

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie



Bakalářská práce

2016

Autor: Karla Bürgerová

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím uvedených pramenů.

V Praze dne 5. 8. 2016

.....

vlastnoruční podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Aleši Hermanovi, PhD. Především za ochotu a vstřícnost, odborné rady a pomoc při zpracování. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům z firmy Robert Bosch České Budějovice za poskytnutí materiálů pro mou aplikační část.

Analýza defektů 3D tištěného kovového produktu

Analysis of 3D metal printing parts defects

Anotace

Předmětem této bakalářské práce je analyzovat 3D defekty tištěného kovu a vyhodnotit kovové díly povrchy dílů i jejich vnitřní stavbu. Použité díly pochází z firmy Robert Bosch České Budějovice na stroji M1 cusing. Práce je rozdělena do několika částí. V teoretické části je popsána problematika 3D tisku kovových dílů a parametry tisku a jejich vliv na kvalitu výtisku. V další část – experimentální - je rozebírána analýza zadaného dílu tvarového jádra s temperačním kanálem a vzorky s kruhovými otvory.

Klíčová slova

3D tisk, sintrování, laserové spékání, drsnost, pórovitost

Abstract

The subject of this thesis is to analyze defects 3D printed metal and to evaluate the surfaces of the metal parts of their internal structure. Used parts comes from Robert Bosch Czech Budejovice on the machine M1 cusing. The work is divided into several parts. The theoretical part describes the problems of 3D printing metal parts and printing parameters and their influence on the quality of the printout. In the next part - experimental - is discussed analysis of a given part a figured core temperature control and channel samples with circular holes.

Keywords

3D printing, sintering, laser sintering, roughness, porosity

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Problematika 3D tisku kovových dílů.....	8
2.1	SLS : Selective Laser Sintering.....	8
2.2	Historie.....	9
2.2.1	Počátek.....	9
2.2.2	Časová linie.....	10
2.3	Materiál pro 3D tisk.....	11
2.4	Jak vybrat 3D tiskárnu.....	12
2.4.1	Velikost tiskové plochy.....	12
2.4.2	Rychlost a kvalita tisku.....	13
2.5	DMLS (Direct Metal Laser Sintering) - 3D tisk kovu.....	13
2.5.1	Materiály pro DMLS a jejich využití.....	13
2.5.2	Popis procesu Direct Metal Laser Sintering.....	14
2.6	Rozdíl mezi DMLS a SLS.....	14
2.7	Konformní chlazení.....	15
2.7.1	Výhody.....	15
2.8	Kovový 3D tisk v průmyslové praxi.....	16
3	Parametry tisku a jejich vliv na kvalitu výtisku.....	18
3.1	Technologická pravidla stavby.....	18
3.2	Výrobní stroj M1 cusing.....	21
4	Analýza zadaného dílu tvarového jádra s temperačním kanálem.....	24
4.1	Jádro.....	24
4.1.1	Měření objemu a hmotnosti.....	25
4.1.2	Kvalita povrchu.....	25
4.1.3	Metalografie.....	27
4.2	Vzorek +1.....	30
4.2.1	Kvalita povrchu.....	31
4.2.2	Metalografie.....	34
4.2.3	Válcovitost a kruhovitost.....	36
5	Závěr.....	46

1 Úvod

Cílem mé bakalářské práce je vyhodnotit kovové díly z 3D tiskárny M1 cusing od firmy ConceptLaser, které byly vyrobeny ve společnosti Robert Bosch České Budějovice. Jedná se o jádro a vzorky s označením -1, 0, +1. U jádra budu sledovat vnitřní stavbu (metalografii) a kvalitu povrchu, zejména drsnost a pórovitost. U vzorků -1, 0, +1 mě zajímá metalografie, kvalita povrchu, kruhovitost a válcovitost děr různých průměrů.

Práci jsem si rozdělila do tří kapitol:

- Problematika 3D tisku kovových dílů
- Parametry tisku a jejich vliv na kvalitu výtisku
- Analýza vytištěných vzorků

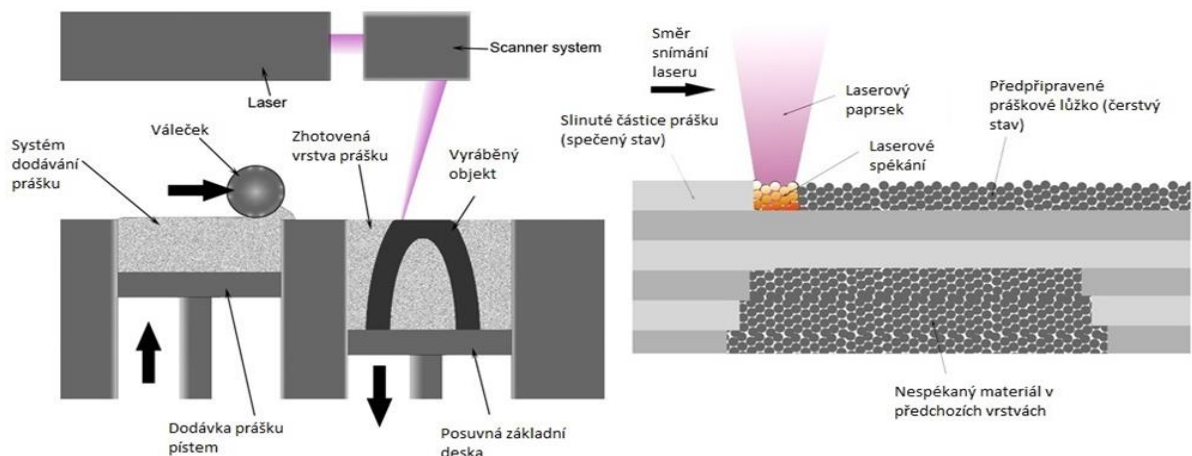
2 Problematika 3D tisku kovových dílů

Termínem 3D tisk jsou obecně označovány technologie, které umožní převedení třírozměrného datového souboru do reálného modelu. Na rozdíl od technologie 3D frézování, kdy je materiál při stavbě modelu ubírán, je v případě 3D tisku materiál přidáván. Princip 3D tisku spočívá v rozložení datového modelu do tenkých vrstev a v následném sestavení těchto vrstev do fyzického modelu v pracovním prostoru tiskárny. Jednotlivé technologie se liší stavebním materiálem použitým na výrobu modelu a také tloušťkou této vrstvy. Vlastnosti stavebního materiálu významně určují možnosti použití postaveného modelu a je nutné s tímto počítat při volbě technologie 3D tisku. Přesnost výroby modelů technologiemi 3D tisku se standardně pohybuje v rozsahu 0,1 až 0,2 mm. [1] Technologie má několik druhů metod. Pro tuto práci je vybrána Selective Laser Sintering (SLS)

2.1 SLS : Selective Laser Sintering

SLS je metodou energeticky poměrně náročnou. Směs materiálů ve formě prášku je natavována a dochází ke slinování a zapékání práškového materiálu laserovým paprskem. Tloušťka vrstvy je cca 0,1 mm a jedná se o levný stavební materiál. SLS je jednou z nejstarších, ale velmi efektivních metod výroby prototypů. Využívá vysoce výkonný laserový paprsek k tavení a spékání jemných zrněk tiskového materiálu do požadovaného tvaru. Tvorba objektů probíhá po vrstvách.

Obrázek 2.1 Schéma SLS [2]



Tato technologie nabízí řadu výhod. Pro tisk lze použít široké spektrum komerčních materiálů dodávaných v práškové formě - plasty, kov, či dokonce sklo. Vzhledem k tomu, že tištěný objekt je v době tvorby trvale obklopen neroztaveným materiálem, není nutná tvorba přídavného supportu ani při tisku složitých objektů. Mezi nevýhody této technologie lze bezesporu zařadit vysokou energetickou náročnost a cenu zařízení, které je zpravidla vybaveno karbon-dioxidovým zdrojem paprsku, a dále pak nemožnost tisku uzavřených dutin, ve kterých samozřejmě materiál zůstane po tisku uzavřen.[2]

2.2 Historie

2.2.1 Počátek

3D tisk je často spojován s pojmem třetí průmyslová revoluce. Považuje se za největší posun v technologiích od vzniku internetu. S nástupem prvních počítačů asi před třiceti lety se začalo experimentovat s vývojem strojů, které by dokázaly sestrojít model objektu z různých materiálů, pokud možno bez fyzického přičinění člověka. Nejznámějšími byly „tiskové plotry“, které však namísto pera kreslicího obraz na papír měly připevněn nůž na vyřezávání lepenkových plátů. Jednotlivé vrstvy se následně skládaly na sebe, čímž vznikl trojrozměrný model. Makety tohoto druhu bylo možno využít zejména při analýze terénu v topografických studiích.

Práh vývoje 3D světa překročil Charles Hull, později zakladatel 3D Systems, který stojí za zrodem podoby dnešního trojrozměrného tisku. V roce 1984 objevil vlastnosti fotopolymerů využívaných v inkoustech běžných tiskáren. Během pokusů s nimi přišel na to, že po vystavení UV záření tekutý polymer ztuhne a vytvoří se tím tenká vrstva pevné hmoty. Soustředěním silného UV záření do každé vrstvy získával požadovanou podobu 3D objektu. Tuto technologii si nechal v roce 1986 patentovat a nazval ji „Stereolitografie“. Ve spolupráci s 3D Systems vytvořili funkční prototyp první skutečné 3D tiskárny nazvané SLA-1 (StereoLitographic apparatus number 1). Nepřesnost a nedokonalost použitých materiálů způsobovaly ještě mnoho chyb a výsledky, které tento přístroj nabízel, se nevyrovnaly kvalitě současného 3D tisku. Ale i navzdory

nedostatkům tento stroj dokázal během jedné noci vytvořit vysoce komplexní objekty. Tak jako ve světě zobrazovacích technologií i pro průmyslové designéry se možnost zhmotnění jejich představ a nápadů stala obrovským milníkem.[3]

2.2.2 Časová linie

1984 - Charles Hull zkoumá fotopolymery inkoustových tiskáren, objevuje jejich specifické fyzikální vlastnosti zajišťující tuhnutí materiálu při působení UV záření a vyvíjí technologii pro tisk fyzických 3D objektů z digitálních dat.

1986 - Charles Hull získává patent a pojmenovává svou technologii Stereolitografie. Zakládá společnost 3D Systems a vyvíjí první skutečnou 3D tiskárnu SLA 1 (Stereolithographic apparatus).

1988 - 3D Systems přinášejí veřejnosti první verzi 3D tiskárny s názvem SLA 250. Současně jsou představeny další technologie podobné stereolitografii, Fused Deposition Modeling (FDM) od Scotta Crumpa, zakladatele společnosti Stratasys a Selective Laser Sintering (SLS) – spékání práškového materiálu pomocí laserového paprsku do přesného 3D objektu.

1992 - Použití 3D tisku při výrobě a testování prototypů součástek v automobilovém a leteckém průmyslu.

1999 - Vytvoření části orgánu potažené pacientovými vlastními buňkami způsobuje převrat v medicínském průmyslu a otevírá nové možnosti při transplantaci orgánů.

2002 - Vytištění první miniaturní funkční ledviny, která byla úspěšně použita při transplantaci pro nemocné zvíře.

2005 - Začátek revoluce 3D tisku. Dr. Adrian Bowyer na Univerzitě v Bath zakládá RepRap, open – source iniciativu vyrobit 3D tiskárnu, která by dokázala replikovat většinu svých součástek, a tím by umožnila snížit náklady na výrobu a zvýšit dostupnost i pro domácí uživatele.

2008 - Vychází první verze z projektu RepRap, samoreplikační tiskárna Darwin, schopná vytisknout většinu vlastních komponent. 3D tisk proniká do protetiky. „Vytištění“ komplexní protézy nohy skládající se z několika částí, která nepotřebuje následnou

montáž. Objet geometrie Ltd. představuje svůj revoluční Connex500™ rapid prototyping systém – první systém umožňující výrobu 3D dílů pomocí různých druhů materiálů současně.

2009 - Pomocí 3D biotiskárny se společností Organovo daří vytisknout organické cévy použitelné při transplantaci pro lidského pacienta.

MakerBot, OpenSource společnost, začíná vyrábět DIY balíky, ze kterých si domácí uživatelé mohou sami poskládat 3D tiskárnu za dostupnou cenu.

2010 - Společnost Stratasys spouští novou službu RedEye on Demand sloužící na tisk nadrozměrných 3D objektů a prezentuje první prototyp automobilu – Urbee v životní velikosti, jehož celá karoserie a všechny externí komponenty jsou vytištěny pomocí služby RedEye on Demand.

2011 - Vědci na Cornell University oznamují začátek vývoje 3D tiskárny na výrobu jídla. Shapeways ve spolupráci s Continuum Fashion prezentují první vytištěné bikiny. Univerzita Brunel ve spolupráci s Univerzitou Exeter vyrábějí první 3D tiskárnu na čokoládu.

Inženýři z Univerzity v Southamptonu sestrojili pomocí 3D tisku první bezpilotní letadlo. Výroba trvá 7 dní a díky této technologii tisku je možné snížit běžné náklady na výrobu tohoto typu letadla.

Společnost i.materialise nabízí jako první 3D tisk ze 14 karátového zlata a stříbra. Šperkařskému průmyslu tak otevírá bránu levnějšího a přesnějšího vývoje a výroby klenotů. Vídeňská Technická Univerzita prezentuje nejmenší 3D tiskárnu. Váží 1,5 kg a její cena se pohybuje kolem 1200 EUR.

2012 - Lékaři v Nizozemsku si od společnosti LayerWise nechávají vytvořit novou spodní čelist pro 83 letou pacientku, kterou jí následně úspěšně implantují. [4]

2.3 Materiál pro 3D tisk

Výrobci po celém světě se neustále snaží vyrobit materiál pro 3D tisk, který bude mít ideální vlastnosti, případně bude napodobňovat jiné, atraktivnější materiály (dřevo, kámen).

V oblasti ocelí se jedná například o korozivzdornou ocel, nástrojovou ocel pro práci za tepla či nově precipitačně vytvrditelnou korozivzdornou martenzitickou ocel. Z lehkých slitin lze úspěšně spékat hliníkové slitiny, titanové slitiny třídy 5 či komerčně čistý titan. Negativní vlastností těchto lehkých slitin je jejich nestálost na vzduchu, proto je třeba s nimi manipulovat v ochranných plynových atmosférách, např. dusíku. Ze speciálních slitin pak uveďme niklové superslitiny nebo kobalt-chromové slitiny. Negativní vlastností zmíněných materiálů je jejich nestálost na vzduchu, proto je třeba s nimi manipulovat v ochranných plynových atmosférách, např. dusíku. Pro V oblasti šperkařství a nejen pro ni lze vyrábět z 18-ti karátového zlata, slitiny stříbra či bronzu. Pro optimální rozložení prášku v prostoru se používá jejich běžná zrnitost sférického tvaru v rozmezí 10 až 40 mikrometrů. [5]

2.4 Jak vybrat 3D tiskárnu

2.4.1 Velikost tiskové plochy

Všechny tiskárny mají limit na velikost 3D tisku, který mohou produkovat. Tento limit je definován velikostí tiskové plochy, a jak daleko může tiskárna pohybovat tiskovou hlavou. Obvykle je tato hodnota měřena v krychlových palcích. Je třeba také věnovat pozornost informaci, jakou maximální velikost 3D tisku může zařízení vytvořit.[6]

U opravdu velkých tisků pak narůstá doba tisku na řadu dnů a několik cívek materiálu. Pokud je potřeba tisknout velké objekty, nejlepším řešením je mít několik 3D tiskáren s tiskovou plochou do 30x30 cm, objekt rozdělit na části a tisknout současně víc částí najednou. Efektivně se tak sníží celková doba tisku. Při čtyřech tiskárnách bude celkový tisk trvat 1/4 času a dojde i k úspoře financí, protože čtyři 3D tiskárny s plochou 20x20 cm stojí řádově méně než jedna s 40x40 cm. Je to také daleko robustnější řešení. [7]

2.4.2 Rychlost a kvalita tisku

3D tisk je velmi pomalý proces, a v současné době neexistuje žádný způsob, jak to obejít. Mělo by se očekávat, že tisk modelu kolem 10 cm trvá od 6 do 12 hodin v závislosti na kvalitě tisku, který se zvolí. Je to proto, že 3D tisk je technologie tištěných vrstev. Čím silnější tyto vrstvy jsou, tím rychleji bude tisk hotov, ale tím nižší kvalita tisku bude, a jednotlivé vrstvy budou i více viditelné. Takže ideální je kompromis mezi rychlostí tisku a kvalitou tisku. Nejlepší tiskárny nabízejí širokou škálu možností nastavení kvality i rychlosti.[6]

2.5 DMLS (Direct Metal Laser Sintering) - 3D tisk kovu

Technologie DMLS přináší nový způsob myšlení při vývoji výrobku a jeho výrobě, je to přechod od klasických výrobních technologií k novým flexibilním metodám.

Díly vyrobené technologií DMLS jsou svými vlastnostmi totožné jako díly vyrobené z klasických kovových materiálů na klasických výrobních strojích, tyto díly se dají dále brousit, leštit, svařovat, tepelně zušlechťovat atd.[8]

2.5.1 Materiály pro DMLS a jejich využití

MS1 - Martenzitická ocel (1.2709) - sériové plastikářské formy, sériové funkční díly, funkční prototypy

SS - Nerezová ocel (1.4542) - sériové funkční díly, funkční prototypy

DM20 - Bronz (směs) - prototypové plastikářské formy, funkční prototypy

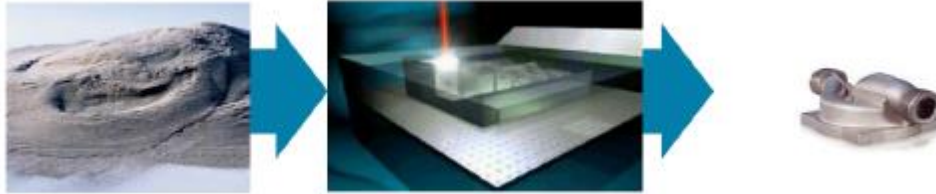
IN718 - Inconel - funkční díly pro letecký průmysl, žáruvzdorné aplikace ve strojírenství
[8]

Některé další příklady materiálů jsou korozivzdorná ocel (1.4404), hliníková slitina, titanová slitina, niklová superslitina, kobalt-chromová slitina, zlato, stříbro, bronz a jiné.

2.5.2 Popis procesu Direct Metal Laser Sintering

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) je generativní technologie, jež vytváří výrobek po jednotlivých vrstvách. Libovolné geometrické tvary mohou být stavěny efektivně a rychle bez použití nástrojů či klasického obrábění. Nezbytným předpokladem jsou 3D CAD data dílu.

Obrázek 2.2 Popis procesu DMLS [8]



V průběhu výroby je 3D CAD model rozdělen na vrstvy, pak technologie DMLS staví požadovanou geometrii vrstvu po vrstvě. Energie laseru taví kovový materiál v podobě jemného prášku pouze v oblasti geometrie dílu. Proces DMLS umožňuje výrobu několika tvarově odlišných výrobků zároveň.[8]

2.6 Rozdíl mezi DMLS a SLS

SLS a DMLS jsou skoro ty samé věci - SLS je možno použít na různé materiály jako je plast, sklo, keramika, zatímco DMLS se doporučuje aplikovat na slitiny kovu. Ale co odlišuje spékání na rozdíl od tavení nebo "Cusing", je to, že slinování ne zcela rozpustí prášek, ale zahřeje je do té míry, že prášek spojí na molekulární úrovni.

Na druhé straně selektivní laserové tavení může dělat to samé jako slinování - a dokonce ještě víc - s použitím laseru se dosáhne úplného roztavení. To znamená, že prášek není jen spojen, ale ve skutečnosti je roztaven do homogenní části. Metoda roztavení se používá pro monomateriál, protože tam je jen jeden bod tání. V podstatě pokud se pracuje se slitinou nějakého druhu, použije se SLS nebo DMLS; pokud se pracuje například s čistým titánem, zvolí se SLM.[9]

2.7 Konformní chlazení

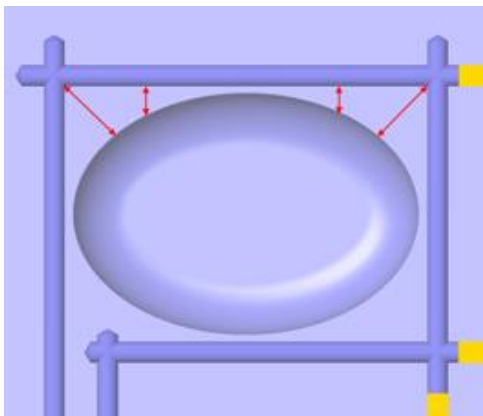
Konformní chlazení je chladicí okruh navržený tak, že v nejkratší možné vzdálenosti od stěny vylisku kopíruje jeho povrchový tvar.

Obrázek 2.3
Konformní chlazení
[10]

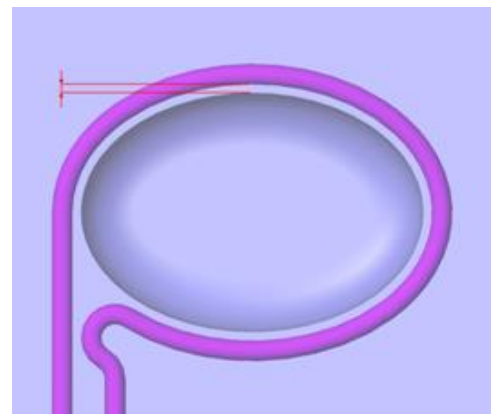


Výrobní technologií DMLS - Direct Metal Laser Sintering lze aplikovat do nových forem nebo při opravě formy účinnější systém chladících kanálů. [10]

Obrázek 2.4 Klasický vrtaný chladicí okruh [10]



Obrázek 2.5 Inovativní chladicí okruh - Konformní chlazení [10]



2.7.1 Výhody

Hlavními výhodami jsou snížení chladicího cyklu až o 50 % a snížení deformací vylisku. Dále pak homogenní odvod tepla z dutiny formy, optimalizace chladicího okruhu dle vylisku (ne dle výrobních možností) a absolutní volnost při návrhu tvaru a průběhu chladicího okruhu. [10]

Obrázek 2.6 Příklady forem konformního chlazení [10]



2.8 Kovový 3D tisk v průmyslové praxi

Myšlenka začít vyrábět stroje na laserové spékání kovů sahá do doby, kdy německý nadnárodní koncern Hofmann Innovation Group měl potřebu pořídit si pro svoji divizi výroby forem stroje na nekonvenční výrobní bázi, a dal se proto cestou vlastního vývoje. Poté si je plně ověřil ve svém vlastním provozu a rozhodl se je komerčně nabízet. V bavorském Lichtenfelsu proto založil dceřinou společnost Concept Laser. Ta v současné době nabízí celkem čtyři stroje: Mlab cusing, M1 cusing, M2 cusing a X line 1000R, jenž nacházejí uplatnění v automobilovém či leteckém průmyslu, ve zmíněné výrobě forem, ve zdravotnictví v kostních náhradách či zubních protetice a v neposlední řadě při výrobě šperků. Oblast použití tím není uzavřena, bezesporu každým dnem se po celém světě objevují nové možnosti.

Dociluje se zde úspory nákladů a výrobního času ze dvou/třech tří týdnů na dva/ tři dny. V letectví se technologie laserového spékání kovů používá k výrobě komplikovaných dílů například z hliníkových či titanových slitin.

Softwarově optimalizované díly si při snížení své hmotnosti zachovávají pevnostní parametry. Konstruktoři se snaží topologicky optimalizovat tvary v analogii s přírodou. Pro generování lehkých mřížkových struktur se používá např. software Within.

V České republice se poměrně ve velkém vyrábějí vstřikovací formy a právě zde se může hledat vhodné využití technologie laserového spékání. Je možné vyrábět tzv. hybridní konstrukce – větší masívní bloky se klasicky odlíjí, následně obrobí a konstrukčně komplikované části s chladicími kanálky konformního chlazení se na ně pak

postaví laserovým spékáním. Kanálky umožňují chladnutí odlitku rovnoměrněji a rychleji až o 50%. [5]

Obrázek 2.7 Šperk [11]



Obrázek 2.8 Titanový kyčelní kloub [12]



Obrázek 2.9 Lichoběžníkové zavěšení pro závodní vozidla [13]



3 Parametry tisku a jejich vliv na kvalitu výtisku

3.1 Technologická pravidla stavby

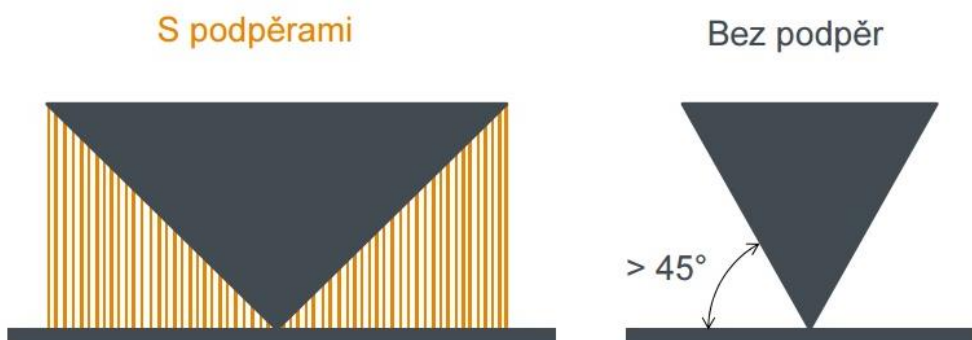
Každý díl musí někde začít. Základním principem je tzv. princip obrácené pyramidy. Jde o to, že díl bude začínat co nejmenší plochou, aby nedošlo k vysokému pnutí.

Obrázek 3.1 Princip obrácené pyramidy [14]



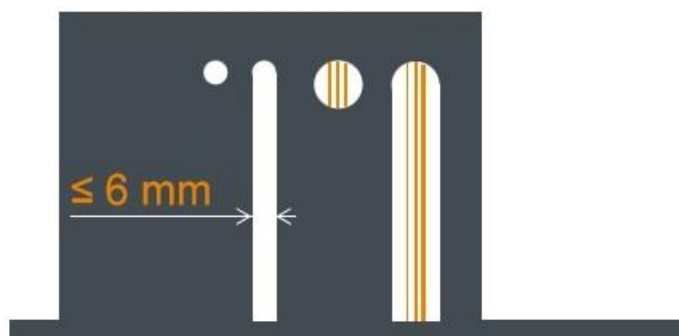
Pokud je mezi deskou a dílem úhel menší než 45° , je díl opatřen podpěrami, jak je znázorněno na následujícím obrázku.

Obrázek 3.2 Díl s podpěrami a bez podpěr [14]



Klenby do průměru šesti milimetrů jsou bez podpěr.

Obrázek 3.3 Stavba klenby [14]



Pokud možno, tak díry nestavět vodorovně, aby nedocházelo k pnutí uvnitř dílu.

Obrázek 3.4 Stavba děr [14]



Je nutno vyhnout se začínání velké plochy v jedné vrstvě (max 10x10 mm). Lepší variantou je použití klenby nebo úkosů, co nejméně podpěr a zaručení možnosti jejich odstranění.

Obrázek 3.5 Stavba podpěr pro velké plochy [14]

Velmi tenké rozlehlé vrstvy se pnutím prohnou nebo roztrhnou i podepřené



U složitějších tvarů se průběžně podepírá těžiště hmotného bodu dílu.

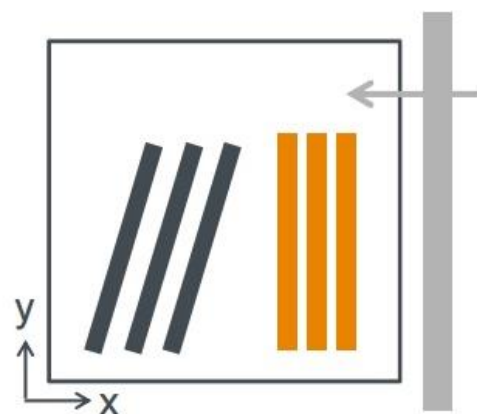
Obrázek 3.6 Složitější tvary [14]



Důležitá je snaha nerozkmitat nanašeč. Vzniknou pak šikmé náběžné hrany dílů. Dalšími zásadami jsou minimalizovat výšku a maximalizovat využití posuvné desky.

Obrázek 3.7 Rozkmitání nanašeče [14]

Rozkmitání nanašeče při
přejezdu nad díly
= nedokonalé roznesení
prášku v jejich okolí



3.2 Výrobní stroj M1 cusing

Obrázek 3.8 Laserové zařízení M1 cusing (pohled ze strany; příklad uspořádání) [15]



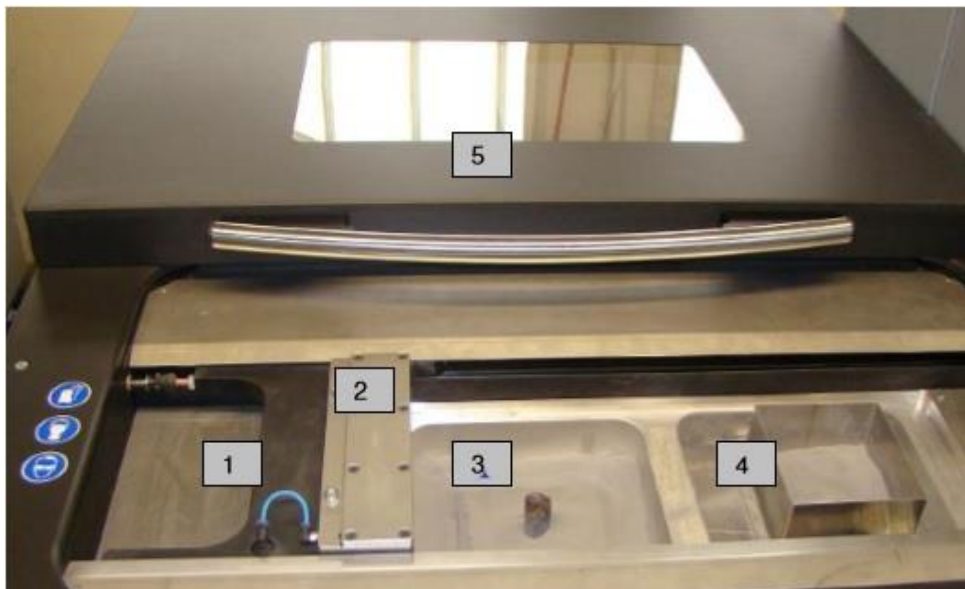
1 – stroj M1 cusing, 2 – odsávací a filtrační zařízení, 3 – skříňový rozvaděč laseru

Obrázek 3.9 Laserový stroj M1 cusing - Pohled zředu [15]



1 - Manipulační stanice, 2 - Procesní stanice, 3 - Ovládací panel, 4 – Obrazovka, 5 - Tlačítko NOUZOVÉHO VYPNUTÍ, 6 – Tlačítka, 7 – Průzor, 8 - Víko manipulační stanice, 9 - Přední dveře stroje

Obrázek 3.10 Výrobní modul stroje M1 cusing [15]



1 - Levý přepad prášku, 2 - Nanášecí zařízení s Crossjet tryskou, 3 - Výrobní komora, 4 - Dávkovací komora se sítí, 5 - Víko manipulační stanice

Ve výrobním modulu je pomocí výškového přísuvu dávkovací platformy (osa V) nanášecího zařízení (2) dodáván do nanášecího zařízení (2) z dávkovací komory (4) při každém nanášecím cyklu výrobní materiál ve formě jemného kovového prášku. Při každém pojezdu nanášecího zařízení doleva (osa W) je dopravován výrobní materiál (prášek) a nanášen na konstrukční díl. Přebytečný prášek je při pojezdu střen do levého přepadu prášku (1). Výrobní materiál je na výrobní desku popř. hybridní díl nanášen ve vrstvách definované tloušťky a v souladu s údaji vrstev konstrukčního dílu přetavován laserovým paprskem. Tloušťky vrstev se mohou pohybovat mezi 20 a 100 μm .

Obrázek 3.11 Výrobní modul (vnitřní pohled) [15]



Obrázek 3.12 Zvedací pohony výrobní a dávkovací komory [15]



1 - Výpust prášku

Výrobní modul pojíždí pomocí elektromotoru s převodovkou a vřetenem. Dávkovací platforma je zvedána a spouštěna zdvihátkem dávkovací komory pomocí elektromotoru s převodovkou a vřetenem. Výrobní komora s výrobní platformou je zvedána a spouštěna zdvihátkem výrobní komory pomocí elektromotoru s převodovkou a vřetenem. Výrobní modul s výrobním prostorem je vzájemně zajištěn pneumaticky pomocí čepů. Pokud by prášek propadl mezi těsněním zdvihátka výrobní desky a výrobní šachtou (popř. mezi těsněním zdvihátka dávkovací komory a šachtou dávkovací komory) dolů, může být odebrán výpustmi prášku (1). [15]

4 Analýza vytištěných vzorků

4.1 Jádru

Zvolený materiál je martenzitická ocel. Jádru má uvnitř konformní chlazení, které je popsáno v teoretické části. Z měření byly zjištěny objem $V = 12 \text{ ml}$ a hmotnost $m = 222,95 \text{ g}$, ze kterých se vypočítala hustota $\rho = 18\,583,3 \text{ kg/m}^3$.

Obrázek 4.1 Jádru



Obrázek 4.2 Jádru

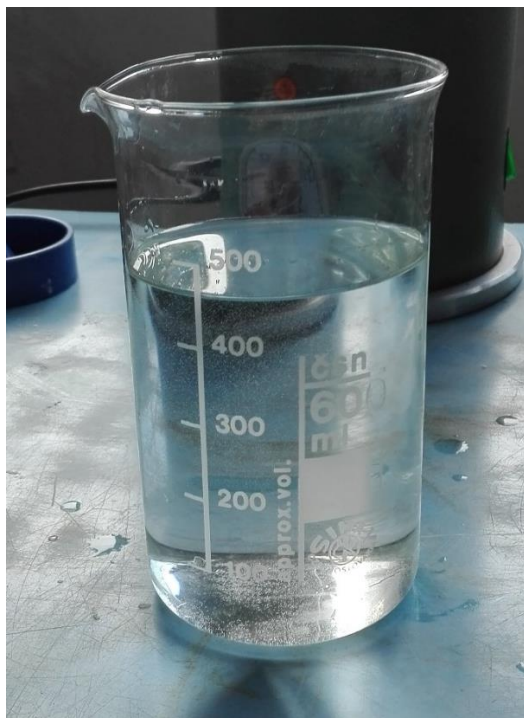


4.1.1 Měření objemu a hmotnosti

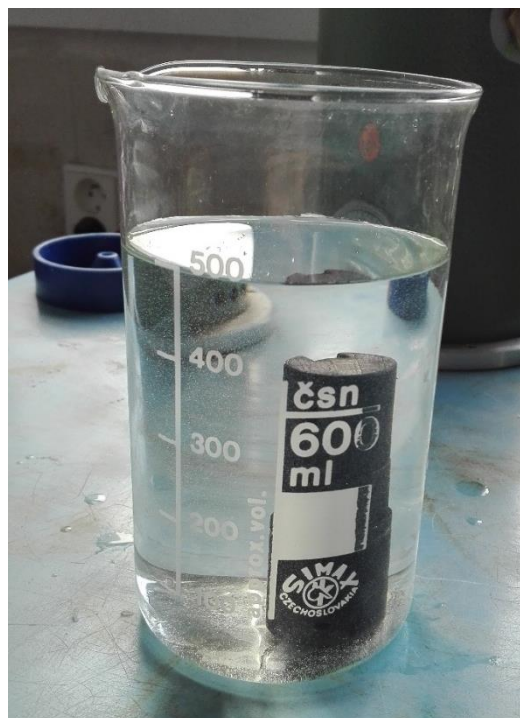
Obrázek 4.3 Měření hmotnosti válečku



Obrázek 4.4 Před vyjmutím z lázně celkový objem 500 ml



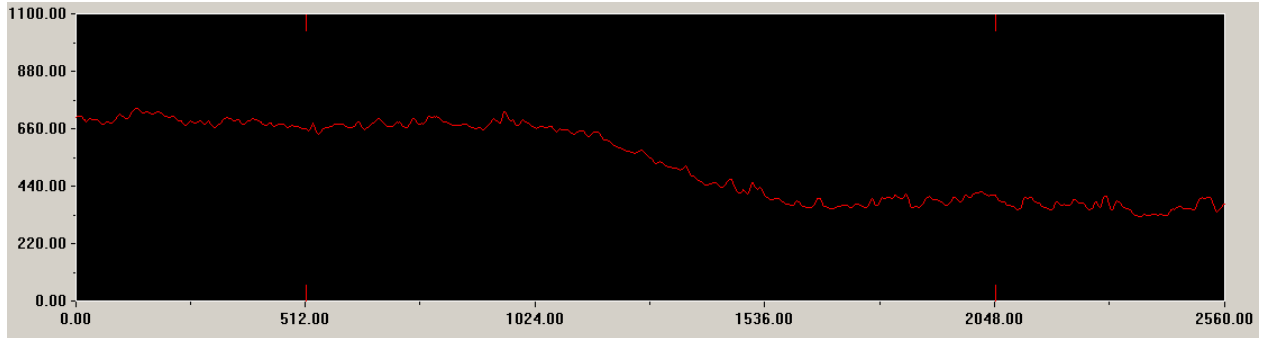
Obrázek 4.5 Po vyjmutí z lázně celkový objem 488 ml



4.1.2 Kvalita povrchu

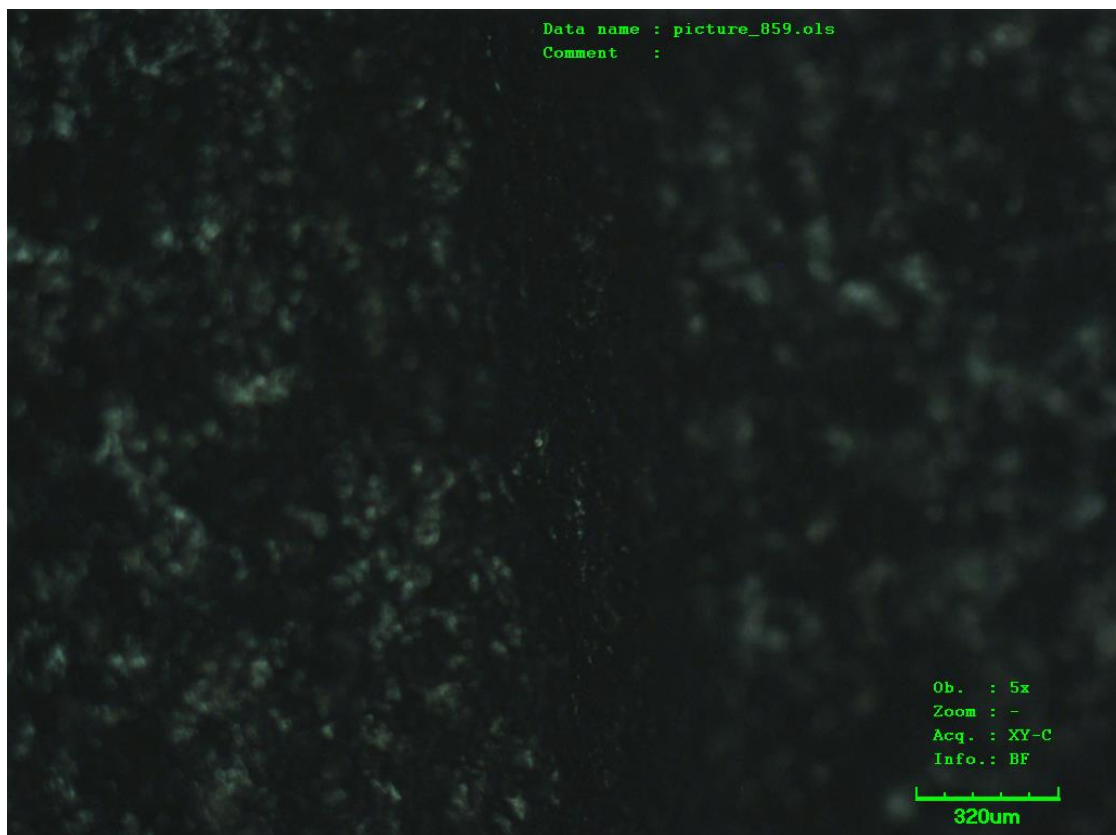
V této kapitole byla prošetřována drsnost a pórovitost povrchu jádra pomocí konfokálního mikroskopu Olympus Lext.

Obrázek 4.6 Grafické schéma drsnosti konkrétní části povrchu

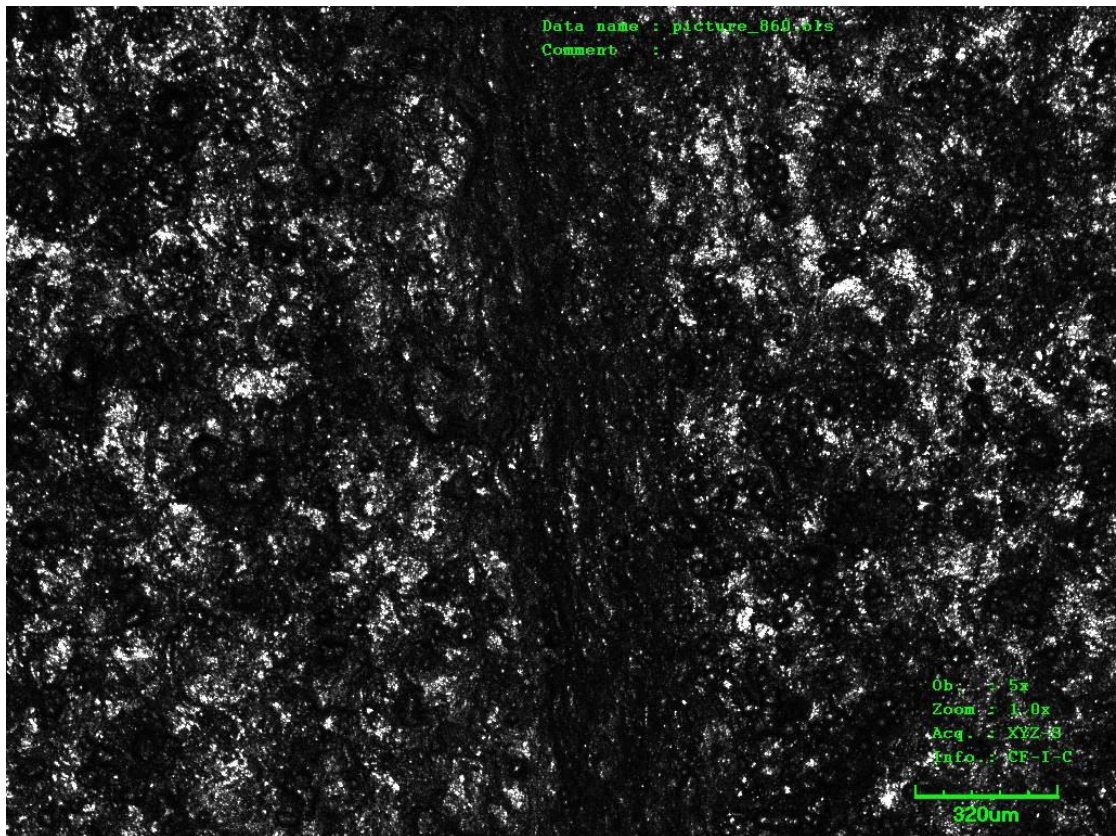


Pomocí grafu bylo možné odhadnout drsnost povrchu cca Ra 50.

Obrázek 4.7 Zvětšení povrchu jádra konfokálním mikroskopem



Obrázek 4.8 Černobílé zvětšení



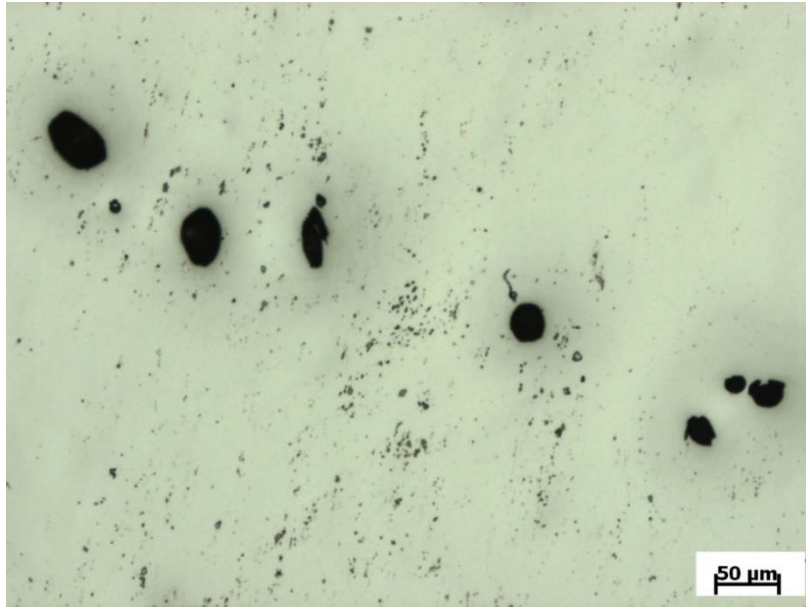
Ze snímků je zřejmé, že je vysoký výskyt pórů a vzhledem k použité technologii je drsnost přijatelná. Následným obráběním a upravováním se povrch zhladí.

4.1.3 Metalografie

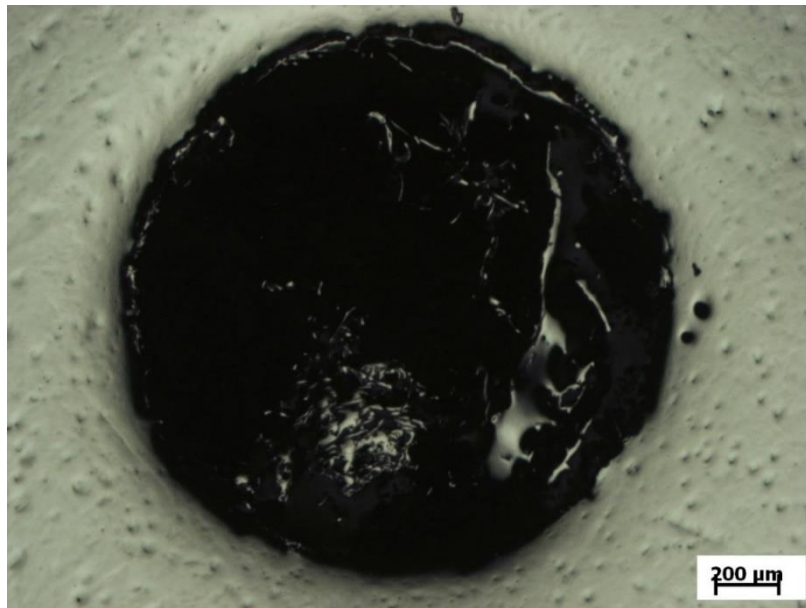
Tato metoda ukazuje vnitřní stavbu kovů a slitin, která byla aplikována na tuto součástku. Umožňuje zviditelnění struktury materiálu.

Na snímku Řez č. 2 je dobře vidět konformní chlazení, které snižuje deformaci a chladicí cyklus.

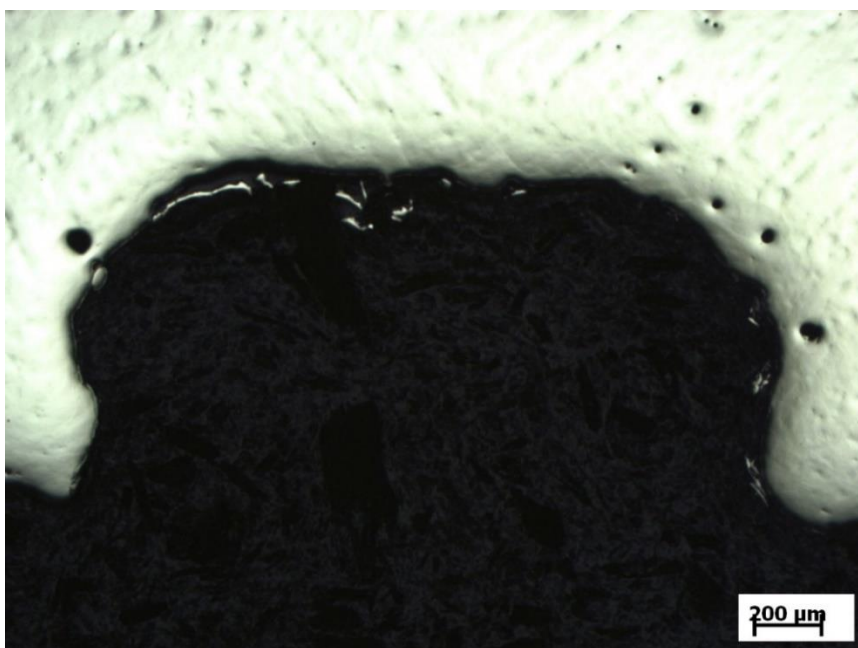
Obrázek 4.9 Pórovitost pomocí metalografického mikroskopu



Obrázek 4.10 Řez č. 2, konformní chlazení



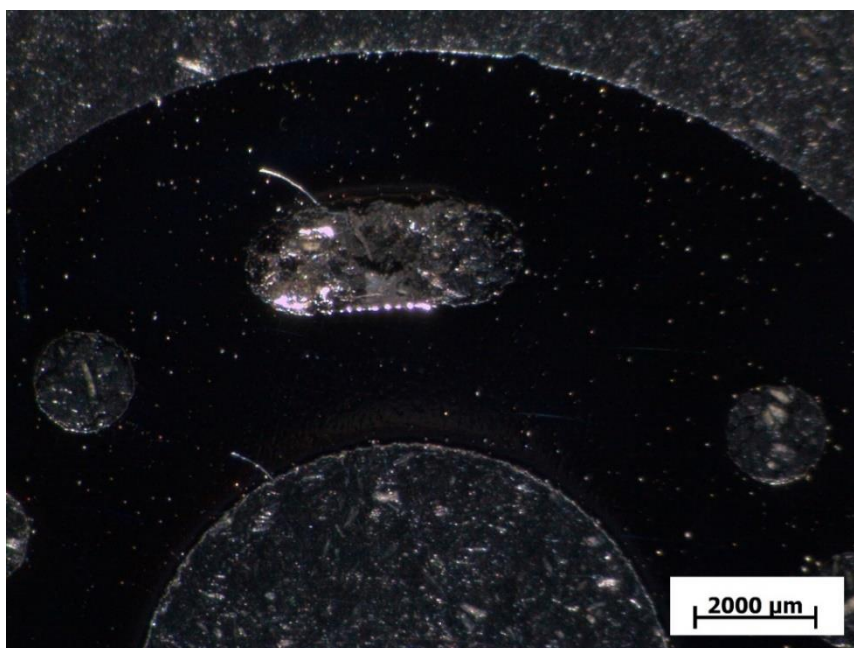
Obrázek 4.11 Řez č. 5



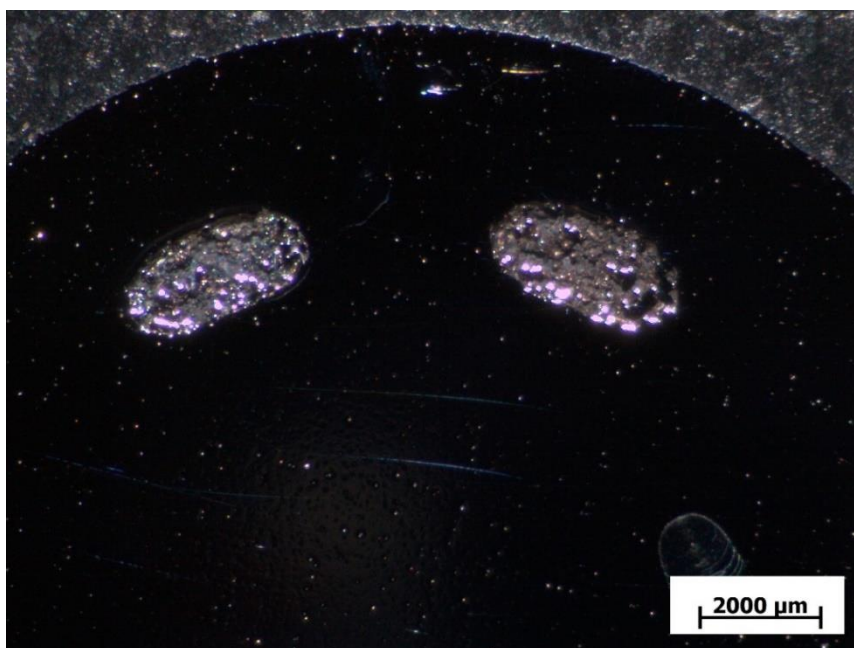
4.1.3.1 Pórovitost rozřezaného jádra využitím makroskopické zkoušky

Nejvyšší pórovitost byla změřena v místě řezu 4, která je 5,45%. Nejmenší se vyskytovala v místě řezu 1, která je 1,17 %.

Obrázek 4.12 Řez č. 4, snímek 1



Obrázek 4.13 Řez č. 1, snímek 3

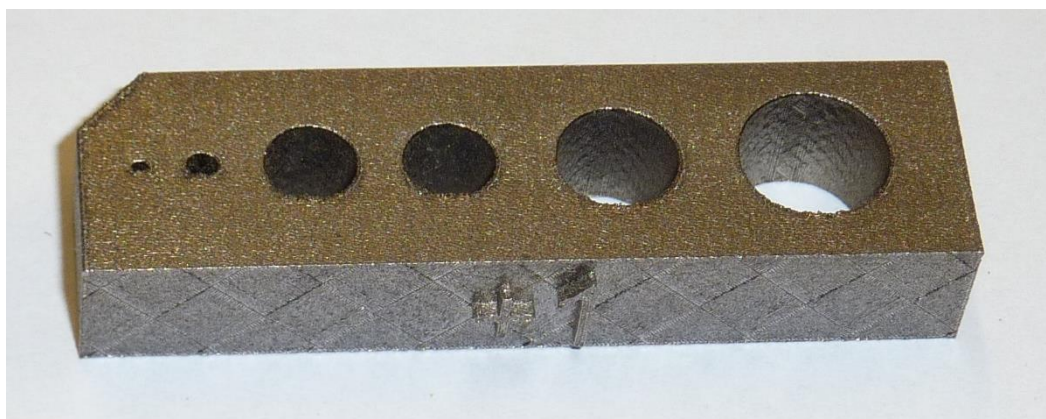


Díky experimentu lze vidět, že ve vnitřní struktuře nejsou žádné praskliny ani závažnější vady, které by ohrozily funkčnost dílu. Je zde opět vidět pórovitost, která je běžná při spékání prášku.

4.2 Vzorek +1

Stejně jako předchozí díl je i tento vyroben z martenzitické oceli a má šest děr kruhového tvaru. Součást je 51,15 mm dlouhá, 13,8 mm široká a 10 mm vysoká.

Obrázek 4.14 Vzorek +1

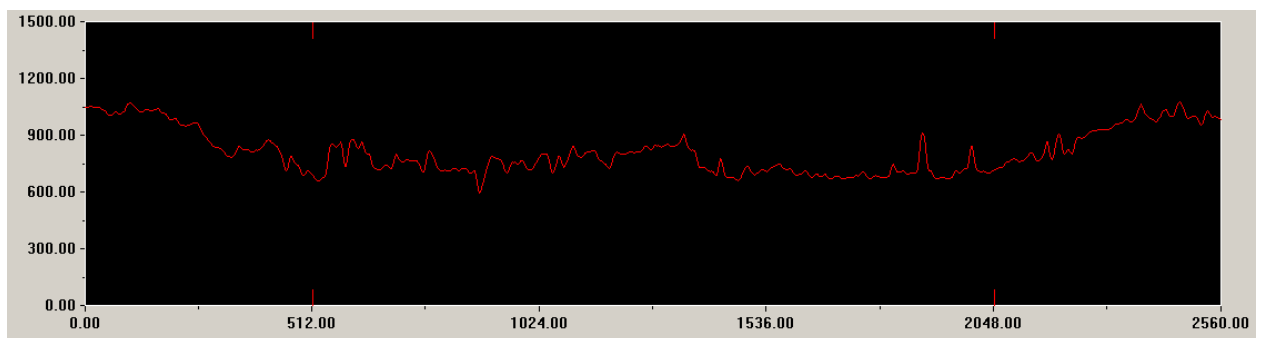


4.2.1 Kvalita povrchu

Cílem bylo prozkoumat drsnost povrchu a poslední dva nejmenší kruhové otvory za použití konfokálního mikroskopu Olympus Lext.

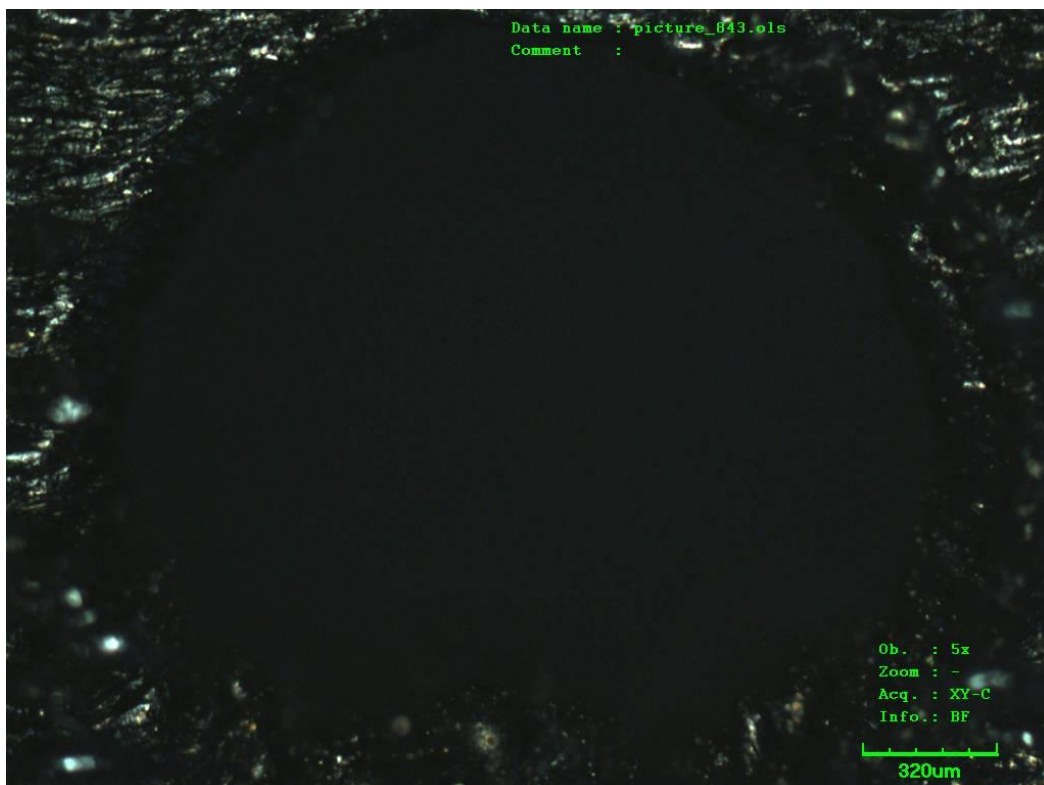
První oblast

Obrázek 4.15 Grafické schéma drsnosti

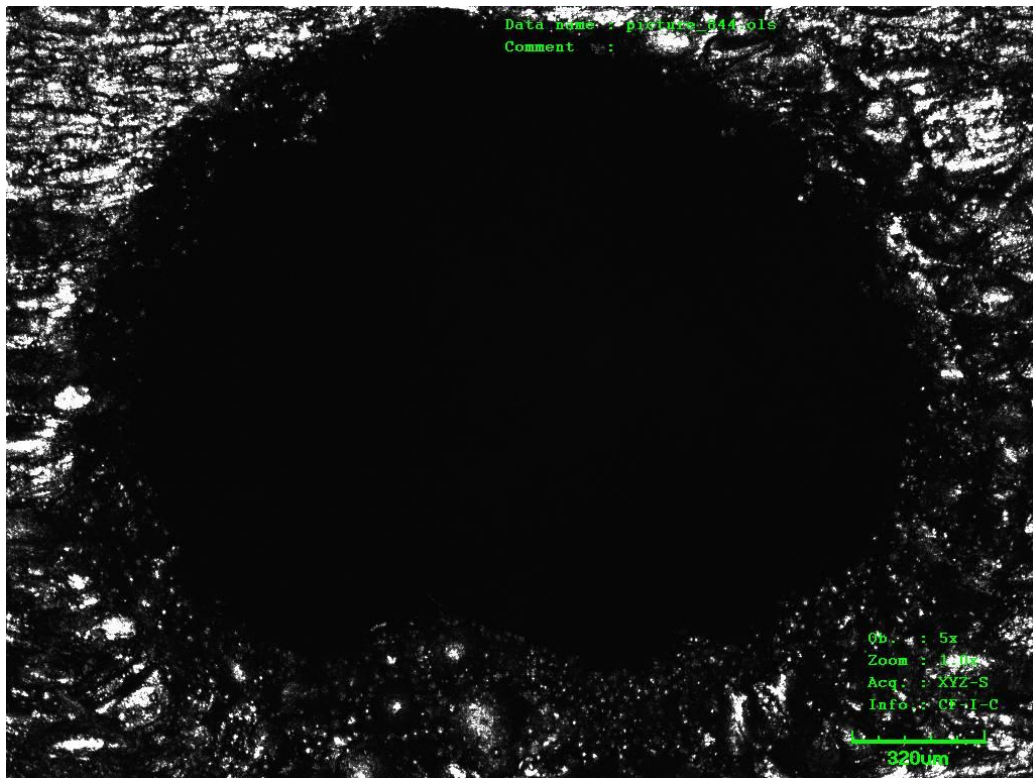


Graf ukazuje drsnost cca Ra 90.

Obrázek 4.16 Zvětšení předposlední nejmenší díry

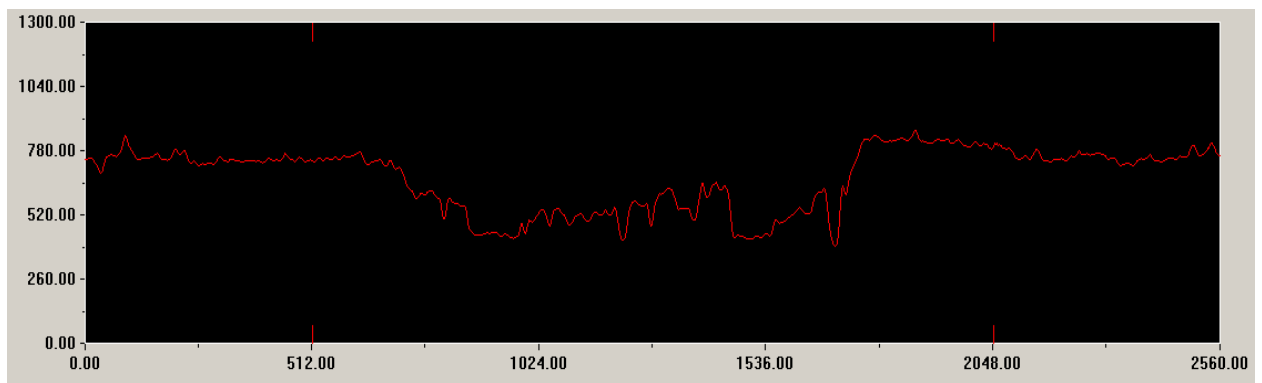


Obrázek 4.17 Černobílé zvětšení



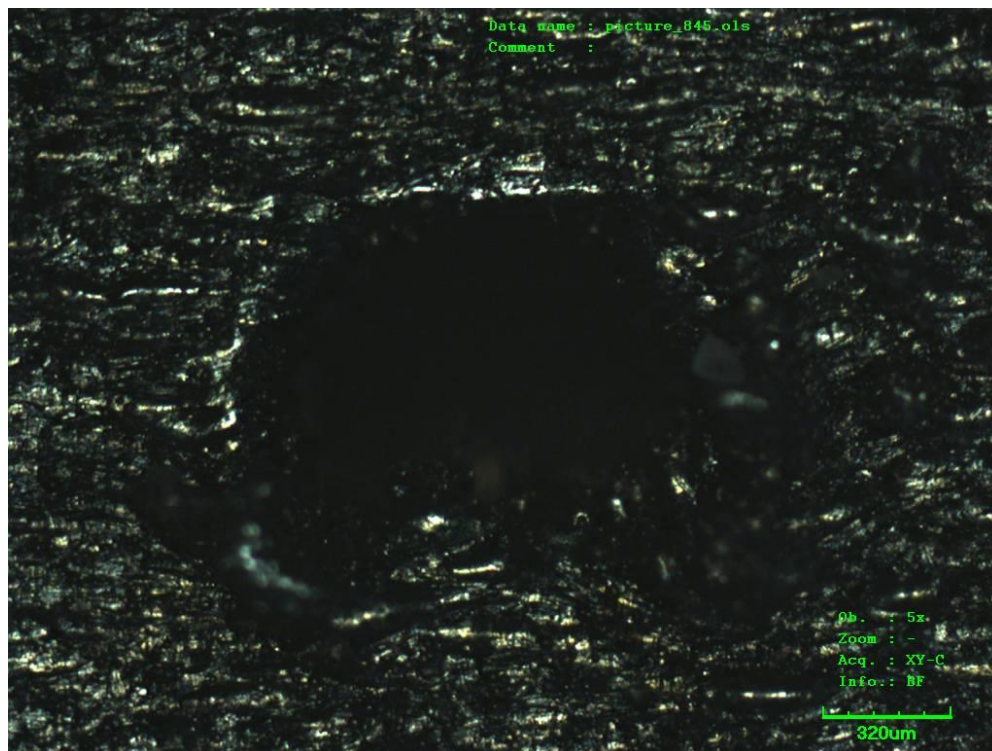
Druhá oblast

Obrázek 4.18 Graf drsnosti

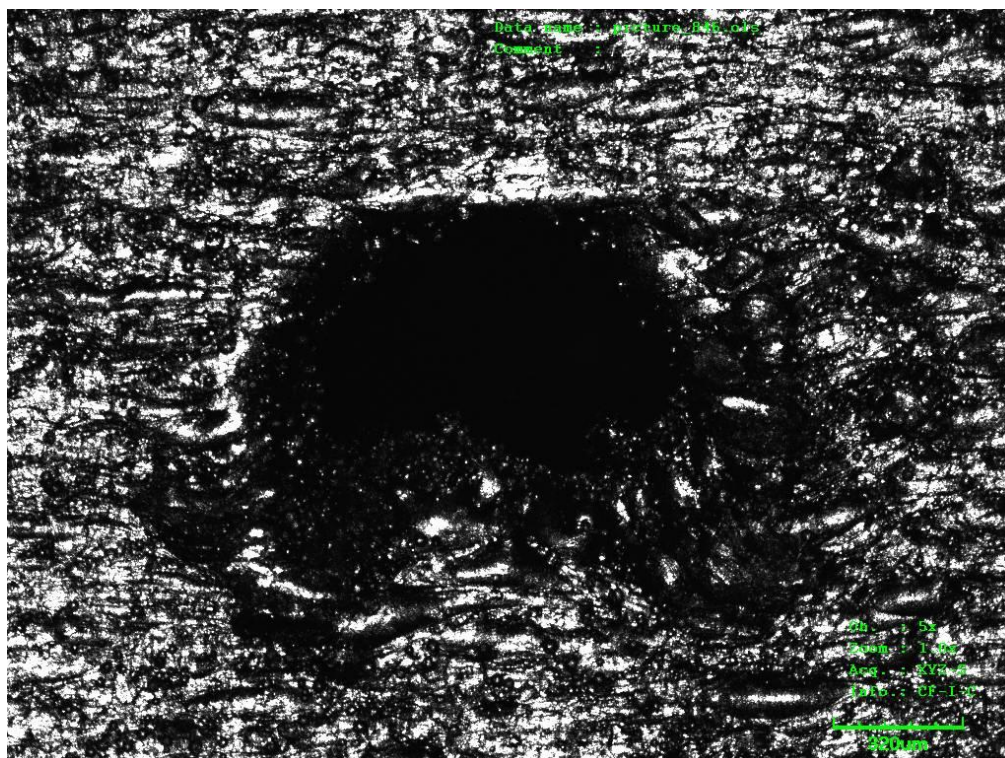


Odhadnutá drsnost je cca Ra 70.

Obrázek 4.19 Zvětšení nejmenší díry



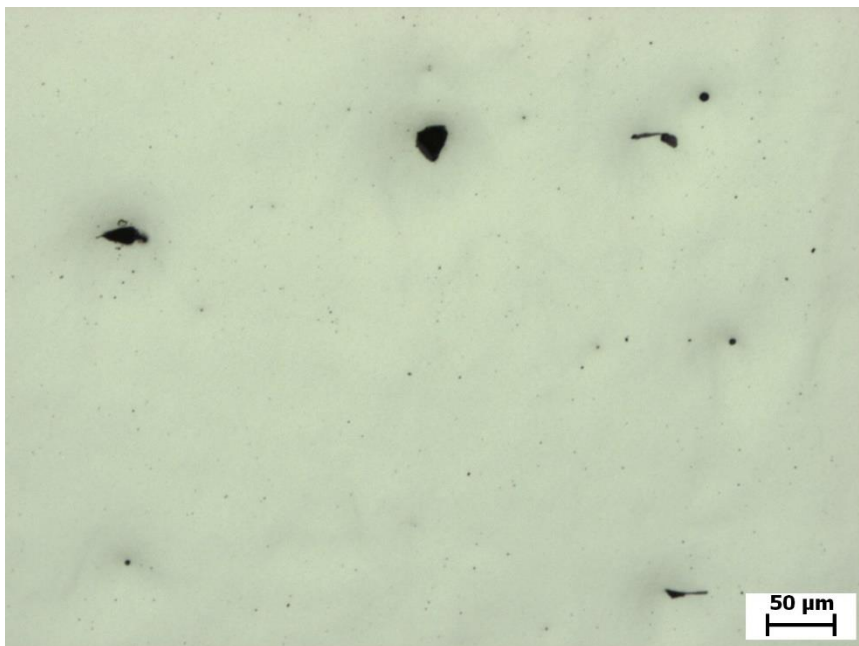
Obrázek 4.20 Černobílé zvětšení



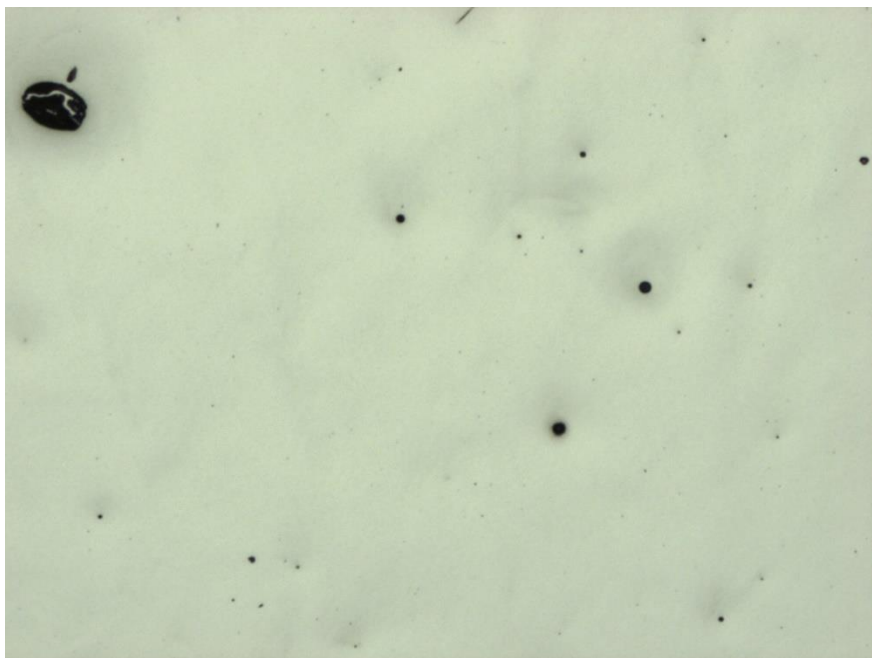
Snímky ukazují, že drsnost je vyšší než u jádra. Dalším upravováním lze docílit menší drsnosti povrchu.

4.2.2 Metalografie

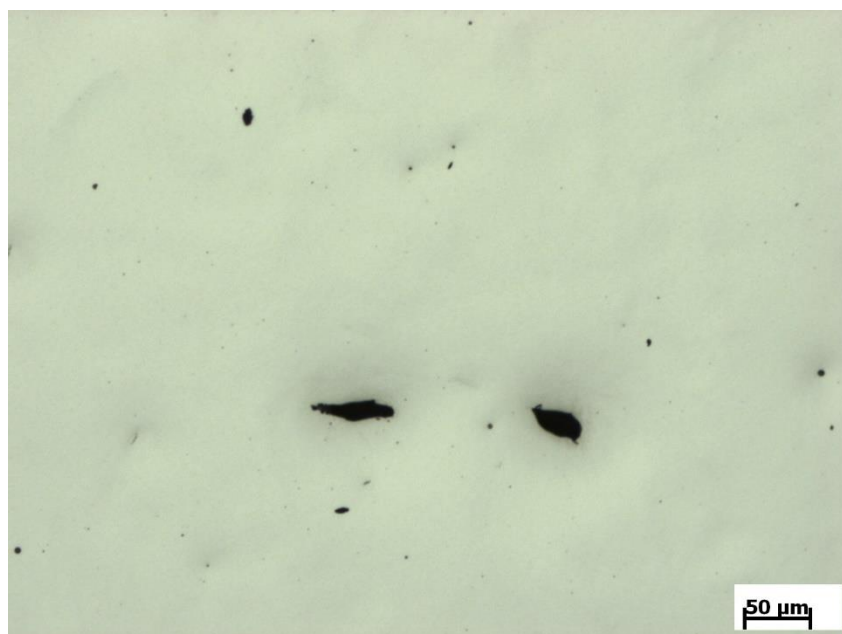
Obrázek 4.22 Vzorek +1 v místě 1



Obrázek 4.21 Vzorek +1 v místě 2



Obrázek 4.23 Vzorek +1 v místě 3



4.2.2.1 Rozřezaný vzorek +1

Obrázek 4.24 Rozřezaný vzorek +1

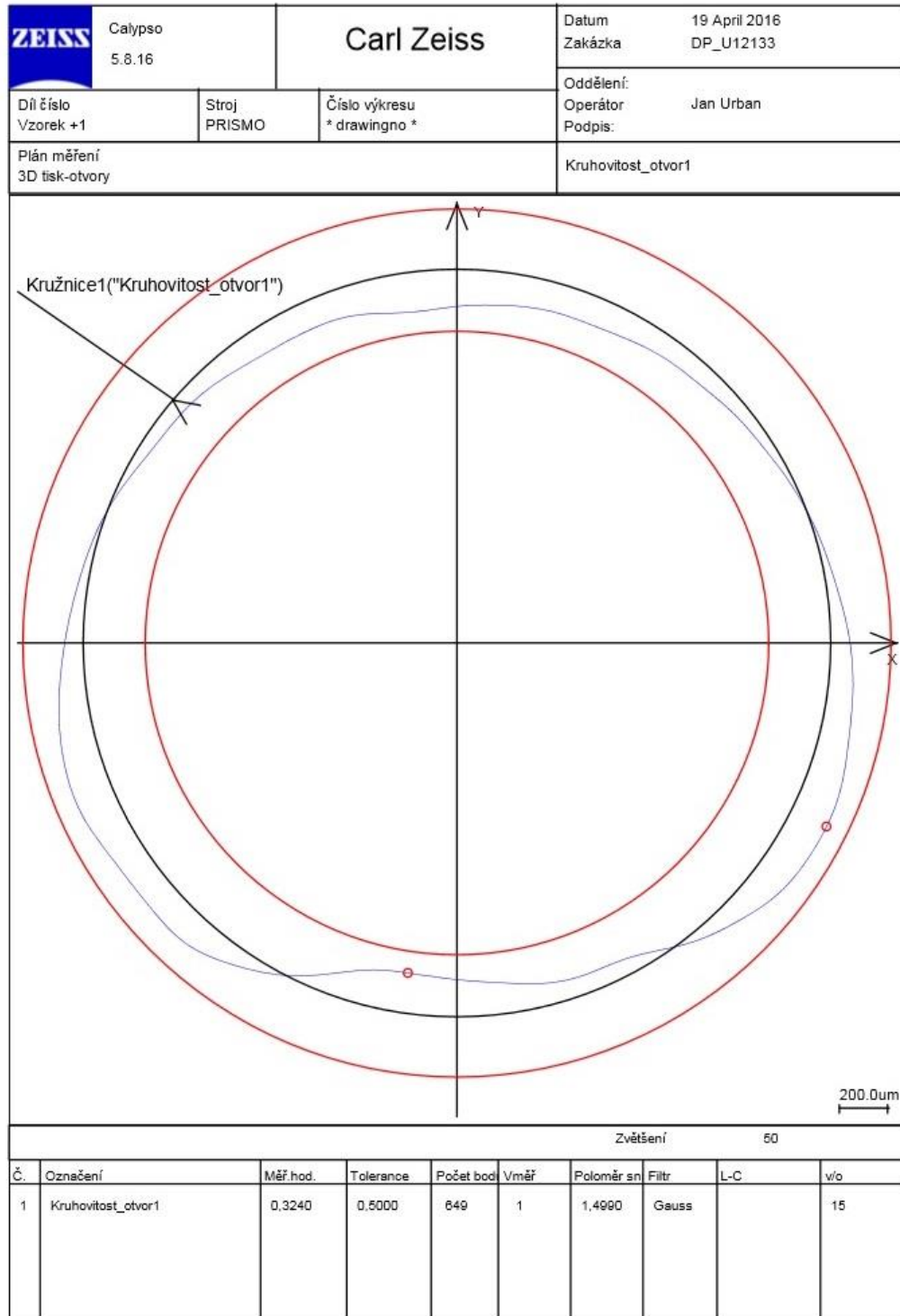


Metalografická zkouška znázorňuje, že pórovitost není tak vysoká jako u jádra. V místě 1 je 0,86% pórů, v místě 2 je 1,22% a v místě 3 je 1,35%. Tato zkouška pomohla ukázat, že ve vnitřní struktuře nejsou žádné vážné poruchy, ke kterým může při spékání prášku dojít.

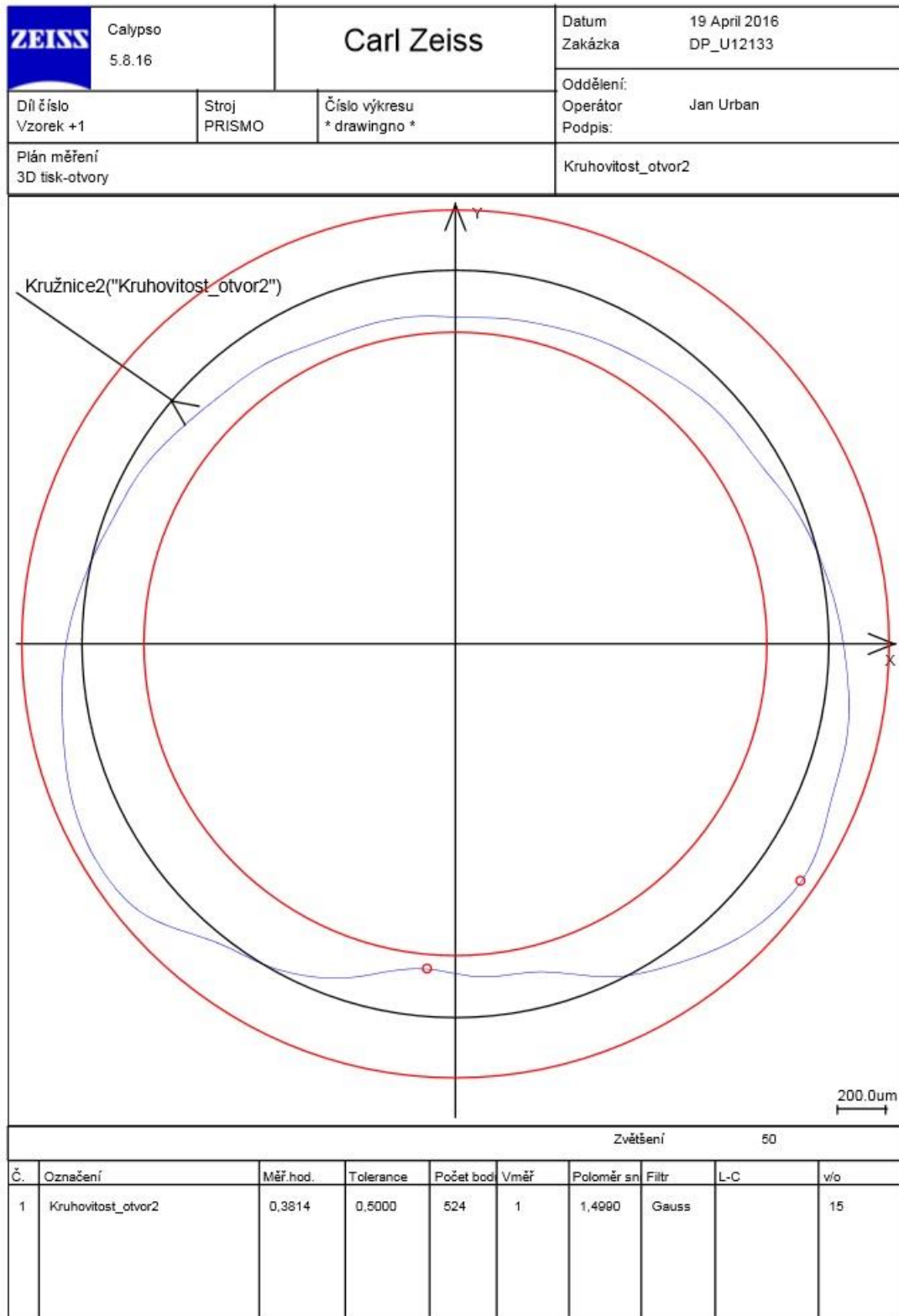
4.2.3 Válcovitost a kruhovitost

Byly měřeny první 4 otvory.

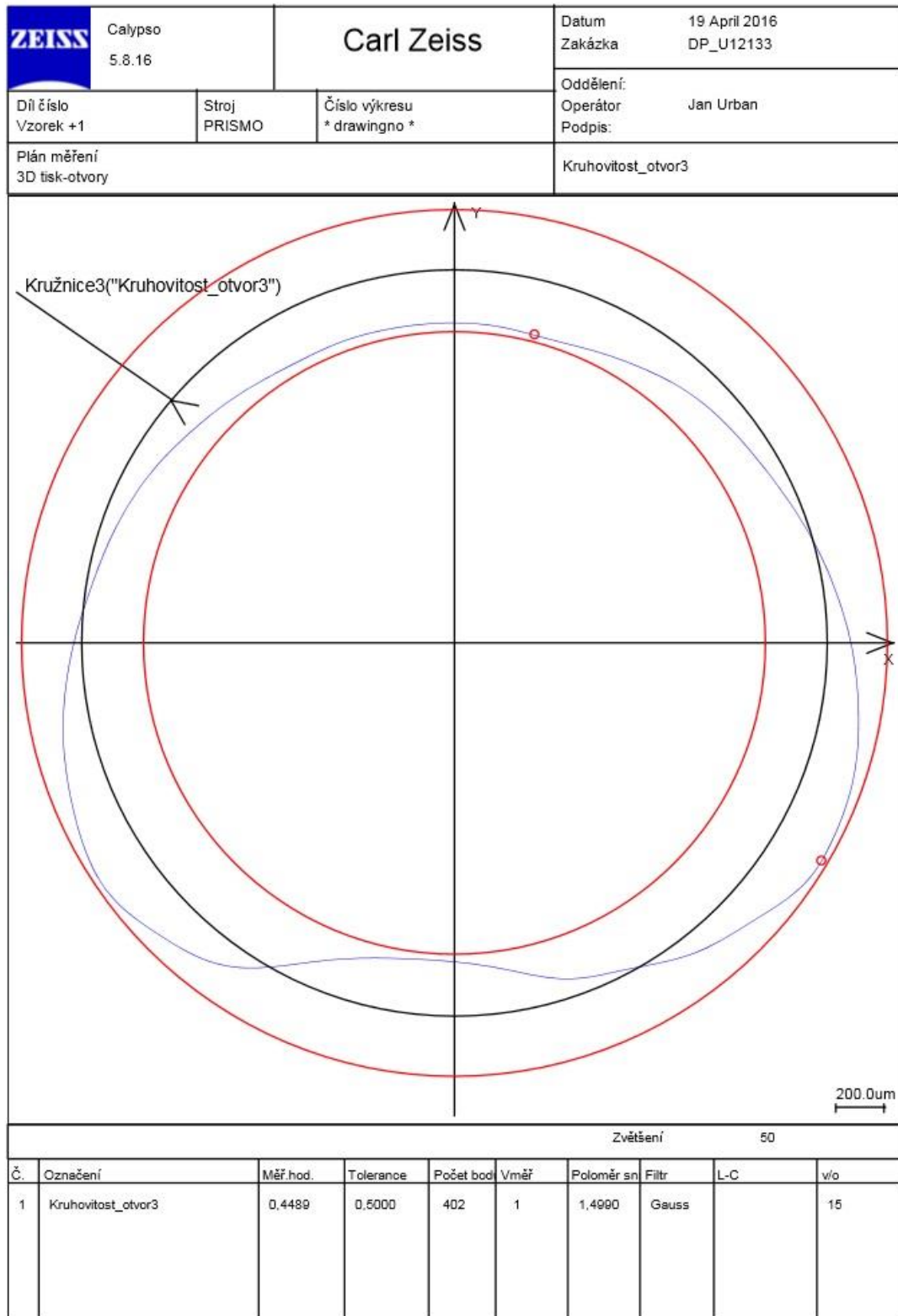
Obrázek 4.25 Kruhovitost otvoru 1



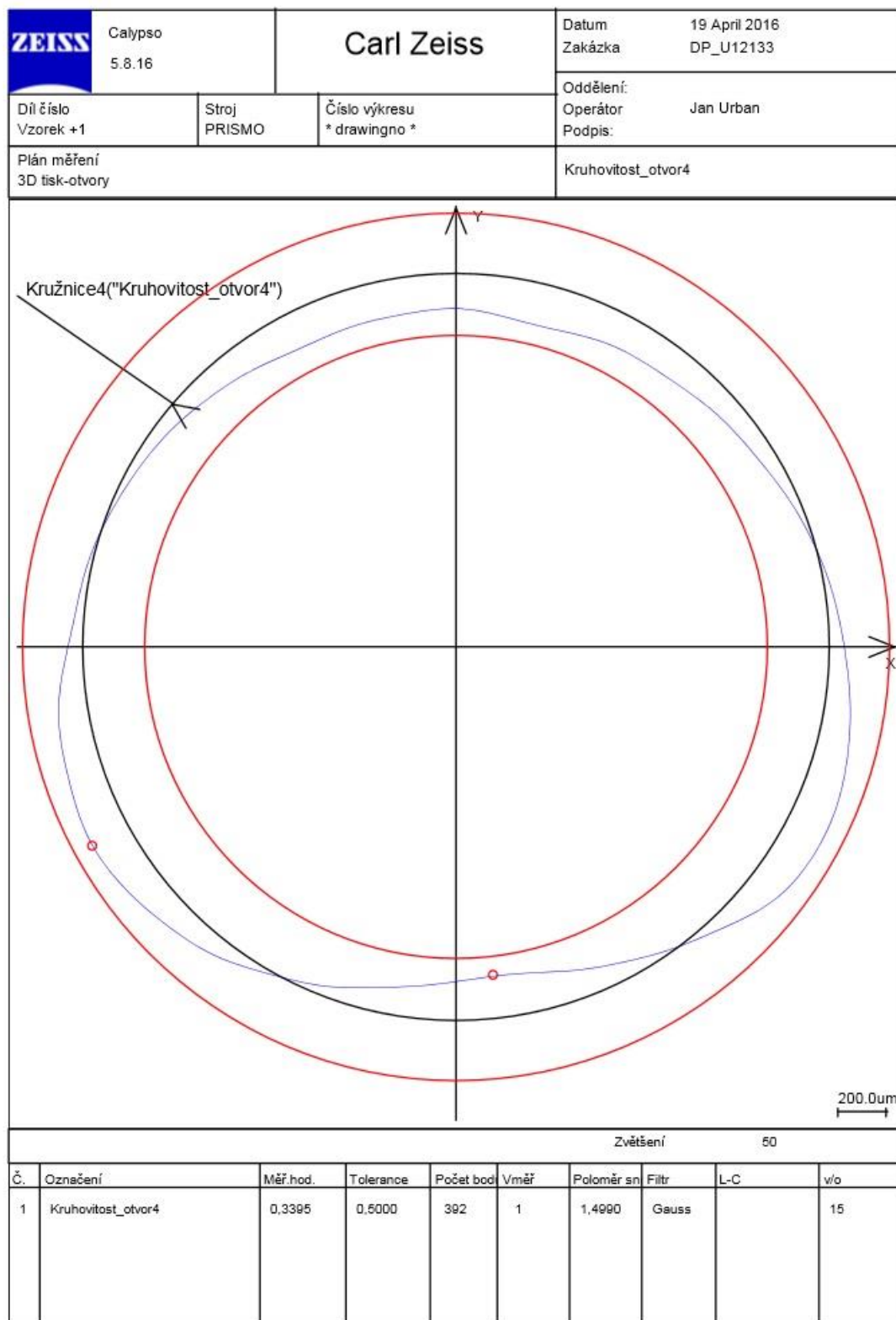
Obrázek 4.26 Kruhovitost otvoru 2



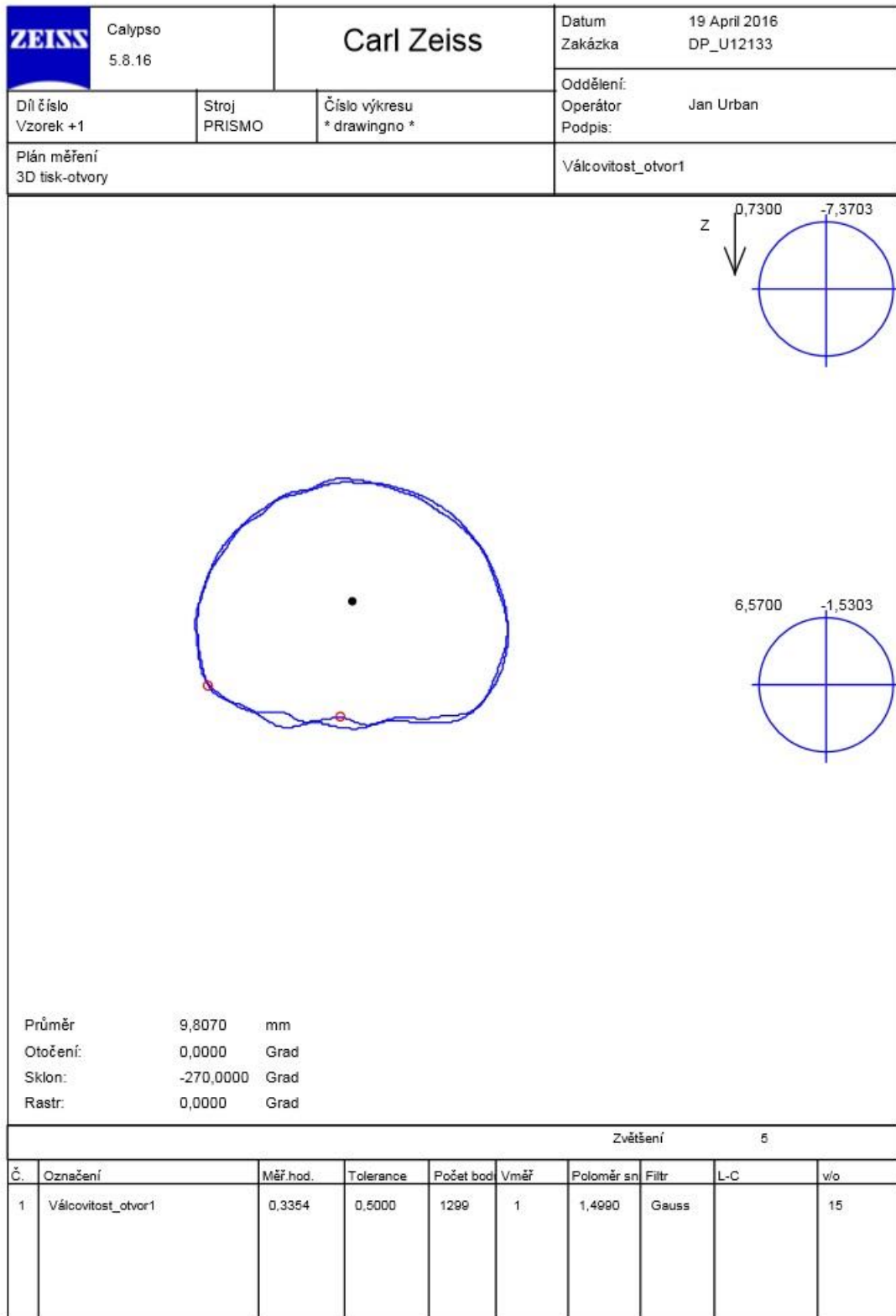
Obrázek 4.27 Kruhovitost otvor 3



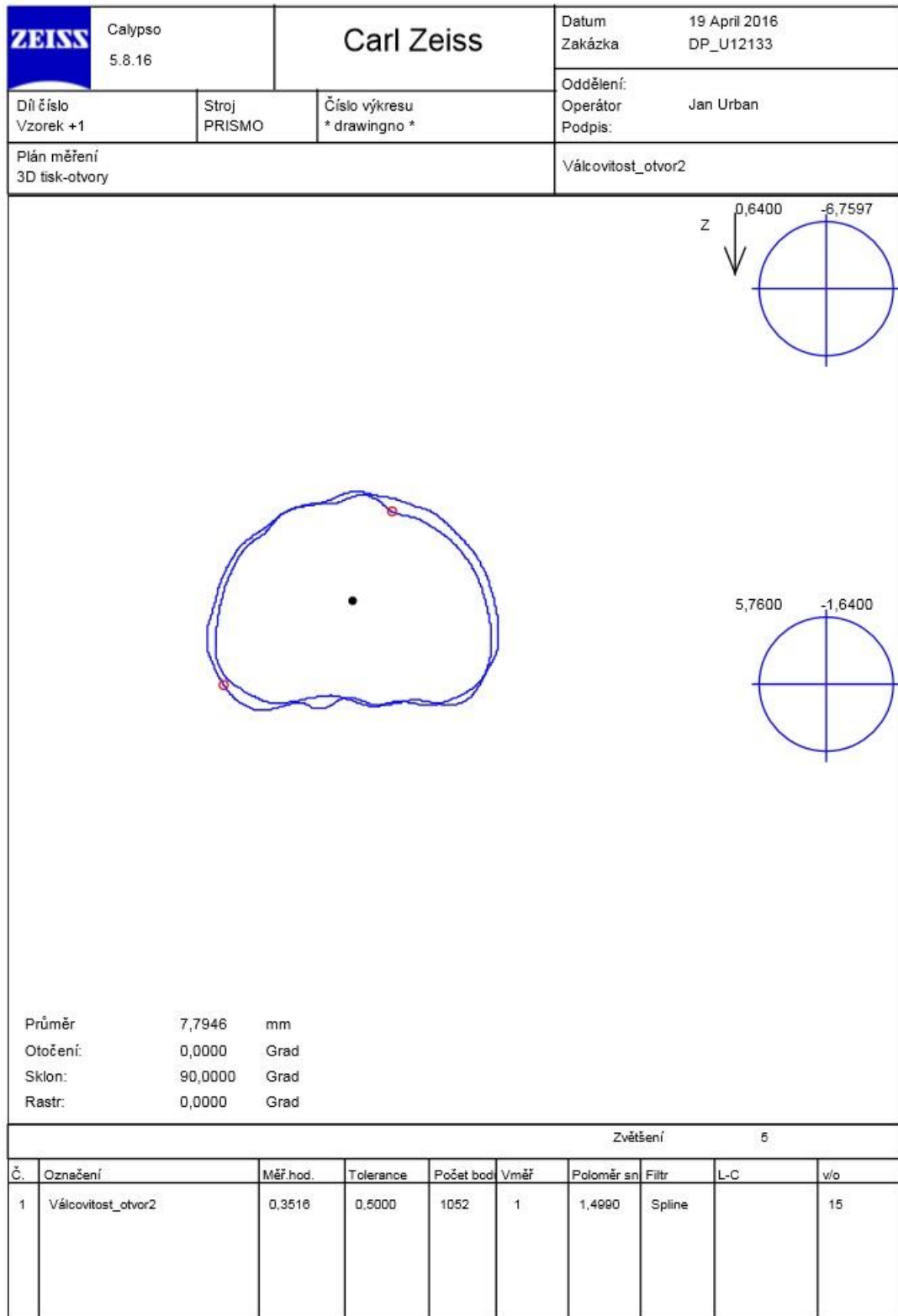
Obrázek 4.28 Kruhovitost otvoru 4



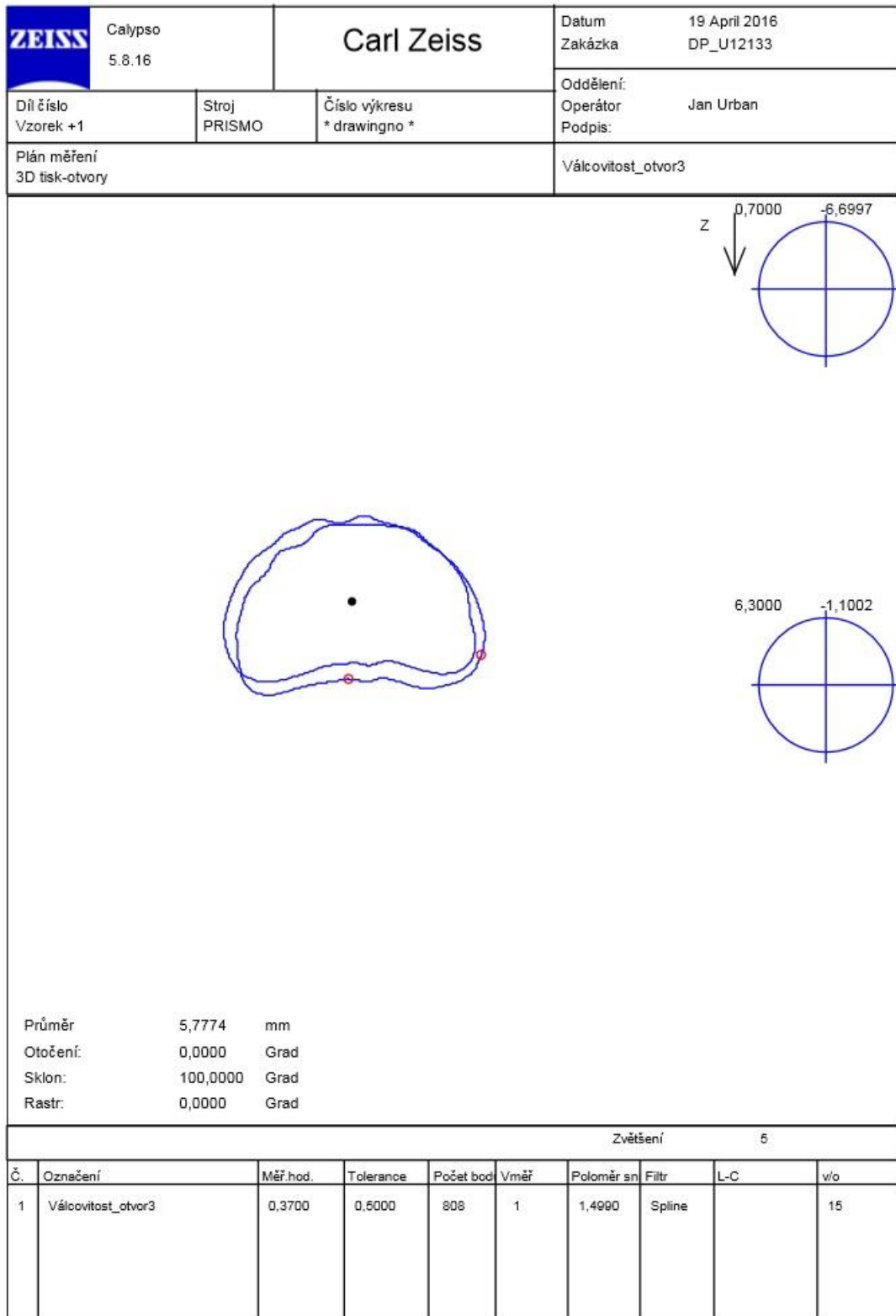
Obrázek 4.29 Válcovitost otvoru 1



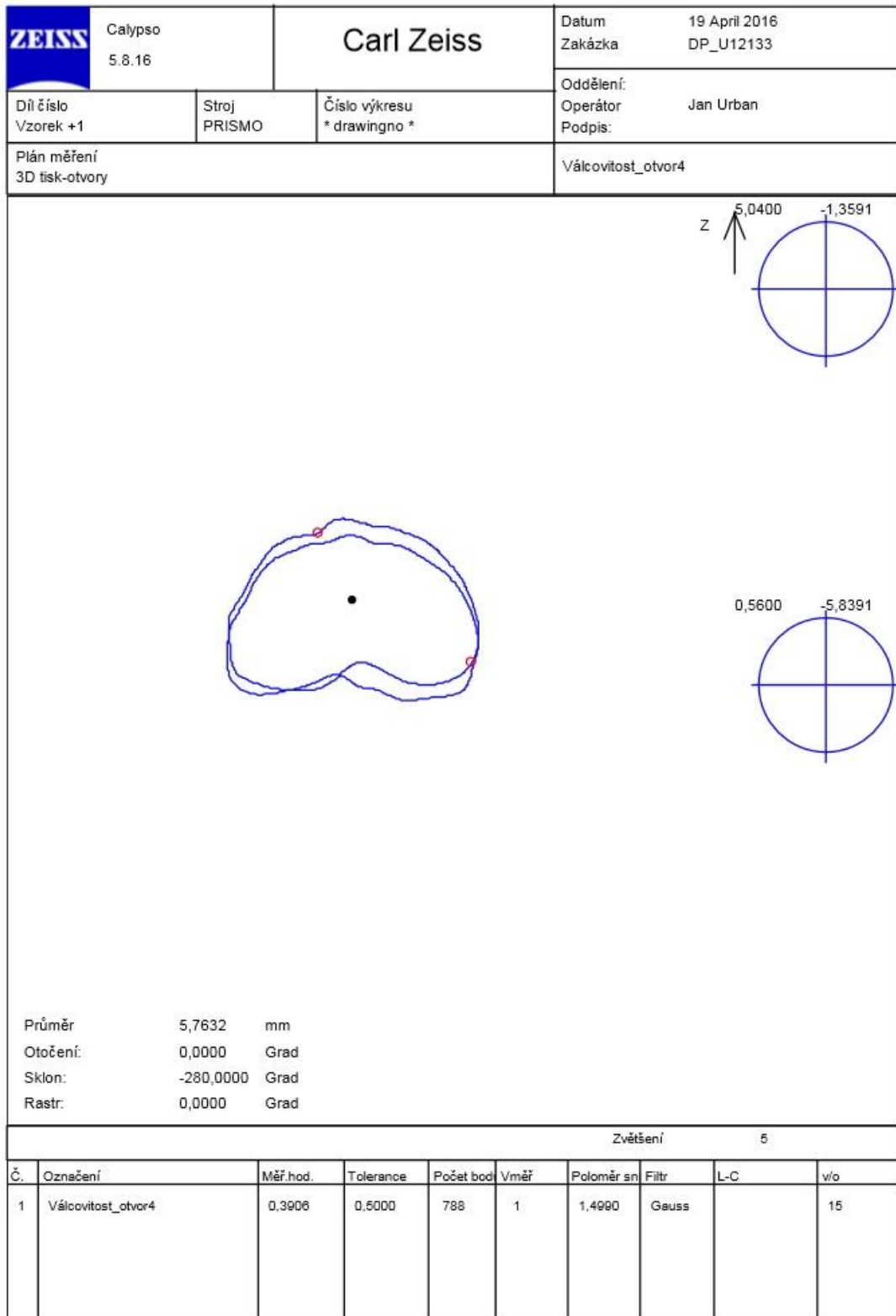
Obrázek 4.30 Válcovitost otvoru 2



Obrázek 4.31 Válcovitost otvoru 3



Obrázek 4.32 Válcovitost otvor 4



Obrázek 4.33 Celkové výsledky

		ZEISS Calypso			
Plán měření 3D tisk-otvory		Datum 19 April 2016		Zakázka DP_U12133	
Operátor Jan Urban		Stroj Prismo		Č.dílu inkrementálně Vzorek +1	
Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchyłka	
 Celkový výsledek Všechny charakteristiky: 20 ...v toleranci: 16 ...Mimo toleranci: 4 ...Nad výstražnou mezí: 0 ...Nevypočteno: 0 Souř.systémů celkem: 0 ...Nevypočteno: 0 Text.elementů celkem: 0					
 Otvor1_Průměr 9.7801	9.6000	0.2000	-0.2000	---	0.1801
 Otvor2_Průměr 7.7532	7.5000	0.2000	-0.2000		0.0532 0.2532
 Otvor3_Průměr 5.7031	5.5000	0.2000	-0.2000		0.0031 0.2031
 Otvor4_Průměr 5.7367	5.6000	0.2000	-0.2000	---	0.1367
 Poloha_otvor4_Hodn-X -43.0190	-42.9000	0.1500	-0.1500	---	-0.1190
 Poloha_otvor4_Hodn-Y 8.2709	8.4000	0.1500	-0.1500	---	-0.1291
 Poloha_otvor3_Hodn-X -34.0366	-33.9000	0.1500	-0.1500	---	-0.1366
 Poloha_otvor3_Hodn-Y 8.2585	8.4000	0.1500	-0.1500	---	-0.1415

Obrázek 4.34 Celkové výsledky

Náz. souč. 3D tisk-otvory		Operátor Jan Urban		Datum 19 April 2016		
	Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka	
	Poloha_otvor2_Hodn-X -23.0298	-22.9000	0.1500	-0.1500	---	-0.1298
	Poloha_otvor2_Hodn-Y 8.2382	8.4000	0.1500	-0.1500		-0.0118 -0.1618
	Poloha_otvor1_Hodn-X -10.0113	-10.0000	0.1500	-0.1500		-0.0113
	Poloha_otvor1_Hodn-Y 8.2433	8.4000	0.1500	-0.1500		-0.0067 -0.1567
	Kruhovitost_otvor1 0.3240	0.0000	0.5000		---	0.3240
	Kruhovitost_otvor2 0.3814	0.0000	0.5000		---	0.3814
	Kruhovitost_otvor3 0.4489	0.0000	0.5000		---	0.4489
	Kruhovitost_otvor4 0.3395	0.0000	0.5000		---	0.3395
	Válcovitost_otvor1 0.3354	0.0000	0.5000		---	0.3354
	Válcovitost_otvor2 0.3516	0.0000	0.5000		---	0.3516
	Válcovitost_otvor3 0.3700	0.0000	0.5000		---	0.3700
	Válcovitost_otvor4 0.3906	0.0000	0.5000		---	0.3906

2

Z měření je zřejmé, že při výrobě došlo k nesprávně zvolené metodě stavby jako je na obrázku 3.4. Došlo k deformaci a propadnutí kruhového otvoru.

5 Závěr

Cílem mé práce bylo vyhodnocení kvality povrchu a vnitřní struktury kovu pro všechny díly a pro vzorky -1, 0, +1, navíc válcovitost a kruhovitost. Pro mé posouzení jsem si ze vzorků vybrala díl +1.

Při měření drsnosti u jádra jsem zjistila, že vzhledem k použité technologii výroby je drsnost přijatelná. Následným upravováním se povrch zahladí. Toho lze docílit například hloubením. Výskyt pórů na povrchu byl viditelně vysoký, ale při spékání je to běžné. U metalografie lze vidět, že ve vnitřní struktuře nejsou žádné praskliny ani závažnější vady, které by ohrozily funkčnost dílu. Díky tomuto experimentu je také znázorněn výskyt pórů.

Drsnost vzorku +1 se prozkoumávala v místech posledních dvou nejmenších děr a je vyšší než u předchozího dílu, ale dalšími operacemi se drsnost sníží. Pórovitost je menší než u jádra. V místě 1 (obrázek 3.17) je 0,86% pórů, v místě 2 (obrázek 3.18) je 1,22% a v místě 3 (obrázek 3.19) je 1,35%. Tato zkouška pomohla ukázat, že ve vnitřní struktuře nejsou žádné vážné poruchy, ke kterým může při spékání prášku dojít.

Měření kruhovitosti a válcovitosti prvních 4 děr odhalilo, že došlo k nesprávně zvolené metodě stavby (obrázek 2.4) a vlivem toho proběhlo propadnutí a deformace kruhového otvoru.

Seznam literatury

Webové stránky:

[2] Technologie 3D tisku. *Technologie 3D tisku* [online]. Praha: Toner 1 [cit. 2016-07-03]. Dostupné z: <http://www.tisknulevne3d.cz/technologie-3d-tisku>

[3] Historie 3D tisku: Počátek 3D tisku. *O3D* [online]. Praha: Inomica [cit. 2016-06-23]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>

[4] Historie 3D tisku: Časová linie. *O3D* [online]. Praha: Inomica [cit. 2016-06-23]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>

[5] Kovový 3D tisk v průmyslové praxi. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2015 [cit. 2016-06-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kovovy-3d-tisk-v-prumyslve-praxi.html>

[6] <http://www.dtpko.cz/clanky/inspirace-jak-spravne-vybrat-3d-tiskarnu/#sthash.QkS1BkqC.dpuf> [cit. 2016-04-27]

[8] Kovové prototypy: DMLS (Direct Metal Laser Sintering) - 3D tisk kovu. *Innomia* [online]. Jaroměř: Innomia, 2012 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/sluzby/kovove-prototypy>

[9] Production Methods: What's the Difference Between Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laser Melting and LaserCusing? *Core77* [online]. Washington: Core77, 2014 [cit. 2016-07-05]. Dostupné z: <http://www.core77.com/posts/26457/Production-Methods-Whats-the-Difference-Between-Selective-Laser-Sintering-Direct-Metal-Laser-Sintering-Laser-Melting-and-LaserCusing>

[10] Konformní chlazení. *Innomia* [online]. Jaroměř: *Innomia*, 2012 [cit. 2016-07-5]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/sluzby/kovove-prototypy>

[11] <http://3dtisk.blogspot.cz/> [cit. 2016-07-07]

[12] <http://www.konstrukter.cz/2016/04/26/jak-na-3d-tisk-z-kovu-ukazal-vzdelavaci-seminar-v-ostrove/> [cit. 2016-07-07]

[13] <http://www.konstrukter.cz/2016/04/26/jak-na-3d-tisk-z-kovu-ukazal-vzdelavaci-seminar-v-ostrave/> [cit. 2016-07-07]

Jiné dokumenty:

[1] 3D Tisk: jaké možnosti dnes máte s 3D tiskárnami? *Geobusiness*. 2012, 11(1), 26.

[7] Jak vybrat 3D tiskárnu. *Základy 3D tisku: Velikost tiskové plochy* [online]. 1. Praha: Josef Průša, 2014, s. 8 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

[14] *ConceptLaser*. Lysá nad Labem: ConceptLaser.

[15] M1 cusing: Návod k obsluze [online]. 1. Německo: *Concept Laser*, 2011 [cit. 2016-07-030].

Seznam příloh

Přílohy vzorků 0 a -1 jsou přiloženy na samostatném CD.