

Příprava desek pro 3D SLM

Lukáš Hora

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Hora**
Osobní číslo: **T16513**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Příprava desek pro 3D SLM**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Návrh a výroba desek**
- 3. Optimalizace procesu**
- 4. Statistické vyhodnocení výsledků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. LIN, Kaijie, Luhao YUAN a Dongdong GU. Influence of laser parameters and complex structural features on the bio-inspired complex thin-wall structures fabricated by selective laser melting. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2019, 267, 34–43 [cit. 2019-03-01]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.12.004. ISSN 09240136. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013618305387>
2. VASQUEZ, Elodie, Pierre-Francois GIROUX, Fernando LOMELLO, Aziz CHNIOUEL, Hicham MASKROT, Frédéric SCHUSTER a Philippe CASTANY. Elaboration of oxide dispersion strengthened Fe-14Cr stainless steel by selective laser melting. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2019, 267, 403–413 [cit. 2019-03-01]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.12.034. ISSN 09240136. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013618305776>
3. LUO, J.P., J.F. SUN, Y.J. HUANG, J.H. ZHANG, Y.D. ZHANG, D.P. ZHAO a M. YAN. Low-modulus biomedical Ti-30Nb-5Ta-3Zr additively manufactured by Selective Laser Melting and its biocompatibility. *Materials Science and Engineering: C* [online]. 2019, 97, 275–284 [cit. 2019-03-01]. DOI: 10.1016/j.msec.2018.11.077. ISSN 09284931. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493118307239>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Radoslav Milde

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2019

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 6.5.2019

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³¹ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přípravou desek pro 3D SLM tisk, skládá se ze dvou částí. V první, teoretické části je přehled druhů 3D tisků a používaných materiálů. Dále se teoretická část zabývá základními principy konvenčního obrábění, a to odřezání drátem, frézováním a broušením. V praktické části je řešena efektivita výroby v kooperaci, výběr strojů ve výrobě forem Continental (VFC), postup výroby a dosahované parametry. Závěrem je zhotoveno ekonomické vyhodnocení procesu přípravy desek.

Klíčová slova: SLM, 3D tisk, broušení, frézování, elektroerozivní obrábění

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the preparation of plates for 3D SLM printing, consists of two parts. In the first, theoretical part, there is an overview types of 3D prints and used materials. The theoretical part deals with the basic principles of conventional machining, as wire cutting, milling and grinding. In the practical part deals with production efficiency in cooperation, selection of machines in mold production Continental (VFC), production process and achieved parameters. Finally, an economic evaluation of the plate preparation process is made.

Keywords: SLM, 3D print, grinding, milling, electro-erosive machining

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Radoslavu Mildemu za užitečné a cenné rady, věnovaný čas a připomínky k vedení a zlepšení mé práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a vytrvalou podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝROBA LAMEL PRO SEGMENTOVÉ FORMY	11
1.1 LAMELY VYRÁBĚNÉ KONVENČNÍ TECHNOLOGIÍ	11
1.2 LAMELY VYRÁBĚNÉ SLM TECHNOLOGIÍ.....	12
2 SLM TECHNOLOGIE	13
2.1 MATERIÁLY PRO 3D TISK	14
2.1.1 Polymery	14
2.1.2 Kovové prášky	15
2.2 DRUHY 3D TISKU	17
2.2.1 Selective Laser Melting (SLM).....	17
2.2.2 Selective Laser Sintering (SLS)	18
2.2.3 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	19
2.2.4 Selective Heat Sintering (SHS).....	20
2.2.5 Binder Jetting (BJ)	21
2.2.6 Multi Jet Printing (MJP).....	22
3 PŘÍPRAVA DESEK PRO 3D SLM	24
3.1 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO DESKY	24
3.2 ODŘEZÁNÍ DRÁTEM.....	25
3.2.1 Princip řezání drátem	25
3.3 FRÉZOVÁNÍ DESEK.....	26
3.3.1 Princip frézování	26
3.3.2 Dosahované drsnosti, rovinnost	27
3.4 BROUŠENÍ DESEK	27
3.4.1 Princip broušení	27
3.4.2 Brusné nástroje, materiály.....	28
3.4.3 Dosahované drsnosti, rovinnost	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	32
5 VFC – VÝROBA FOREM CONTINENTAL	33
5.1 KONSTRUKCE A VÝROBA FOREM	33
6 OPTIMALIZACE PROCESU	36
6.1 STÁVAJÍCÍ STAV	36
6.1.1 Představení kooperanta	36
6.1.2 Požadavek zákazníka VFC.....	36
6.1.3 Frézování v kooperaci	37
6.1.4 Broušení v kooperaci.....	37
6.1.5 Výhody a nevýhody kooperace	38
6.2 NÁVRH ZMĚNY	38
6.2.1 Odřezání drátem	39
6.2.2 Frézování.....	40
6.2.3 Broušení	41

6.2.4	Měření desek ve VFC.....	43
6.2.5	Materiál pro výrobu desek, výroba desky ve VFC	45
6.2.6	Ekonomické porovnání kooperace a výroby ve VFC	47
ZÁVĚR		48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		52
SEZNAM OBRÁZKŮ		53
SEZNAM TABULEK.....		554
SEZNAM PŘÍLOH.....		565

ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku přípravy desek pro 3D tisk ocelových lamel, které jsou součástí segmentové formy pro lisování plášťů pro osobní pneumatiky. V teoretické části se práce věnuje 3D technologiím, materiálům pro 3D tisk, odřezání vytištěných lamel, frézováním a broušením desek pro další použití. Náplní praktické části je analýza současného stavu a návrh procesu optimalizace za účelem časové a finanční úspory.

Při výrobě forem pro osobní automobily jsou používány jak konvenční technologie jako frézování, soustružení, vrtání, tak nekonvenční, jako 3D tisk. Dezénové části formy jsou odlévány z hliníku, bočnice a patní kruhy jsou vyráběny z oceli. Lamely v hliníkové části jsou zhotoveny z nerezových plechů vyřezáním základního tvaru a následným ohýbáním nebo novou technologií 3D tisku.

3D tisk z různých materiálů je v dnešní době již běžnou praxí. Ve velké míře je 3D tisk používán pro výzkum, vývoj a zejména pro specifickou kusovou výrobu. Výroba Forem Continental (VFC) je jedinečná v tom že tuto technologii dokázala implementovat do sériové výroby, což je ve strojírenství neobvyklé.

Bakalářská práce vznikla ve firmě na výrobu forem VFC, která je klíčovým dodavatelem segmentových forem pro společnost Continental. Divize VFC je od roku 2016 součástí skupiny Continental Molds and Machinery (CMM).

Práce je motivována požadavkem společnosti na optimalizaci výrobních procesů a s tím související úspory časové a následně finanční.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA LAMEL PRO SEGMENTOVÉ FORMY

Dezénové části formy se vyrábějí z hliníkových odlitků. Tyto odlitky – negativy pneumatiky, mají velké množství žeber odlišných rozměrů. Množství těchto žeber je dáno tím, zda se jedná o zimní, či letní dezén. V zásadě platí, že zimní dezén má větší množství těchto žeber. Při lisování pneumatiky, resp. při vtačování polotovaru do formy je vyvíjen tlak 1,6 MPa. Z tohoto důvodu nemohou být žebra ve formě, která mají menší tloušťku než 1 mm vyrobená z hliníku. Při lisování by došlo k jejich deformaci. Žebra jsou nahrazena ocelovými lamelami, jejichž minimální tloušťka může být až 0,2 mm.

Letní dezény mají nižší počet lamel. V průměru se jedná o 800 lamel při počtu 30 různých pozic. Tyto dezény mají jednodušší tvar lamel a je proto možné je ve velké míře vyrábět konvenční technologií.

Zimní dezény mají větší počet lamel. V průměru se jedná o 1700 lamel při počtu 80 různých pozic. Dezény mají složitější tvar lamel a obzvláště v poslední době jsou kladeny designéry forem vysoké požadavky na tvarovou rozmanitost. Často se jedná o proměnnou tloušťku lamel, 3D prolisy, prvky, které není možné vyrobit konvenční technologií. Tyto lamely jsou vyrobeny novou technologií 3D tisku.

Lamely pro segmentové formy můžeme podle druhu výroby rozdělit na lamely vyráběné:

- konvenční technologií
- SLM technologií

1.1 Lamely vyráběné konvenční technologií

V případě lamel vyráběných konvenční technologií se jedná o přesné ohýbání malých dílů z tenkých ocelových plechů. Lamely jsou vyráběny z nerezových ocelových plechů různých tloušťek (od 0,2 mm do 3 mm) přímo pro jednotlivé typy a dezény forem. Základní tvar je vypálen pomocí laseru (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Obrábění laserem je založeno na přeměně světelné energie na energii tepelnou. Děje se tak při styku paprsku laseru s materiálem obrobku, kdy se materiál obrobku vlivem vzniklé vysoké teploty ohřívá a odpařuje. Ocelový plech se následně ohýbá do výsledného tvaru. Ohýbání je proces, při kterém pomocí ohybníku a ohybnice dosáhneme požadovaného tvaru výrobku. Ohýbá se na mechanických lisech, do kterých se kotví ohýbadla požadovaných tvarů a ohýbá se pomocí lidské práce nebo pomocí strojů. U ohýbání musíme počítat s negativním dějem,

jenž je odpružení materiálů (u tvrdších materiálů až 15 %). Na každou novou lamelu je třeba vyrobit nové ohýbadlo. Výhodou ohýbaných lamel je že v případě výroby opakované formy můžeme použít pro výrobu lamel již existující ohýbadla a tím spoříme náklady na výrobu. Nevýhodou ohýbaných lamel jsou limity v jednotné tloušťce lamel.

1.2 Lamely vyráběné SLM technologií

Lamely vyráběné SLM technologií nemají limity v jednotné tloušťce materiálu. Konstruktor lamely má takřka neomezené možnosti 3D tvaru, prolisů, proměnné tloušťky lamel atd. U konvenčních lamel se snažil konstruktor slučovat pozice lamel tak, aby se vyrábělo co nejméně ohýbadel. U SLM technologie může být prakticky každá pozice originálem. Tisk lamel na vlastních strojích je také důležitým duševním dědictvím firmy. Konstrukce lamely má zejména u zimních dezénů vliv na adhezi a celkovou funkci. 3D lamely pomáhají zvyšovat výkonnost těchto pneumatik a posouvají limity dané lamelou vyrobenou konvenční technologií.

2 SLM TECHNOLOGIE

3D tisk (prostorový tisk) označuje výrobu trojrozměrných modelů podle softwarové předlohy. Zdrojem pro počítačový model mohou být CAD systémy, 3D skenování, vědecká a technická data nebo data z medicínských zobrazovacích systémů. Model vytvořený v počítačovém programu se rozdělí na tenké horizontální vrstvy a poté se odešle na 3D tiskárnu. Ve většině případů pak tiskárna nanáší materiál vrstvu po vrstvě. Vrstvy se svařují postupně za pomoci laseru, až se spojí do finální podoby produktu. Celý proces trvá pouze několik hodin. S vývojem nových technologií se proces stále zkracuje a časová úspora je jedním z důvodů, proč je 3D tisku předpovídána velká budoucnost.

Zvyšující se popularita 3D tiskáren také spočívá v tom, že na nich lze během krátké chvíle vyrobit téměř cokoli a z jakékoli oblasti – od strojírenského průmyslu až po designové prvky. Dříve 3D tiskárny sloužily především k výrobě prototypů, na jejichž základě se pak schvalovala či upravovala finální verze výrobku. Velký potenciál 3D tisku se projevil také v oblasti medicíny. Už na počátku nového tisíciletí začaly probíhat pokusy výroby funkčních náhradních orgánů.

Dnes se 3D tisk stále zdokonaluje, náklady na provoz tiskáren se postupně snižují a s tím se rozšiřuje i jejich využití. Čím dál tím více ho využívají designéři k výrobě drobných sérií originálních šperků, experimentuje se s možnostmi vyrábět pomocí této technologie auta, budovy, nebo dokonce potraviny. 3D tiskárny se také ukazují být velmi důležité pro přežití v extrémních podmínkách. V USA začala armáda využívat 3D tisk například k výrobně vybavení pro jednotky, které slouží daleko od civilizace a nemají možnost si v rychlém čase opatřit náhradní součástky. [3]

2.1 Materiály pro 3D TISK

Materiály, které jsou v dnešní době k dispozici pro 3D tisk prošly vývojem. V současné době existuje široká škála různých typů materiálů, které jsou dodávány v několika formách (tekutina, prášek, vlákno, pelety, granule, pryskyřice atd.). Materiál, a především druh tisku volíme s ohledem na funkci, tvar a požadované vlastnosti výrobku.

2.1.1 Polymery

ABS

Akrylonitrilbutadienstyren (ABS) je amorfní termoplastický polymer, který vyniká dobrou odolností vůči mechanickému poškození. Je to tuhý, houževnatý materiál, zdravotně nezávadný. Je odolný proti kyselinám, louhům, olejům, tukům a hydroxidům. ABS je odolné teplotám do 100 °C. Teplota zpracování ABS se pohybuje v rozmezí 210 – 250 °C. Nevýhodou je vysoká smrštitelnost (0,3 - 0,7 %) oproti ostatním materiálům. Pro správné přichycení první vrstvy při tisku bývá často používána vyhřívaná stavební podložka, jejíž teplota se pohybuje v rozmezí 90 °C - 110 °C. Nejznámější použití ABS je pro výrobu LEGO kostiček. Dále ABS najdeme na většině výrobků, se kterými se setkáváme v každodenním životě, v elektronických zařízeních (notebooky, mobilní telefony), v automobilech, v kuchyňském vybavení (mixéry, rychlovarné konvice) a další. [10] [11]

PLA

Polylactic acid (PLA), neboli kyselina polyléčná je semikrystalický termoplastický polymer vyráběný z obnovitelných zdrojů. Tento plast je mnohem šetrnější k přírodě, než např. ABS. Je rozpustná pomocí tetrahydrofuranů, případné dlouhodobé vystavení acetonu může způsobit naleptání povrchu. PLA je zdravotně nezávadný a je rozložitelný v přírodě řízeným kompostováním. Ve srovnání s ABS je pevnost materiálu vyšší, materiál je lépe tisknutelný, jediná nevýhoda je nižší teplotní odolnost. V praxi se podložka vyhřívá na teplotu 60 °C, a to především u objektů, které nemají příliš rozměrnou základnu. PLA měkne při teplotách nad 50 °C a jejich využití je vhodné spíše pro výrobu modelů než funkčních dílů. Teplota zpracování je 180 – 220 °C. [5] [6] [13]

PET

Polyetylen tereftalát (PET). Vyznačuje se nemačkovostí a nízkou navlhavostí. Pružnější, mechanicky odolnější materiál než ABS. Materiály pro 3D tisk označované jako PET většinou nemají to samé složení jako PET lahve. Výrobci si chrání chemické složení jejich PET materiálu. Teplotní odolnost materiálu 70 – 80 °C. Teplota zpracování 220 – 260 °C. [13]

PVA

Polyvinyl alkohol, materiál rozpustný ve vodě, nejvíce se používá ve více hlavových tiskárnách. Jedna hlava vytiskne podpory z PVA, které se následně rozpustí ve vodě. Druhá tiskne samotný objekt. Musí být skladován ve vzduchotěsných nádobách. Teplota zpracování 190 – 230 °C. [14] [13]

PC

Polykarbonát (PC) je materiál, jehož výhodou je vysoká pevnost, nárazu odolnost a tepelná odolnost. PC je nejtvrďší plast používaný pro 3D tisk. Výhodou je zachování ohebnosti i za studena. Nevýhodou je vyšší bod tání materiálu což může způsobovat jeho kroucení při chladnutí. Teplota vyhřívání podložky se pohybuje v rozmezí 120 °C až 130 °C. Největší užití najdeme pro tisk transparentních prototypů. Polykarbonát spolu s materiálem nylon a ASA jsou nejhůře tisknutelné materiály ze všech dostupných. Teplota zpracování 230 – 280 °C. [10] [12] [13]

ASA

Akrylonitrile Styrene Akrylát (ASA). Obdoba materiálu ABS, butadien ve složení je nahrazen znovu akrylátem. Oproti ABS má menší smrštitelnost. ASA má zvýšenou odolnost proti povětrnostním podmínkám díky čemuž může být jako jeden z mála plastů dlouhodobě použit ve venkovním prostředí. Dobrá mechanická odolnost, tuhost a odolnost proti teplotě. Teplota zpracování 230 – 270 °C. [15]

2.1.2 Kovové prášky

MARAGING STEEL

Maraging steel MS je martenzitická ocel. Tento druh oceli se vyznačuje vynikající pevností v kombinaci s vysokou houževnatostí. Díly mají vynikající leštitelnost.

Vlastnosti

- tvrdost do 54 HRC cca.
- dobrá tepelná vodivost

Aplikace

- sériově vyráběné díly
- nástroje (např. lití hliníku)
- mechanické inženýrství
- letecký a kosmický průmysl [6]

TITANIUM Ti64

Titanium Ti64 je slitina Ti6Al4V charakterizována vynikajícími mechanickými vlastnostmi a odolností proti korozi kombinovanou s nízkou specifickou hmotností.

Vlastnosti

- lehká hmotnost s vysokou specifickou pevností
- odolnost proti korozi
- běžné používání v biomedicínských aplikacích

Aplikace

- funkční prototypy
- letecký a kosmický průmysl
- motorsport
- biomedicínské implantáty [6]

STAINLESS STEEL CX

Stainless Steel CX je nerezová ocel vyznačující se výjimečnou odolností proti korozi kombinovanou s vysokou pevností a vynikající tvrdostí. Materiál je ideální pro výrobu vstřikovacích nástrojů, pomocí kterých se vyrábějí zdravotnické výrobky nebo výrobky z korozivních plastů. Jsou snadno opracovatelné a vynikající pro leštění.

Vlastnosti

- vynikající odolnost proti korozi zároveň snižuje náklady na opotřebení a údržbu nástroje
- snadné obrábění

Aplikace

- vstřikovací nástroje pro korozivní plasty jako je PVC, aplikace v lékařském a potravinářském průmyslu
- průmyslové aplikace, kde je požadována vysoká pevnost a tvrdost [6]

NICKEL ALLOY

Nickel Alloy IN718 je tepelně odolná slitina na bázi niklu. Tento druh slitiny niklu a chrómu se vyznačuje dobrou pevností v tahu, únavě, tečení a výdrží do 700 °C. Slitina má vynikající odolnost proti korozi v různých korozních podmínkách. Materiál je ideální pro vysokoteplotní aplikace, jako jsou díly plynových turbín, přístrojové části, výkonové a zpracovatelské průmyslové části.

Vlastnosti

- tepelně odolné
- vynikající odolnost proti korozi
- vysoký výkon při teplotách do 700 °C, pevnost v tahu, únavu, tečení a prasknutí

Aplikace

- funkční prototypy
- sériově vyráběné díly
- letecký a kosmický průmysl [6]

2.2 DRUHY 3D TISKU

2.2.1 Selective Laser Melting (SLM)

Technologie Selective Laser Melting (SLM) umožňuje výrobu unikátních dílů, prototypů a testovacích vzorků s komplikovanou geometrií nebo vnitřní strukturou, které jsou obtížně vyrobitelné konvenčními technologiemi. Díl je vytvářen postupným nanášením tenkých vrstev práškového kovu, které jsou spékány laserovým paprskem. Proces produkuje homogenní kovové díly přímo na základě 3D CAD dat. Stavba dílu probíhá v inertní atmosféře N₂, díky které je možné deklarovat čistotu zpracovaného materiálu.

Rozdíl proti technologii SLS spočívá v tom, že při výrobě jednotlivých vrstev dílu dochází k plnému protavení materiálu čímž je dosahována hustota až 99.9 %. Systém umožňuje zpracování široké škály kovových materiálů, jako např. nerezové oceli, nástrojové oceli, kobalt,

chrom nebo slitiny. Navíc zařízení při využití inertní atmosféry Argonu umožňuje pracovat i s reaktivními kovovými prášky jako jsou hliníkové a titanové slitiny.

Výhoda:

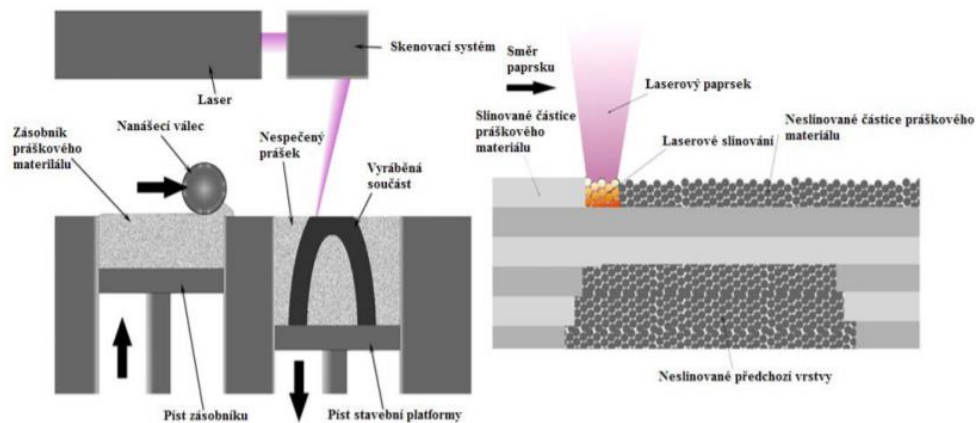
- výroba složitých tvarů
- kvalitní povrch s vysokým rozlišením

Nevýhoda:

- vysoká pořizovací cena tiskárny

Minimální velikost vrstvy: cca 0,02 mm

Pořizovací cena tiskárny: cca 10 milionů Kč [2] [18] [19]



Obr. 1 Selective laser melting [18]

2.2.2 Selective Laser Sintering (SLS)

SLS technologie využívá k výrobě 3D součásti práškový materiál, který je zapékán pomocí tepelné energie vyvinuté laserovým paprskem. Tato technologie 3D tisku byla patentována roku 1987.

Na pracovní plochu je nanášena tenká vrstva práškového materiálu. Paprsek se soustředí na jemný prášek, který se díky laseru taví a vzniká jedna z mnoha vrstev. Hotová vrstva se pokryje další vrstvou prášku a proces se opakuje. Výsledkem je součást obalená neslinovaným práškem, který slouží při procesu jako podpora při výrobě. Na konci je díl vyjmut z prášku a očištěn stlačeným vzduchem.

Materiály pro výrobu modelu: keramika nebo plasty (Nylon, ABS, PET atd.)

Výhoda:

- nízká pořizovací cena materiálu
- přebytečný prášek se může použít při výrobě dalšího model

Nevýhoda:

- vysoká pořizovací cena ~~stroje~~ (tiskárny)
- nedokonalý povrch

Minimální velikost vrstvy: cca 0,06 mm

Pořizovací cena tiskárny: cca 5 milionů Kč [2] [16] [20]

2.2.3 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Tento druh 3D tisku, patentován roku 1987, je založen na tisku kovových modelů, které se mohou dále obrábět a zpracovávat. Práškový materiál je zpevňován po tenkých vrstvách, pomocí laserového záření.

Princip DMLS technologie je založena na stejném principu jako SLS technologie. Rozdíl spočívá v rychleji pohybujícím se laseru. Aby laser přetavil kovový prášek, musí však vyvinout podstatně větší teplotu než u SLS, kde se taví pouze plastové materiály, nebo keramika. Proto je jedním z rozdílů mezi DMLS a SLS výkon laseru. Využívá se zde ochranná atmosféra plynu Argon.

Materiál je v tomto případě kov, a to například nerezová ocel, titan nebo bronz, který má díky své žáruvzdornosti využití v letectví a podobně.

Výhoda:

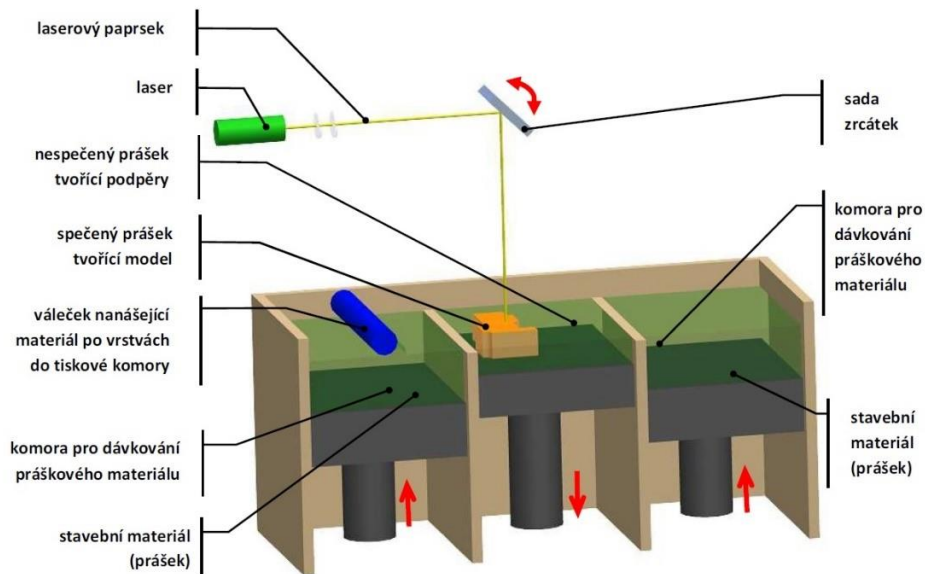
- výroba složitých tvarů
- kvalitní povrch s vysokým rozlišením

Nevýhoda:

- vysoká pořizovací cena tiskárny

Minimální velikost vrstvy: cca 0,02 mm

Pořizovací cena tiskárny: cca 10 milionů Kč [2] [4] [17]

SLS + DMLS:

Obr. 2 Selective laser sintering, direct metal laser sintering [2]

2.2.4 Selective Heat Sintering (SHS)

Technologii SHS vlastní firma BLUE PRINTER. Byla patentována roku 2002.

Prášek je nanesen v tenké vrstvě na pracovní plochu. Namísto laseru využívá technologie SHS topné těleso. Tisková hlava s topným tělesem vytvrzuje prášek v místech, kde má být vytvořen hotový model. Když je vrstva vytvrzena, stůl s modelem se posune o velikost vrstvy dolů a proces se opakuje.

Materiály - PLA, ABS, PET, NYLON atd.

Výhoda:

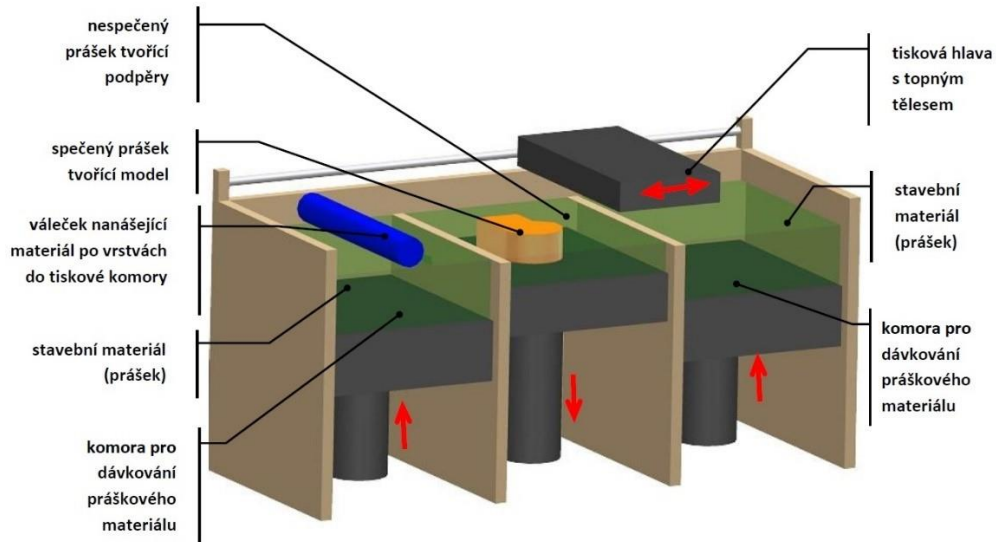
- tvorba tvarově složitých součástí
- není potřeba využívat podpůrný materiál
- nepoužitý prášek je 100 % recyklovatelný
- nízká pořizovací cena

Nevýhoda:

- hotový model se musí od přebytečného materiálu očistit stlačeným vzduchem

Minimální velikost vrstvy: cca 0,1 mm

Pořizovací cena tiskárny: cca 300 tisíc Kč [2]



Obr. 3 Selective heat sintering [2]

2.2.5 Binder Jetting (BJ)

Jedná se o technologii, při které dochází k vytvrzování materiálu chemicky, a to pomocí pojiva. Patentováno roku 1993. Společnost vlastníci technologii BJ je 3D Systems.

Na pracovní stůl se nanese tenká vrstva prášku. Práškový materiál je v tomto případě spojován pojivem. Pojivo je na tenké vrstvy materiálu kladeno tiskovou hlavou do přesně specifikovaných míst, čímž je stavební materiál slepován. Vzápětí platforma klesne o tloušťku další vrstvy, která je dále nanесena a opět zajištěna pojivem. Celý proces se opakuje až do dokončení poslední vrstvy součásti, po které lze výrobek vyjmout a zbavit přebytečného prášku, jenž lze recyklovat.

Materiály, které se mohou používat pro výrobu modelu např. keramika, hliník, nerezová ocel, nebo kompozitní materiály.

Výhoda:

- široký výběr materiálu – sádra, kovy, keramika
- možnost výroby barevných modelů

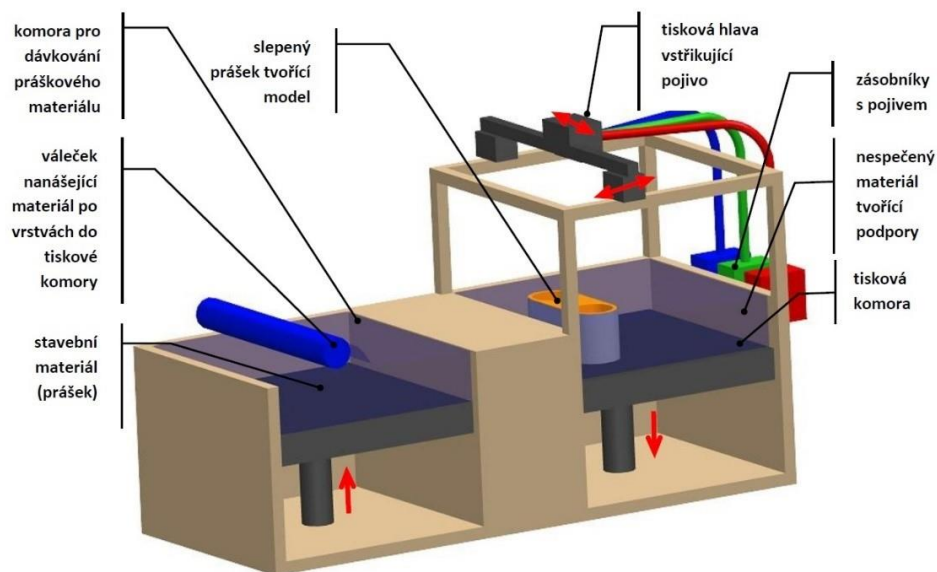
- rychlost tisku

Nevýhoda:

- dodatečné úpravy povrchu, za účelem zlepšení mechanických vlastností
- vysoká cena tiskárny

Minimální velikost vrstvy: cca 0,09 mm

Pořizovací cena tiskárny: cca 6 milionů Kč [1] [2]



Obr. 4 Binder jetting [2]

2.2.6 Multi Jet Printing (MJP)

MJP je technologie schopna vytvořit různobarevný model, ale i model o několika různých tuhostech. Patent, k tomuto způsobu 3D tisku, byl podán roku 1991. Vlastníkem této technologie je společnost 3D Systems.

Práškový materiál je nanášen na stavební podložku. Jako u BJ je na nanesenou vrstvu přiváděno pojivo. Práškový materiál je spolu s pojivem okamžitě zatvrzován pomocí UV světla. Když je vrstva vytvrzena, nanese se další vrstva prášku a proces se opakuje. Vytisknutý model je obalen v podpurném materiálu. Podpurným materiálem je u této technologie vosk. To znamená, že stačí vytisknutý model na pár minut vložit do vyhřívané pece, kde podpěry zmizí.

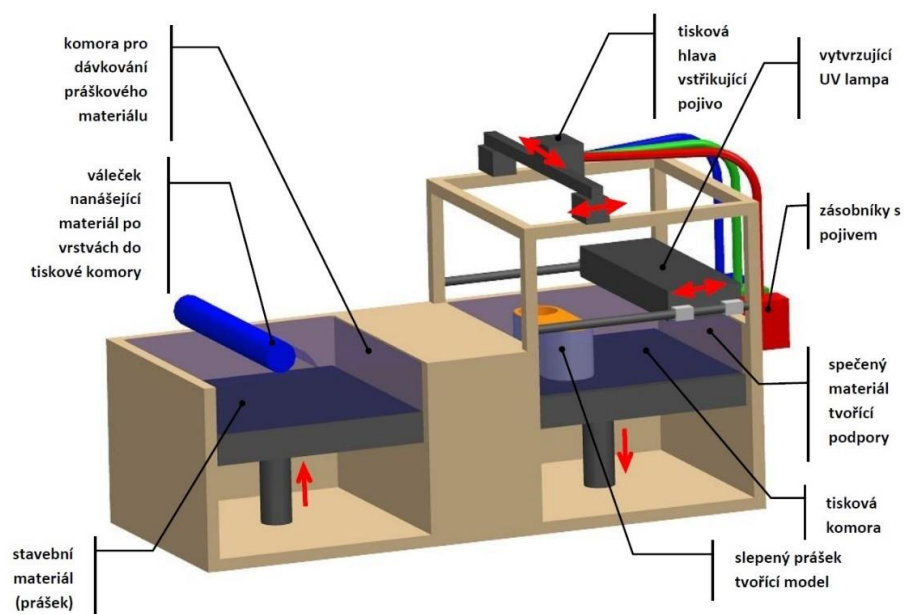
Materiály pro výrobu modelů jsou vyrobeny na míru od výrobce tiskárny 3D Systems. Jsou to například: VisiJet M3, nebo VisiJet M5.

Výhoda:

- kvalitní a přesný povrch
- dobré mechanické vlastnosti
- rychlý tisk

Minimální velikost vrstvy: cca 0,016 mm

Pořizovací cena tiskárny: cca 1,5 miliónu Kč [2] [21]



Obr. 5 Multi jet printing [2]

3 PŘÍPRAVA DESEK PRO 3D SLM

Desky pro 3D SLM tisk musí splňovat požadavky na drsnost, rovinnost a rovnoběžnost. Požadované hodnoty není možno dosáhnout frézováním materiálu, proto musí být finálním technologickým krokem broušení.

Po vytisknutí lamel dochází k jejich vyžihání a následnému odřezání z desky. Strojní odřezání je možné pouze v případě, kdy lamely na desce vyrůstají pod stejným úhlem. V případě že jsou úhly různé, je nutné tyto lamely odstranit z desky manuálním vylomením. Na desce zůstanou tzv. supporty, což je podpora, na které lamela vyrůstá. Příklad těchto supportů můžeme vidět na obrázku číslo 6. Z výrobních důvodů mají tyto supporty různé úhly a mohou dosahovat výšky až 15 mm. Supporty nejprve odstraníme frézováním, následně broušením dosáhneme požadovanou drsnost, rovinnost a rovnoběžnost desky.

Nová deska má výšku 36 mm, úběr materiálu frézováním a broušením je 0,3 mm. Minimální tloušťka použitelné desky je 18 mm z důvodu průhybu desky při opakovaném tepelném namáhání. Můžeme tedy říci, že jedna deska má životnost cca 60 cyklů.



Obr. 6 Různé druhy supportu

3.1 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO DESKY

Pro SLM výrobu je vhodné, když se materiál desky svými vlastnostmi co nejvíce podobá prášku, který je pro výrobu použit. Dodavatelem dodávaná deska strojního zařízení pro 3D tisk je vyrobena z materiálu ČSN 19083, což je uhlíková nástrojová ocel vyznačující se dostatečnou tvrdostí zakalené vrstvy a, vysokou houževnatostí a ~~velmi značnou necitlivostí~~

~~na kalené trhliny~~. Výkres této desky je v příloze I. Dále se ocel vyznačuje dobrou tvárností za tepla a dobrou obrobiteľností v žíhaném stavu.

3.2 ODŘEZÁNÍ DRÁTEM

3.2.1 Princip řezání drátem

Elektrojiskrové obrábění spočívá v odebrání materiálu sérií výbojů, které náhodně vznikají mezi vodivým obrobkem a elektrodou jako nástrojem. Elektroda, obvykle připojená na záporný pól, se obrobku nedotýká a je od něho oddělena malou mezerou kapalného dielektrika, nejčastěji na bázi vody (elektrojiskrové řezání drátem), nebo na bázi oleje či petroleje (elektrojiskrové hloubení). V obou případech se jedná o dielektrikum. Elektroda se k obrobku pomalu přisouvá, až se vrstva dielektrika ionizuje (probije) výbojem, který na obrobku vytvoří malý kráter. Materiál se zčásti odtaví, zčásti spálí nebo odpaří. Dielektrikum v mezeře se musí stále vyměňovat, aby se odplavily spaliny materiálu. Moderní stroje pracují s pulzním proudem o intenzitě v desítkách i stovkách ampér a o frekvenci v řádu desítek kilohertz. Nastavením těchto parametrů lze regulovat jednak rychlost odběru materiálu, jednak kvalitu a přesnost povrchu. Generátor má zpětnou vazbu, takže může automaticky korigovat nepravdivelnosti, například nahodilý kontakt elektrody s obrobkem, a podle průběhu proudu řídí pohyby elektrody.

Přednosti metody plynou hlavně z toho, že nástroj a obrobek se nedotýkají a nepůsobí na sebe mechanickou silou. Proto lze obrábět i velmi jemné a složité tvary i z velmi tvrdých materiálů, například kalené oceli, slitin titanu atd. Tím se radikálně změnila například technologie výroby nástrojů, které se dříve musely kalit až po obrobení. S elektrojiskrovým obráběním se tvary vyrábějí až po zakalení, takže žádná deformace nehrozí. Elektrojiskrovým obráběním lze dosáhnout vysoké přesnosti a kvality povrchu, které se vyrovnají broušení.

Mezi hlavní omezení patří pomalý odběr materiálu a velká spotřeba energie. Problém opotřeby elektrody se dalším vývojem podařilo významně omezit. Naopak velkou výhodou je možnost oddělení materiálu po křivce.

Elektrodou je kalibrovaný, nejčastěji mosazný drát o standardním průměru 0,25 mm (může se jednat o průměry 0,02 - 0,33 mm a různě povlakované dráty), napnutý mezi dvěma rameny stroje s přesným vedením. Drát se odvíjí a řez se vyplachuje deionizovanou vodou. Stroj, drátovka, má stůl s křížovým posuvem kam se upíná obrobek. Drát prochází mezi dvěma rameny, které řeší průchod proudu a jeho napětí. Příklad tohoto stroje můžeme vidět

v obrázku číslo 12. U dokonalejších strojů jsou obě ramena nezávisle programovatelná, takže řez může být také šikmý, případně se dají vyřezat i přechodové tvary. Svislá vzdálenost ramen omezuje tloušťku řezaného materiálu (průměrně kolem 300 mm). Pro vyřezávání vnitřních otvorů je třeba materiál předvrtat, buďto klasicky před zakalením, anebo na elektroerozivní vrtače po zakalení a drát do otvoru navléknout, což moderní stroje dovedou automaticky. Řezání pak po předchozím programování nevyžaduje přítomnost obsluhy. [9]

3.3 FRÉZOVÁNÍ DESEK

3.3.1 Princip frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebrává zuby vícebřitého nástroje, který se otáčí kolem své osy. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky.

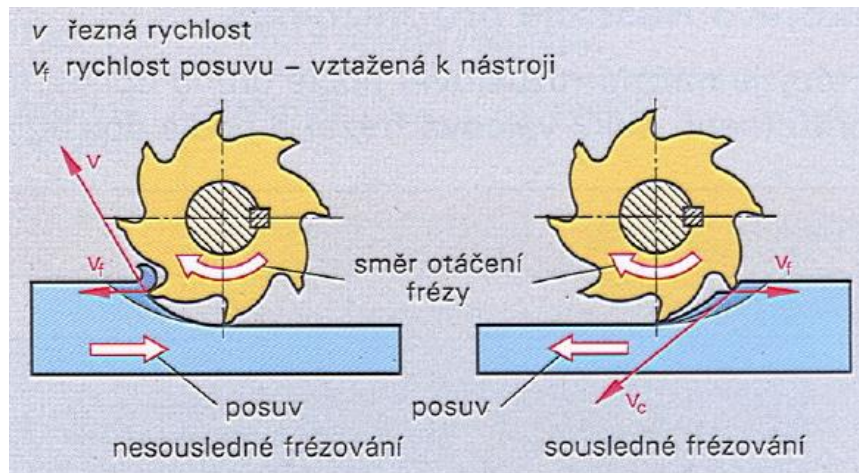
Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování válcové (frézování obvodem) a frézování čelní (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozuji některé další způsoby, jako frézování okružní a planetové.

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování nesousledné (protisměrné) a sousledné (souměrné).

Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu.

Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů. Sousměrné frézování může

probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejnsměrný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje. [7] [22]



Obr. 7 Rozdíl mezi frézováním sousledným a nesousledným [7]

3.3.2 Dosahované drsnosti, rovinnost

Frézování		Přesnost rozměru IT		Drsnost povrchu Ra	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Rovinné plochy	Hrubování	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	Válcovou frézou	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	Dokončovací válcovou frézou	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	Hrubování nožovou hlavou	9	8 až 9	3,2	0,8 až 6,3
	Dokončování nožovou hlavou	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6

Tab. 1 Dosahované parametry u frézování

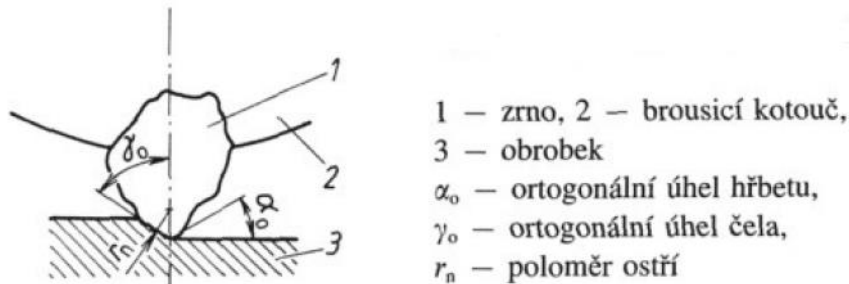
3.4 BROUŠENÍ DESEK

3.4.1 Princip broušení

Broušení patří mezi nejstarší metody obrábění. Je to dokončovací metoda pro obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrný tvrdých materiálů navzájem spojených vhodným pojivem. U nástrojů pro broušení má každé zrno brusiva jiný geometrický tvar. Mezi zrna a pojivem se vyskytují volná místa – póry.

Kromě brousících nástrojů se pro broušení používá také volné brusivo. Volná zrna jsou k broušenému předmětu přitlačována deskou, trnem apod.

Pro broušení je charakteristické, že je v současné době v záběru velké množství zrn (břitů), která odebírají třísky velmi malých průřezů různých velikostí. Úhel čela zrna γ_0 je zpravidla negativní a poloměr ostří r_n je u běžných zrn 5 až 40 μm .



Obr. 8 Tvar zrna brousícího kotouče [8]

Z hlediska tvaru broušených ploch a způsobu práce můžeme broušení rozdělit:

- ❖ Broušení do kulata
 - Vnější – axiální, axiální hloubkové, zápachové, bezhroté
 - Vnitřní – axiální, zápachové, planetové, bezhroté
- ❖ Broušení rovinné
 - Obvodem kotouče
 - Čelem kotouče
- ❖ Broušení tvarové
 - Tvarovými kotouči
 - Kopírovacím způsobem
 - NC a CNC brousících strojích [8]

3.4.2 Brusné nástroje, materiály

Nástroje na broušení jsou brousící kotouče, segmenty, kameny a pásy (stále častěji v některých případech nahrazují broušení brousícími kotouči), obsahující zrna brusiva ve vhodném pojivu.

Zrna brusiva jsou:

- ❖ Volná (brousící a leštící pasty a prášky)
- ❖ Vázaná

- V tuhých nebo pružných tělesech – brousící kotouče, brousící tělíška, superfinišovací a honovací kameny, brousící a obtahovací kameny a segmenty, brousící pilníky
- Nanesená a zakotvená na brousících páslech a brousících a leštících plátnech a papírech

Výhodou vlastností brousících nástrojů je tzv. samoostření. Při vhodně zvoleném nástroji a řezných podmínkách dochází vlivem otupování zrn k růstu řezné síly a k vylamování opotřeбенých zrn nástroje. Tím se odkryjí nová, ostrá zrna brusiva.

Nejčastěji používanými brousícími nástroji jsou brousící kotouče nejrůznějších tvarů a velikostí. Charakteristické vlastnosti kotouče jsou dány jeho označením, které obsahuje:

- Typ brousícího kotouče
- Druh brousícího materiálu
- Zrnitost
- Tvrdost
- Strukturu
- Druh pojiva
- Maximální pracovní rychlost kotouče [8]

Nejčastěji používané materiály brusiva jsou:

- Přírodní – granát, smirek, pazourek
- Umělý – umělý korund Al_2O_3 , karbid křemíku SiC , karbid boru B_4C , kubický nitrid boru N_2B_3 , diamant (přírodní i umělý)

Velikost zrna je dle normy ČSN ISO 525 dána číslem, které odpovídá počtu ok na délku jednoho anglického palce síta, jímž při třídění ještě zrno propadne. Velikost zrna se označuje čísly od nejhrubšího po nejjemnější:

- Hrubá 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24
- Střední 30, 36, 40, 46, 54, 60
- Jemná 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180
- Velmi jemná 220, 240, 280, 320, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200

Pojivo spojuje zrna brusiva do požadovaného tvaru brousícího nástroje. Pro brousící kotouče z umělého korundu a karbidu křemíku se používají pojiva keramická (V), pryžová (R), pryžová s textilní výztuží (RF), z umělé pryskyřice (B), z umělé pryskyřice s textilní výztuží

(BF), šelaková (E) a magneziová (Mg). Pro kotouče z kubického nitridu boru a diamantu se používají pojiva kovová, galvanická kovová, keramická a pojiva z umělé pryskyřice.

Stupeň tvrdosti brousícího nástroje je určen druhem a obsahem pojiva. Je definován jako odpor, který klade zrno proti vylomení z brousícího nástroje. Tvrdost kotouče je označována písmeny A až Z, přičemž A je nejměkčí a Z nejtvrdší. Struktura se označuje čísly od 0 do 14. Čím je číslo vyšší, tím je vzdálenost mezi zrny větší. [8]

3.4.3 Dosahované drsnosti, rovinnost

Broušení		Přesnost rozměru IT		Drsnost povrchu Ra	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Rovinné plochy	Hrubování	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	Dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	Jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
Vnitřní válcová	Hrubování	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	Dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	Jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
Vnější válcová	Hrubování	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	Dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	Jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4

Tab. 2 Dosahované parametry u broušení

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části bylo nalézt efektivní řešení v procesním kroku přípravy desek pro 3D SLM tisk. Připravenou desku pro 3D tisk můžeme vidět v obrázku číslo 17. Konečné řešení musí bezesbýtku splňovat požadavky zákazníka na kvalitu a rozměrovou přesnost dodávaných desek.

Hlavní cíle práce byly, dle popsání záměrů, stanoveny takto:

- Desky připravené v kooperaci
- Požadavek zákazníka
- Příprava desek ve VFC
- Kontrola kvality ve VFC
- Ekonomické vyhodnocení

5 VFC – VÝROBA FOREM CONTINENTAL

Formy se začali vyrábět v regionu již v roce 1931, kdy firma Baťa začala ve Zlíně vyrábět první cyklistické pláště. V roce 1932 se ve strojírenském závodě firmy Baťa začaly vyrábět formy na lisování pneumatik pro automobily. V rámci výroby forem Continental (VFC) se postupně vyráběly osobní, nákladní a traktorové formy. Divize výroby forem je součástí společnosti Continental Barum s.r.o. se sídlem v Otrokovicích.

Dnes je VFC strojírenským závodem, který patří mezi světovou špičku ve výrobě osobních segmentových forem. Tyto výrobky jsou dnes dodávány do firmy Continental po celém světě.

Podklady pro výrobu forem jsou zpracovány počítačovými systémy NX a dalšími softwarovými produkty. Opravdovým klenotem VFC je výroba modelů a hliníkových odlitků. Modely jsou vyráběny na NC 5osých frézkách, odlévání probíhá gravitačním způsobem. Odlitky dosahují špičkové kvality a přesnosti. Obráběcí a dokončovací operace zajišťují moderní technologická zařízení – NC stroje, frézky, soustruhy, gravírovací stroje. Jakost forem je zajišťována v průběhu celého výrobního procesu a následně konečnou stoprocentní kontrolou hotového výrobku. [23]

5.1 KONSTRUKCE A VÝROBA FOREM

Forma pro osobní pneumatiky se skládá z těchto dílů

- dezénové segmenty
- bočnice
- patkové kruhy

Tyto díly se vkládají do kontejneru, který zajišťuje vytápění formy a pohyb formy při vkládání a vyjímání pláště při lisování.

Dezénové segmenty

Dezénové segmenty se vyrábí z hliníkových odlitků. Podle CNC dat a výkresů se vyrábí na 5osých frézkách modely, které mají design budoucího dezénu pneumatiky. Negativem modelu je flexiblový otisk, do kterého jsou vloženy ocelové lamely. Tento flexibel se pomocí přípravků zaformuje a vylije se sádrou. Vznikne nám sádrové jádro, do něhož se tímto procesním krokem přesunou ocelové lamely. Model i sádrové jádro se dokončuje ručně, aby se odstranili nerovnosti a drobné vady na povrchu. Sádrové jádro je ustaveno na licí desku, na

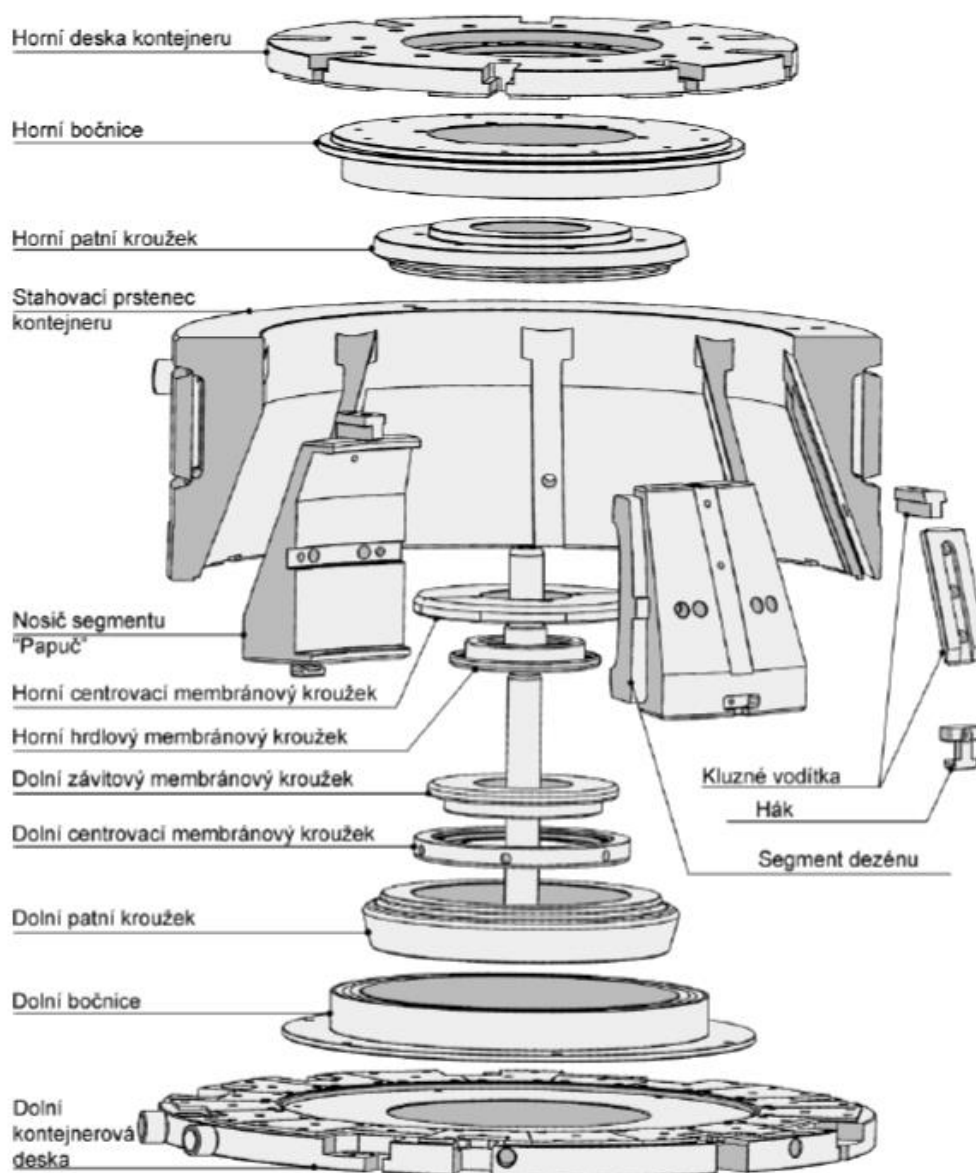
níž se následně přidá zadní díl formy. Tímto je sestava připravena k lití. Odlitím roztaveného hliníku ukončí základní výrobní proces ve slévárně. Zhotovené dezénové segmenty se dále soustruží a frézují tak, aby výsledný tvar odpovídal výkresové dokumentaci. Časově náročnou výrobní operací je zhotovení odvzdušnění dezénu. V dezénové části se musí vrtat v průměru 4 000 otvorů pro odvzdušňovací ventily, aby bylo zaručeno správné odvzdušnění formy při lisování pneumatik. Na dezénu se dále provádí ruční dokončení odlitku, začištění a odškrabání přetoků a vad vzniklých při licím procesu.

Bočnice

Bočnice se soustruží z vypálených ocelových polotovarů. Po tepelném zpracování následuje vysoustružení základního tvaru. Dále se do profilu bočnice frézují drážky pro výměnné štítky popisu. Po instalaci výměnných štítků se vyfrézuje popis, který se při lisování otiskne na finální výrobek – plášť pneumatiky. Stejně jako na segmentech tak i na bočnici se musí zhotovit odvzdušňovací systém, který zaručí správný odvod vzduchu z formy při lisování. Spolu s odvzdušněním proběhne na bočnici ruční dokončení, zejména ojhlení hran vzniklé po strojním obrábění.

Patní kruhy

Stejně jako bočnice se patkové kroužky po tepelném zpracování soustruží z ocelových polotovarů. Po soustružení základního tvaru se vrtá a frézuje odvzdušňovací systém, který zaručí správný odvod vzduchu z formy při lisování. I zde se pro odvzdušnění používají speciální euroventily, které při lisování zabraňují zatékání gumy do formy. [23]



Obr. 9 Konstrukce formy [23]

6 OPTIMALIZACE PROCESU

6.1 STÁVAJÍCÍ STAV

V součinnosti s implementací technologie SLM ve VFC vyvstala potřeba řešit přípravu desek pro 3D SLM tisk. VFC disponuje 4osou frézku která je pro procesní krok frézování desek vhodná. Na tomto strojním zařízení však nebyla volná kapacita.

Vhodnou brusku na finální úpravu povrchu dle požadavku zákazníka VFC nedisponovalo.

Z toho důvodu bylo nutné řešit procesní krok přípravy desek v kooperaci. Firma pro kooperaci s VFC musí být schválena centrálou firmy Continental. Byly osloveny 3 firmy, které jsou k této kooperaci schváleny.

6.1.1 Představení kooperanta

Společnost Prozax, s.r.o. vznikla v roce 1995 v rámci privatizace provozu výroby prototypových strojů, který vznikl již v roce 1965 pro potřeby společnosti Barum (dříve Rudý říjen). Firma se zabývá zakázkovou strojní výrobou dle podkladů dodaných zákazníkem, nebo podkladků vytvořených ve vlastní konstrukci, výrobou širokého sortimentu strojírenských výrobků. Vývin jednoúčelových strojů jako jsou například navíječky, dopravníky, řezací a sekací zařízení, odvíječky, manipulátory a jiná zařízení. Montáž, demontáž a rekonstrukce výrobních linek, výroba elektrorozvaděčů. Výhodou firmy Prozax je flexibilita, která se odráží ve stálém rozšiřování její působnosti, orientuje se na komplexní řešení. Jedním z největších odběratelů jsou firmy Continental Barum Otrokovice a Continental Hannover. Spolehlivost a kvalitu garantuje certifikát ISO 9001:2009, získaný v roce 2001. [24]

6.1.2 Požadavek zákazníka VFC

Požadavek na kvalitu povrchu desek je dán firmou dodávající strojní zařízení pro 3D SLM tisk. Výkresová dokumentace této desky je v příloze I. Požadavek na rovinnost a rovnoběžnost povrchu je dán zejména technologií následného 3D tisku. Tloušťka nanášeného materiálu je nastavitelná v rozmezí 10 až 40 μm .

Požadované parametry:

- Drsnost R_z 10
- Rovinnost 0,03 mm

- Rovnoběžnost 0,012 mm

6.1.3 Frézování v kooperaci

Frézování probíhá na stroji 4osém stroji FA3H. Tímto strojním zařízením nejprve odstraníme support o výšce až 15 mm. Následnou operací je broušení.



Obr. 10 Frézka FA3H [24]

6.1.4 Broušení v kooperaci

Broušení probíhá na stroji BPV300 – bruska na plocho. S tímto strojním zařízením je kooperant schopen brousit elementy o rozměrech 1000 x 300 mm. Rozměr obrobku, resp. desky je 252 x 252 mm. Pro stávající desky je tedy strojní zařízení dostačující.



Obr. 11 BPV 300 [24]

6.1.5 Výhody a nevýhody kooperace

Z počátku výroby SLM se jednalo o kusovou výrobu a požadavky na broušení desek byly v jednotkách kusů týdně. Rozhodnutí kooperovat tento procesní krok bylo správné.

Nevýhody kooperace se projevily zejména po nárůstu výroby SLM a s tím související požadavek na přípravu většího objemu desek. Důležitá je také ochrana know-how.

Kooperace je službou externího dodavatele a ta vždy přináší své výhody a nevýhody.

Výhody:

- Poloha firmy v areálu společnosti Continental Barum – snadná logistika, dostupnost

Nevýhody:

- Cena za dílo
- Dodací termíny
- Proměnlivá kvalita
- Nutnost vyřízení objednávky – zátěž oddělení logistiky

Uvedené nevýhody byly jedním z důvodů realizace přípravy desek ve VFC.

6.2 NÁVRH ZMĚNY

V průběhu let 2008 až 2014 bylo úkolem VFC vyrábět objemy forem s minimálními investicemi do strojního zařízení. Tento stav byl navíc podpořen krizí v roce 2008.

V roce 2015 přichází z centrály v Hannoveru požadavek na vybudování technologického centra v Otrokovicích. Za tímto požadavkem, stojí potřeba vyrábět náročnější dezény, s čímž souvisí implementace nových technologií, a hlavně ochrana know-how. Vybudování technologického centra bylo pro Continental nezbytným krokem k tomu, aby mohl i nadále udávat trendy ve výrobě osobních pneumatik.

Od roku 2015 došlo ve VFC k významným investicím. Byla postavena nová budova poskytující 4500 m². Celou jednu třetinu tohoto nového prostoru zabírá výroba SLM.

Investice do strojního zařízení obsahovaly:

- 3D SLM pro tisk lamel
- 5osé centra pro:
 - Frézování modelů
 - Strojní vrtání odvodušnění
 - Popis bočnic
 - Frézování a vrtání bočnic
 - Výrobu patních kruhů

6.2.1 Odřezání drátem

Součástí rozsáhlých investic do strojního parku byl stroj na oddělení lamel z desky. Jedním z požadavků na strojní zařízení byl požadavek na možnost odřezání lamely po křivce. Pro tento procesní krok je vhodná metoda EDM (Electric Discharge Machining), elektrojiskrové obrábění. Bylo vybráno strojní zařízení FANUC Robocut α -C600iA, které disponuje dostatečným pracovním prostorem.

FANUC Robocut α -C600iA disponuje následujícími parametry:

- Pracovní prostor 1050 x 820 x 310 mm
- Maximální hmotnost obráběného tělesa 1000 kg
- Průměr drátu 0,10 až 0,30 mm

Po vytištění a vyžihání lamel na desce následuje další procesní krok. Tímto je odřezání lamel z desky. Deska je upnuta vertikálně do stroje a následně jsou lamely odřezány. Drát o průměru 0,25 mm prochází deionizovanou vodou a odřezává lamely z desky. Tloušťka odebíraného materiálu je přibližně 0,5 mm. Posuv je automatický dle odporu řezaného materiálu.

Obr. 12 FANUC Robocut α -C600iA

6.2.2 Frézování

Po výše zmíněných investicích nahradil ve výrobě patních kruhů 5osý stroj DMU CTX GAMMA 1250 starší 4osou frézku FP5CC. Uvolněná kapacita na tomto stroji mohla být použita buď na výrobu výměnných štítků do bočnic nebo na frézování desek pro 3D SLM tisk. Bylo rozhodnuto, že výměnné štítky budeme i nadále nakupovat od externího dodavatele a kapacitu využijeme na výrobu a přípravu desek pro 3D SLM tisk.

Frézování probíhá na 4osém frézovacím stroji FP5CC Deckel. Tloušťka odebíraného materiálu závisí na velikosti supportu. Deska je upnuta do stroje pomocí magnetické upínky a frézována.

- Otáčky nástroje 1500 ot/min
- Posuv 140 m/min
- Nástroj – fréza SECO \varnothing 32 mm
- Chladicí kapalina – Shell Adrana DF 200

Zůstatková tloušťka materiálu – supportu – na desce je 0,05 mm.



Obr. [1314](#) Frézovaná deska na magnetickém upínači

Po odfrézování supportu je deska připravena na další procesní krok, kterým je broušení.



Obr. [1415](#) Deska po frézování na stroji FP5CC Deckel

6.2.3 Broušení

V nově postavené budově je počítáno s výrobou segmentů 3D SLM technologií. S ohledem na tuto skutečnost byl jedním z požadavků na výběr strojního zařízení rozměr desky pro tisk segmentů a to 400 x 400 mm. Byl vybrán stroj Goeckel GB65PL, který tyto parametry splňuje spolu s dalšími požadavky na rovnoběžnostsouosost, rovinnost a drsnost. Nákup strojního zařízení byl nevyhnutelný, protože žádná z kooperujících firem nedisponuje strojním zařízením, které by umožňovalo desky takových rozměrů brousit.

Bruska Goeckel GB65PL disponuje následujícími parametry:

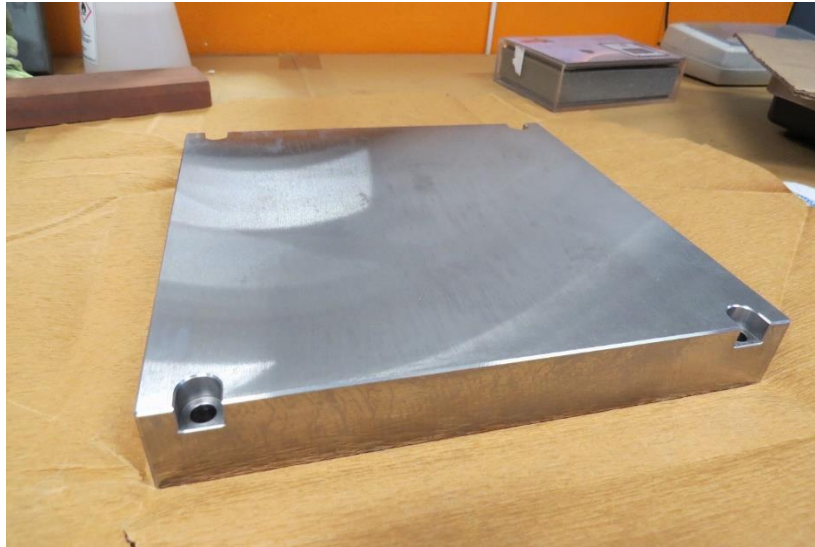
- Délka stolu 2 000 mm
- Šířka stolu 400 mm
- Dosahovaná rovnoběžnost 0,01 mm
- Dosahovaná rovinnost 0,01 mm
- Dosahovaná drsnost R_a 1,6 mm
- Nosnost 800 kg



Obr. 1516 Bruska Goeckel GB65PL

Deska je v brusce upnuta pomocí magnetické upínky a následně broušena. Na rotační hlavě je upnuto 12 brusných kamenů, které se otáčejí a zajišťují broušení desky. Nejprve se brousí jedna strana, následně kvůli zajištění rovnoběžnosti obou stran se brousí strana druhá. Při finálním broušení se deska otočí o 90 ° a proběhne finální operace.

- Tloušťka odebíraného materiálu – max. 0,3 mm
- Otáčky při hrubování 1300 ot/min, jemné broušení finálního povrchu 1100 ot/min
- Posuv při hrubování 30 m/min, jemné broušení finálního povrchu 20 m/min
- Nástroj – \varnothing 400 mm, 12 výměnných kamenů
- Chladicí kapalina – Goeckel Rudosol

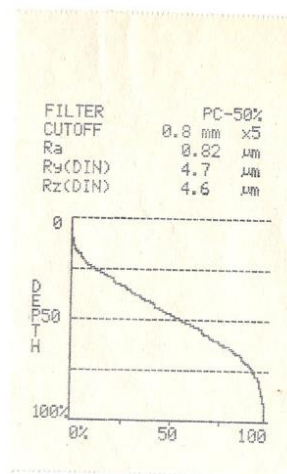


Obr. 1617 Deska připravená pro tisk

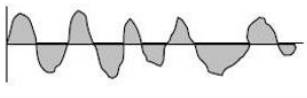
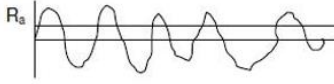
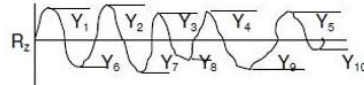
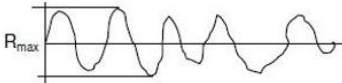
6.2.4 Měření desek ve VFC

Měření drsnosti

Na stroji Mitutoyo SURFTEST 301 probíhá měření drsnosti povrchu. Požadavek na plochu je mít drsnost menší než $R_z 10$. Měření probíhá dle normy ČSN EN ISO 4288 – Geometrické požadavky na výrobky – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu.



Obr. 1719 Protokol měření drsnosti

Aritmetický průměr R_v	plocha nad aritmetickým průměrem sa rovná ploše pod čarou aritmetického průměru	
Aritmetická odchylka od profilu R_a	Aritmetický průměr absolutních hodnot skutečného profilu (používá se na rugotestech)	
R_z $R_z = (4-6)R_a$	Průměrná hodnota z absolutních hodnot 5 maxim a 5 minim profilu křivky $R_z = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_9 + Y_{10}) / 5$ ($R_z = \text{asi } 4-6 \times R_a$)	
Maximální výška profilu R_{max}	rozdíel mezi maximem a minimem profilu drsnosti (R_{max} je asi $6 \times R_a$)	

Tab. 3 Drsnosti

Měření rovinnosti

Pro měření rovinnosti a rovnoběžnosti desek používáme ve VFC multisenzorový souřadnicový měřicí stroj Werth Scope-Check MB 3D CNC, který je výrobkem německého výrobce Werth Messtechnik GmbH. Požadavek na rovinnost ploch je 0,03 mm na rovnoběžnost pak 0,012 mm. Ústředním senzorem je optický senzor pro zpracování obrazu, jenž zahrnuje patentovanou optiku Werth Zoom s 25 krokovým zoomem. Dotekovým senzorem tohoto přístroje je skenovací doteková sonda Renishaw SP25, která dokáže kontinuálně skenovat měřený díl.

Senzor LLP (Laser Line Probe) – plošný liniový laser je kompaktní snímač, využívající princip triangulace. Je určený hlavně pro digitalizaci složitých obecných ploch. Naměřené body lze porovnat vůči nominálním hodnotám 3D CAD modelu. [25]

Deska byla upnuta do upínacího zařízení na stroji Werth. Každá z měřených ploch byla postupně změřena na 20 místech nacházejících se po celé ploše měřené desky. Pomocí SW byla spočítána rovinnost jednotlivých stran a byla porovnána rovnoběžnost mezi nimi. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na obrázku 21.



Messprotokoll

Measurement Report

Werth Messtechnik GmbH
 Siemensstraße 19, 35394 Gießen
 Telefon: +49 (641) 7938 - 0
 Telefax: +49 (641) 7938 - 719
 E-Mail: mail@werth.de
 www.werth.de

Uhrzeit / time: 11:30 Uhr

Datum / date: 20.04.-2019

Měření rovinnosti a rovnoběžnosti ploch desky SLM.

	Hodnota	Tolerance	Odchylka	Popis
Rovinnost:	0.0163	0.030	0.0163	Horní strana desky
Rovinnost:	0.0174	0.030	0.0174	Dolní strana desky
Rovnoběžnost:	0.0116	0.012	0.0116	Horní strana vůči Dolní strana desky

Obr. ~~1824~~ Protokol rovinnosti a rovnoběžnosti

6.2.5 Materiál pro výrobu desek, výroba desky ve VFC

Materiál pro výrobu desek

Nedílnou součástí VFC je výroba bočnic a patních kruhů. Z ocelových desek materiálu 11523 o rozměru 2 x 3 metry jsou připravovány polotovary – mezikruží pro následnou výrobu.

Rozdělení využití desky:

- 50 % plocha výrobku
- 30 % vnější odpad
- 20 % vnitřní odpad

Na výrobu desek pro 3D SLM tisk můžeme využít vnější odpad. Tímto zlepšíme využití ocelových desek a eliminujeme procento odpadu.

Výroba desky ve VFC

Z vnějšího odpadu materiálu 11523 jsou metodou tepelného dělení kyslíkovým plamenem vypáleny rozměry 265 x 265 mm. Tloušťka použitého plechu je nejčastěji 50 mm. Následně je tento vypálený polotovar upnut do 4osé frézky FP5CC a frézováním je zhotoven základní tvar. Na brusce na plochu následně dosáhneme požadované rovinnosti, ~~rovnoběžnosti~~ ~~rovnoběžnosti~~ a drsnosti. Desky žiháme po vypálení z plotny z důvodu dalšího obrábění. Je použita stejná žihací křivka jako pro polotovary na bočnice a patní kruhy, proto se může žihat spolu s nimi v jedné peci.



Obr. ~~1922~~ Vypálené polotovary pro desky

6.2.6 Ekonomické porovnání kooperace a výroby ve VFC

Ve VFC se ročně vytiskne 3 000 desek. Procesem frézování a broušení odebereme z desky 0,3 mm. Jedna deska má tedy životnost 60 zakázek.

Roční potřeba VFC je 50 desek nových a 2 950 procesů opakovaného frézování a broušení. Ekonomické vyhodnocení jsme provedli pro výrobu nové desky a pro přípravu již použité desky.

Nová deska

- Nákup desky od dodavatele strojního zařízení	6 000 Kč
o 50 desek x 6 000 Kč	300 000 Kč
- Výroba ve VFC	1 100 Kč
o 50 desek x 1 100 Kč	55 000 Kč
- Celková úspora při výrobě desek ve VFC je	245 000 Kč

Příprava použité desky

- Příprava v kooperaci	1 500 Kč
o 2 950 desek x 1 500 Kč	4 425 000 Kč
- Příprava ve VFC	1 000 Kč
o 2 950 desek x 1 000 Kč	2 950 000 Kč
- Celková úspora při přípravě desek ve VFC je	1 475 000 Kč

ZÁVĚR

V Bakalářské práci jsem se zabýval přípravou desek pro 3D SLM. V teoretické části byly popsány 3D technologie, materiály pro 3D tisk, odřezání vytištěných lamel, frézování a broušení desek. Náplní praktické části je analýza současného stavu a realizace přípravy desek ve VFC. Cílem ~~praktické části~~ bylo nalézt efektivní řešení v procesním kroku přípravy desek pro 3D SLM tisk.

Byl realizován návrh na výrobu desek ve VFC. S nárůstem objemu výroby SLM se toto řešení ukázalo jako efektivní. Frézování desek probíhá na 4osé frézce, jejíž kapacita byla uvolněna po nákupu nového strojního zařízení na výrobu patních kruhů. Na finální procesní krok, jímž je broušení byla zakoupena bruska Goeckel.

Benefity plynoucí z realizované změny

- eliminování úniku know-how, které souvisí s tiskem lamel
- finanční úspora
- stálá kvalita připravovaných desek
- využití strojů ve VFC
- dodávky dle potřeby
- eliminace logistiky
- strojně jsme vybaveni na přípravu desek větších rozměrů, které budou součástí výroby v blízké budoucnosti

Zavádění a využívání nových technologií a ochrana know-how přináší VFC technologický náskok před konkurencí. Společně s příznivou cenou za výrobek přináší práci neustále se zvětšujícímu týmu zaměstnanců VFC, a hlavně perspektivu do budoucnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MIYANAJI, Hadi, Niknam MOMENZADEH a Li YANG. Effect of powder characteristics on parts fabricated via binder jetting process. *Rapid Prototyping Journal* [online]. 2019, 25(2), 332-342 [cit. 2019-05-19]. DOI: 10.1108/RPJ-03-2018-0069. ISSN 1355-2546.
- [2] Druhy 3D tisku [online 15.12.2018]
Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>
- [3] KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. Začínáme s 3D tiskem. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.
- [4] 3D tisk [online 23.11.2018]
Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>
- [5] YAO, Tianyun, Zichen DENG, Kai ZHANG a Shiman LI. A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2019, 163, 393-402 [cit. 2019-05-19]. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.01.025. ISSN 13598368. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359836818323035>
- [6] The Difference Between ABS and PLA for 3D Printing [online 23.11.2018]
Dostupné z: <http://www.protoparadigm.com/news-updates/the-difference-between-abs-andpla-for-3d-printing/>
- [7] Kocman K.: *Technologické procesy obrábění. Brno 2011: Akademické nakladatelství*
- [8] Řasa J., Gabriel V.: *Strojírenská technologie 3 – 1.díl Metody, stroje a nástroje pro obrábění, Praha 6 – Břevnov 2000: Pedagogické nakladatelství*
- [9] Elektroerozivní obrábění EDM [online 05.01.2019]
Dostupné z: <https://www.invocz.cz/elektroerozivni-obrabeni-edm-dratovani-hloubeni>
- [10] Find your FDM thermoplastic [online 15.01.2019]
Dostupné z: <https://www.stratasys.com/fdm>

- [11] CANESSA. E., et al, Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development. ICTP – The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics. 2013. ISBN 92-95003-48-9
- [12] Plast PC. [online 15.01.2019]
Dostupné z: <https://www.clexpert.cz/3dtisk/plast/pc>
- [13] FORMÁNEK, J., JANDOVÁ, A., BUNDA, Z., KUČEROVÁ, L. USABILITY OF THERMOPLASTICS FOR 3D PRINTING OF PROTOTYPE PRODUCTS. In METAL 2016: TANGER, spol. s r. o., Pavlovova 2644/6, 700 30 Ostrava-Zábřeh, 2016. s. 1406-1411. ISBN: 978-80-87294-67-3
- [14] PVA. Simplify3D [online 15.01.2019]
Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pva/>
- [15] Materiál pro 3d [online 15.01.2019]
Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/>
- [16] Additive Manufacturing Technologies: An Overview. Basic principles of 3D printing. 3D Hubs [online 15.01.2019]
Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologiesoverview>
- [17] UĞUR SOLAKOĞLU, Ezgi, Selim GÜRGEN a Melih Cemal KUŞHAN. Surface topography of nickel-based superalloy manufactured with direct metal laser sintering (DMLS) method. Surface Topography: Metrology and Properties [online]. 2019, 7(1) [cit. 2019-05-19]. DOI: 10.1088/2051-672X/aafe33. ISSN 2051-672X. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/2051-672X/7/i=1/a=015012?key=crossref.df5b1dbbd0ead6e64bf38386774cf1a>
- [18] ZHANG, Lai-Chang a Hooyar ATTAR. Selective Laser Melting of Titanium Alloys and Titanium Matrix Composites for Biomedical Applications: A Review . *Advanced Engineering Materials* [online 15.01.2019] DOI: 10.1002/adem.201500419. ISSN 14381656.
Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adem.201500419>
- [19] 3D Printing Technology Guide: 9 Basic Type sof 3D Printers. All3DP. [online 15.01.2019]
Dostupné z: <https://all3dp.com/types-of-3d-printer-technology-explained/#SLM>

- [20] WONG, Kaufui V. a Aldo HERNANDEZ. A Review of Additive Manufacturing. ISRN Mechanical Engineering [online 15.01.2019] DOI: 10.5402/2012/208760. ISSN 2090-5130.
Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/208760/>
- [21] Multi Jet Printing [online 23.11.2018]
Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp>
- [22] SANDVICK COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 s. ISBN 91-972-2994-6.
- [23] Continental Barum s.r.o., personální divize: Gumárenská technologie, 2008
- [24] Prozax [online 11.4.2019]
Dostupné z: <http://prozax.cz/>
- [25] CHRISTOPH, R., NEUMANN, H. J., *Multisenzorová souřadnicová měřicí technika*. Uherské Hradiště: L.V.Print, 2008, 106 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VFC	Výroba forem Continental
CMM	Conti Molds and Machinery
SLM	Selective Laser Melting
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PLA	Polylactic Acid
PET	Polyetylen tereftalát
PVA	Polyvinyl alkohol
PC	Polykarbonát
ASA	Akrylonitrile Styrene Akrylát
MS	Maraging Steel
HRC	Hardness Rockwell
CX	Stainless Steel
PVC	Polyvinylchlorid
SLS	Selective Laser Sintering
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
SHS	Selective Heat Sintering
BJ	Binder Jetting
MJP	Multi Jet Printing
CNC	Computer Numeric Control
ČSN	Česká technická norma
ISO	International Organization for Standardization

SEZNAM OBRÁZKŮ

<u>Obr. 1 Selective laser melting [18]</u>	<u>18</u>
<u>Obr. 2 Selective laser sintering, direct metal laser sintering [2].....</u>	<u>20</u>
<u>Obr. 3 Selective heat sintering [2]</u>	<u>21</u>
<u>Obr. 4 Binder jetting [2]</u>	<u>22</u>
<u>Obr. 5 Multi jet printing [2].....</u>	<u>23</u>
<u>Obr. 6 Různé druhy supportu.....</u>	<u>24</u>
<u>Obr. 7 Rozdíl mezi frézováním sousledným a nesousledným [7]</u>	<u>27</u>
<u>Obr. 8 Tvar zrna brousícího kotouče [8].....</u>	<u>28</u>
<u>Obr. 9 Konstrukce formy [23]</u>	<u>35</u>
<u>Obr. 10 Frézka FA3H [24].....</u>	<u>37</u>
<u>Obr. 11 BPV 300 [24].....</u>	<u>38</u>
<u>Obr. 12 FANUC Robocut α-C600iA</u>	<u>40</u>
<u>Obr. 14 Frézovaná deska na magnetickém upínači</u>	<u>41</u>
<u>Obr. 15 Deska po frézování na stroji FP5CC Deckel</u>	<u>41</u>
<u>Obr. 16 Bruska Goeckel GB65PL</u>	<u>42</u>
<u>Obr. 17 Deska připravená pro tisk</u>	<u>43</u>
<u>Obr. 19 Protokol měření drsnosti.....</u>	<u>43</u>
<u>Obr. 21 Protokol rovinnosti a rovnoběžnosti.....</u>	<u>45</u>
<u>Obr. 22 Vypálené polotovary pro desky</u>	<u>46</u>
<u>Obr. 1 Selective laser melting [18]</u>	<u>18</u>
<u>Obr. 2 Selective laser sintering, direct metal laser sintering [2].....</u>	<u>20</u>
<u>Obr. 3 Selective heat sintering [2]</u>	<u>21</u>
<u>Obr. 4 Binder jetting [2]</u>	<u>22</u>
<u>Obr. 5 Multi jet printing [2].....</u>	<u>23</u>
<u>Obr. 6 Různé druhy supportu.....</u>	<u>24</u>
<u>Obr. 7 Rozdíl mezi frézováním sousledným a nesousledným [7]</u>	<u>27</u>
<u>Obr. 8 Tvar zrna brousícího kotouče [8].....</u>	<u>28</u>
<u>Obr. 9 Konstrukce formy [23]</u>	<u>35</u>
<u>Obr. 10 Frézka FA3H [24].....</u>	<u>37</u>
<u>Obr. 11 BPV 300 [24].....</u>	<u>38</u>
<u>Obr. 12 FANUC Robocut α-C600iA</u>	<u>40</u>
<u>Obr. 14 Frézovaná deska na magnetickém upínači</u>	<u>41</u>

Obr. 15 Deska po frézování na stroji FP5CC Deckel	41
Obr. 16 Bruska Goeckel GB65PL	42
Obr. 17 Deska připravená pro tisk	43
Obr. 19 Protokol měření drsnosti	43
Obr. 21 Protokol rovinnosti a rovnoběžnosti	45
Obr. 22 Vypálené polotovary pro desky	46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Dosahované parametry u frézování	27
Tab. 2 Dosahované parametry u broušení	30
Tab. 3 Drsnosti.....	44

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Deska pro tisk od dodavatele strojů EOS

