-soustruznicka-obrabeci-centra.html>
- [10] MAREK, Jiří a kolektiv. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha : MM publishing s.r.o, 2014. str. 684. 978-80-260-6780-1

- [11] pslib, Komplexní vzdělávání. [Online] [Cit. 07-03-2020] Dostupné z: https://www.pslib.cz/komplex_CNC_a_CAM/files/Prezentace_PDF/Komplex_CNC_Kk_05.pdf
- [12] VAVRUŠKA, Petr, 2018, Aktuální přístupy ke zvyšování produktivity třískového obrábění. [Online] 06.06. [Cit. 06-03-2020] Dostupné z: www.digitovarna.cz/clanek-84/aktualni-pristupy-ke-zvysovani-produktivity-triskoveho-obrabeni.html
- [13] Sjf.tuke, 2009. příručka CNC programování. [Online] [Cit. 06-04-2020] Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf
- [14] Sandvik.coromant, Turn milling, sandvik.coromant.com. [Online] [Cit. 05-04-2020] Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/pages/turn-milling.aspx>
- [15] NOVÁK, Martin, 2020, CNC invest slaví 30 let. [Online] 18.06. [Cit. 05-04-2020] Dostupné z: https://sdeleni.idnes.cz/zpravy/cnc-invest-slavi-30-let-prijdte-je-oslavit-na-nase-predvadeci-dny.A200617_095841_zpr_sdeleni_hradr
- [16] kentcnc, Large Vertical Turning Centers. [Online] [Cit. 15-06-2020] Dostupné z: <https://kentcnc.com/cnc-vertical-turning-centers/large-vertical-turning-centers/>
- [17] Kovosvit MAS, Obráběcí stroje, SP 280. [Online] [Cit. 16-05-2020] Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-280-p6.html#main>
- [18] strojimport, příslušenství - VDF frézovací hlava HUR50. [Online] [Cit. 10-04-2020] Dostupné z: http://www.strojimport.cz/prislusenstvi/vdf-frezovaci_hlava_hur_50/
- [19] Solidcon, Reference, Školní 3 a 5-ti osé CNC frézky. [Online] [Cit. 11-04-2020] Dostupné z: <https://www.solidcon.cz/cs/reference/>
- [20] DMG Mori. [Online] [Cit. 12-04-2020] Dostupné z: <http://www.ir4i.it/cgi-bin/images/pages/pm0uk13-nmv5080-pdf-data.pdf>
- [21] mazakeu, INTEGRER i-500. [Online] [Cit. 15-05-2020] Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/integrex-i-500/>
- [22] mazakeu, All machines, VARIAXIS j-500/5X. [Online] [Cit. 15-05-2020] Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/variaxis-j-500-5x/>
- [23] MAREK, Jiří, 2018. Multifunkční obráběcí centra. [Online] 12.12. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/multifunkcni-obrabeci-centra-14043.html>
- [24] MAREK, Jiří a kolektiv. Konstrukce obráběcích strojů IV. Praha : MM publishing s.r.o, 2018. str. 427. 978-80-906310-8-3

- [25] MM Spektrum, 2014, CNC Multifuknční obráběcí centra. [Online] [Cit. 11-03-2020] Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/4.3.pdf
- [26] moostrading, TMT-2000 Multifunkční CNC soustružnické centrum. [Online] [Cit. 15-04-2020] Dostupné z: <https://docplayer.cz/9954299-Tmt-2000-multifunkcni-cnc-soustruznicke-centrum.html>
- [27] DMG Mori, Aditive manufacturing. [Online] [Cit. 17-04-2020] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/resource/blob/71066/bfb21cc28b1e4aed1ca0ca7429dfd993/pl0uk-additive-manufacturing-pdf-data.pdf>
- [28] ResearchGate, 2013. Laser metal deposition. [Online] [Cit. 08-06-2020] Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Laser-metal-deposition_fig1_273536418
- [29] media DMG Mori. [Online] [Cit. 05-05-2020] Dostupné z: https://media.dmgmori.com/media/epaper/grinding_uk/index.html
- [30] DMG Mori. stroje laser tec, Hybridní kompletní obrábění. [Online] [Cit. 20-04-2020] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/aditivni-vyroba/praskova-tryska/lasertec-65-3d-hybrid>
- [31] Kovosvit MAS, Hybrid Manufacturing, WELDPRINT MCV 5X. [Online] [Cit. 25-04-2020] Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/weldprint-mcv-5x-p44.html>
- [32] ŘASA, Jaroslav a JINDROVÁ, Radka, 2006, Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. [Online] 17.07. [Cit. 15-04-2020] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem.html>
- [33] HUBERT, Michael, 2015. Obrábění laserem pro všechna odvětví. [Online] 11.02. [Cit. 16-04-2020] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-laserem-pro-vsechna-odvetvi.html>
- [34] ŘASA, Jaroslav a KEREČANINOVÁ, Zuzana, 2008. Nekonenční metody obrábění – 5. díl. [Online] 12.05. [Cit. 30-04-2020] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-5-dil.html>
- [35] ŠMÍD, Jiří, 2009. Leštění povrchu laserem. [Online] 15.04. [Cit. 30-04-2020] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lesteni-povrchu-laserem.html>
- [36] ŘASA, Jaroslav, 2019, Hybridní obráběcí stroje. [Online] 11.12. [Cit. 1-05-2020] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hybridni-obrabeci-stroje.html>

- [37] jhamernik, Dokončovací operace. [Online] [Cit. 06-05-2020] Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Dokoper.htm>
- [38] CHURAVÝ, Michal, 2016, Brusné kotouče se zvýšeným brusným potenciálem. [Online] 08.06. [Cit. 06-05-2020] Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/brusne-kotouce-se-zvysenym-potencialem.html>
- [39] ŠVEHLA, Štefan a Zdenko FIGURA. Ultrazvuk v technologii. 1.vyd. Bratislava: Alfa, 1984. 521 s.
- [40] ŘASA, Jaroslav a KEREČANICOVÁ, Zuzana, 2007. Nekonvenční metody obrábění – 3. díl. [Online] 18.12. [Cit. 07-06-2020] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-3-dil.html>
- [41] DMG Mori. [Online] Ultrasonic 20 Linear. [Cit. 08-06-2020] Dostupné z: <https://www.dmgmori.co.jp/en/products/machine/id=1560>
- [42] DMG Mori, CMX 600V. [Online] [Cit. 08-06-2020] Dostupné z: <https://www.dmgmori.co.jp/en/products/machine/id=2586>
- [43] KOSHIMIZU, Sheigeomi, Ultrasonic Vibration-Assisted Cutting, [Online] [Cit. 08-06-2020] Dostupné z: http://www.aspe.net/publications/spring_2007/spr07ab/2082-koshimizu.pdf
- [44] MM Vodní paprsek, princip řezání vodním paprskem. [Online] [Cit. 09-06-2020] Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
- [45] TEJČEK, Vladimír, 2015, První spodní gantry z Mýta již pracuje, [Online] 10.09. [Cit. 09-06-2020] Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/prvni-spodni-gantry-z-myta-jiz-pracuje.html>
- [46] Boukal, Univerzální soustruh TRENS SN 32/1000. [Online] [Cit. 05-03-2020] Dostupné z: <https://www.boukal.cz/univerzalni-soustruh-trens-sn-32-1000/15377/produkt>

11 Seznam obrázků

Obr.1- První soustruh [1]	10
Obr.2 Konvenční soustruh [46]	14
Obr.3 Popis os obráběcího centra [11].....	15
Obr.4 Obrábění dvěma nástroji [12]	16
Obr.5 Obrázek os CNC soustružnického centra [13].....	17
Obr.6 Rotační frézování boční [14]	18
Obr.7 Rotační frézování čelní [14]	18
Obr.8 Nástrojové lišty [15].....	19
Obr.9 Vertikální soustruh [16].....	19
Obr.10 Soustružnické obráběcí centrum [17].....	20
Obr.11 Frézovací hlava [18].....	21
Obr.12 Naklápěcí a otočný stůl [19]	21
Obr.13 CNC Frézka s popisem os [20]	22
Obr.14 Frézovací obráběcí centrum [22]	23
Obr.15 Rozdělení obráběcích center [10]	24
Obr.16 Soustružnické multifunkční centrum [26]	25
Obr.17 Multifunkční obráběcí centrum [21]	27
Obr.18 LDW technologie [28].....	29
Obr.19 Laser tec - hybridní stroj [30]	30
Obr.20 Stroj umožňující technologii navařování elektrickým obloukem [31]	30
Obr.21 Obrábění laserem [34].....	33
Obr.22 Odebraný materiál v podobě prstence pomocí laseru [34].....	33
Obr.23 Frézování laserem [34].....	34
Obr.24 Porovnání soustruženého a laserem leštěného povrchu [35].....	36
Obr.25 Umístění laseru na obráběcím centru [36].....	37
Obr.26 Umístění laseru na obráběcím centru [36].....	38
Obr.27 Umístění laseru na obráběcím centru [36].....	38
Obr.28 Broušení na CNC stroji [29].....	41
Obr.29 Příklad stroje s kombinovanou technologií broušení [29].....	41
Obr.30 Princip metody obrábění ultrazvukem pomocí abrazivní suspenze [40]	43
Obr.31 Vytváření průchozí drážky diamantovým nástrojem [40].....	43
Obr.32 Frézka CMX 600V [42].....	44

Obr.33 Ultrasonic 20 linear [41].....	44
Obr.34 Porovnání řezných sil [43].....	45
Obr.35 Obrobení ultrazvukovou technologií [43]	46
Obr.36 Obrobení konveční technologií [43]	46
Obr.37 Řezací hlava bez přívodu abraziva [44]	47
Obr.38 Řezací hlava s přívodem abrazivem [44]	47
Obr.39 Vodním paprskem řezající stroj [45].....	48
Obr.40 Frézka typu spodní gantry [44].....	48
Obr.41 Tabulka dosahovaných parametrů při řezání vodním paprskem [44].....	49