

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Využití místního ohřevu laserem pro soustružení
těžceobrobitelných materiálů

The Use of Technology Local Heating by Laser for Turning of
Difficult to Machine Materials

Student: Jiří Šedivý

Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Mgr. Jana Petruš, Ph. D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Šedivý**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Využití technologie místního ohřevu laserem pro soustružení těžceobrobitelných materiálů**
The Use of Technology Local Heating by Laser for Turning of Difficult to Machine Materials

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování rešerše a popis výhod ohřevu laserem.
2. Návrh technologie místního ohřevu laserem pro soustružení.
3. Technicko-ekonomické zhodnocení.
4. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Ing. Henryk Nicielnik

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místo přísěžné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě *R.S. 2015*.....

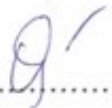
R.S.
.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své 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 předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2015.....

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Šedivý

Adresa trvalého pobytu autora: Lískovecká 1752, Frýdek- Místek

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠEDIVÝ, J. *Využití místního ohřevu laserem pro soustružení těžceobrobitelných materiálů*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2015, 53 s. Vedoucí práce Petrů, J.

Bakalářská práce se zabývá metodou předehřevu těžceobrobitelných materiálů, konkrétně za pomoci laserové technologie. V první části je popsán princip, rozdělení způsobů předehřevu a konkrétní použití laseru při soustružení a frézování. Ve druhé části je proveden rozbor stávající technologie výroby a použitý materiál. Následuje návrh nové technologie místního ohřevu laserem pro soustružení, zvolení nového stroje, úprava technologického postupu a použitých nástrojů. V závěrečné části práce je provedeno technicko- ekonomické zhodnocení stávající technologie v porovnání se navrhovanou z hlediska výrobních časů a nákladů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠEDIVÝ, J. *The Use of Technology Local Heating by Laser for Turning of Difficult to Machine Materials*: bachelor thesis. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2015, 53 p. Bachelor thesis, head: Petrů, J.

The bachelor thesis deals with the method of preheating of difficult to machine materials, in particular using laser technology. The first part describes the principle, classification methods preheating and specific laser for turning and milling. The second part is an analysis of the existing technology. The following is a proposal for a new local heating laser technology for turning, the election of a new machine, the adjustment of the technological process and tools used. In the final part of the work is performed technical-economic evaluation of the current production is compared with the newly proposed of manufacturing times and costs.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod	10
1 Zpracování rešerše a popis výhod ohřevu laserem	11
1.1 Obrábění za pomoci přehřevu	11
1.2 Přehřev paprskem plazmy	13
1.3 Přehřev paprskem laseru	15
1.3.1 Princip a rozdělení laserů	15
1.3.2 Přehřev laserem při soustružení	16
1.3.3 Přehřev laserem při frézování	20
2 Návrh technologie místního ohřevu laserem pro soustružení	23
2.1 Představení firmy VÚHŽ, a. s.	23
2.2 Popis stávající technologie výroby	23
2.2.1 Vyráběná součást	24
2.2.2 Charakteristika obráběného materiálu CrNi 58/41	25
2.2.3 Stroj stávající technologie výroby	26
2.2.4 Nástroje stávající technologie výroby	28
2.2.5 Řezné podmínky pro stávající technologii výroby	33
2.2.6 Technologický postup stávající technologie výroby	34
2.3 Návrh technologie s přehřevem	36
2.3.1 Stroj nové technologie s přehřevem	37
2.3.2 Nástroje pro novou technologii výroby	40
2.3.3 Návrh řezných podmínek pro novou technologii výroby	40
2.3.4 Technologický postup nové technologie výroby	41
3 Technicko- ekonomické zhodnocení	43
3.1 Náklady na výrobu u stávající technologie	43
3.2 Náklady na výrobu navržené technologie	44
4 Závěrečné zhodnocení	47
Použitá literatura	49
Seznam příloh	53

Seznam použitých značek a symbolů

a	šířka řezné části břitové destičky LFUX 030802TN	[mm]
a_e	šířka řezu při frézování	[mm]
a_p	hloubka řezu	[mm]
$a_{p \max}$	maximální doporučená hloubka řezu	[mm]
$a_{p \min}$	minimální doporučená hloubka řezu	[mm]
b	šířka nožového držáku	[mm]
b_1	šířka upínací část břitové destičky LFUX 030802TN	[mm]
CBN	kubický nitrid boru	[-]
c	délka řezné části břitové destičky LFUX 030802TN	[mm]
D_{\max}	maximální průměr zápichu a upíchnutí k bodu ostří	[mm]
D_{\min}	minimální průměr pro soustružení otvoru	[mm]
d	výška vyměnitelné břitové destičky	[mm]
d_1	průměr otvoru pro upnutí vyměnitelné břitové destičky	[mm]
d_{2g7}	průměr nožového držáku pro vnitřní soustružení	[mm]
d_e	průměr břitové destičky frézy	[mm]
F_c	řezná síla tangenciální	[N]
F_f	řezná síla posuvová	[N]
F_t	řezná síla radiální	[N]
f	posuv na otáčku	[mm]
f_2	šířka nožového držáku	[mm]
f_{\max}	maximální doporučený posuv na otáčku	[mm]
f_{\min}	minimální doporučený posuv na otáčku	[mm]
HV30	tvrdost podle Vickerse při zatížení 30 kp	[-]
h	výška nožového držáku	[mm]
h_1	výška stopky nástroje	[mm]
Konv.	konvenční způsob obrábění	[-]

L	úhel mezi paprskem laserem a řezným nástrojem	[°]
LAM	Laser Assisted Machining (obrábění za pomoci laseru)	[-]
L_1	délka paprsku laseru	[mm]
l	šířka vyměnitelné břitové destičky	[mm]
l_1	délka nástroje	[mm]
l_2	šířka stopky nástroje	[mm]
N_{1c}	náklady na jeden kus	[Kč]
N_{23c}	náklady na celou sérii	[Kč]
N_{23n}	spotřeba náradí při opracování celé série	[Kč]
N_h	hodinová sazba stroje	[Kč]
n	otáčky	[min ⁻¹]
ODS	oxide dispersion strengthened	[-]
PCD	Polykrystalický diamant	[-]
P, M, N, S, K	označení druhu řezného materiálu dle ISO 513:2002	[-]
Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
Rm	pevnost v tahu	[MPa]
r_ε	poloměr špičky vyměnitelné břitové destičky	[mm]
s	tloušťka vyměnitelné břitové destičky	[mm]
T	teplota	[°C]
T_{mr}	teplota předehřevu při odebrání materiálu	[°C]
t_{1c}	celková spotřeba času pro jeden kus	[hod]
t_{1m}	celkový čas obrábění jedno kusu součásti	[hod]
t_{23c}	celková spotřeba času pro celou sérii	[hod]
t_{23p}	přídavný čas na opracování celé série	[hod]
v_c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v_f	posuvová rychlost	[m·min ⁻¹]
X, Y, Z, C ₁ , C ₂	označení os	[-]
α	úhel mezi paprskem laseru a obrobkem	[°]

γ_o	úhel čela v rovině ortogonální	[°]
κ	úhel nastavení	[°]
λ_s	úhel sklonu ostří v rovině ostří	[°]

Úvod

Vzhledem k technologickému vývoji v oblasti materiálového inženýrství jsou více odolné a robustní materiály jako slitiny titanu a niklu, keramiky, korozivzdorné oceli a další těžceobrobitelné materiály neustále vyvíjeny. Tyto materiály mají široké uplatnění v různých oblastech, jako je letectví, automobilový průmysl a medicína. Neustálý vývoj materiálu je prováděn za účelem zlepšení jejich vlastností, tedy především vyšší odolnost proti otěru, korozi, vyšší žárupevnost a žáruvzdornost, lepší mechanické vlastnosti a odolnost proti působení vnějšího vlivu. Zdokonalením těchto vlastností se však zhoršuje jejich obrobitelnost.

Těžkoobrobitelnými materiály rozumíme materiály, jejichž vysoké mechanické vlastnosti pevnost v tahu a tvrdost nedovolují použít standartní řezné podmínky, jako u běžných konstrukčních ocelí. Při obrábění těchto materiálů vznikají vyšší řezné síly a rázy, které mají nepříznivý vliv na řezný nástroj. Z těchto parametrů vyplývá, že životnost nástroje při obrábění a výsledný strojní čas je snížen.

Jeden ze způsobů, jak zlepšit obrábění těžceobrobitelných materiálů, jednak po stránce ekonomické, tak i ze strany efektivity výroby je použití předehřevu těsně před břitkem řezného nástroje. Při předehřevu dochází vlivem tepla ke snížení mechanických vlastností a tím usnadňuje jejich následné obrábění.

Obsahová náplň této bakalářské práce je zaměřena na novou nekonvenční metodu obrábění těžceobrobitelných materiálů předehřevem paprskem laseru. V úvodní části jsou rozděleny a popsány všechny metody předehřevu, dále pak využití paprsku plazmy a laseru při předehřevu a jejich výhody. Ve druhé části je popsána charakteristika stávající technologie výroby, vlastnosti opracovávaného materiálu, použitý stroj, nástroje a řezné podmínky. Následuje návrh nové technologie místního ohřevu laserem, úprava technologického postupu a volba nástrojů, volba nového stroje, a přizpůsobení řezných podmínek navržené technologii. Na základě strojních časů jednotlivých operací bude provedeno technicko- ekonomické zhodnocení.

1 Zpracování rešerše a popis výhod ohřevu laserem

1.1 Obrábění za pomoci předeřevu

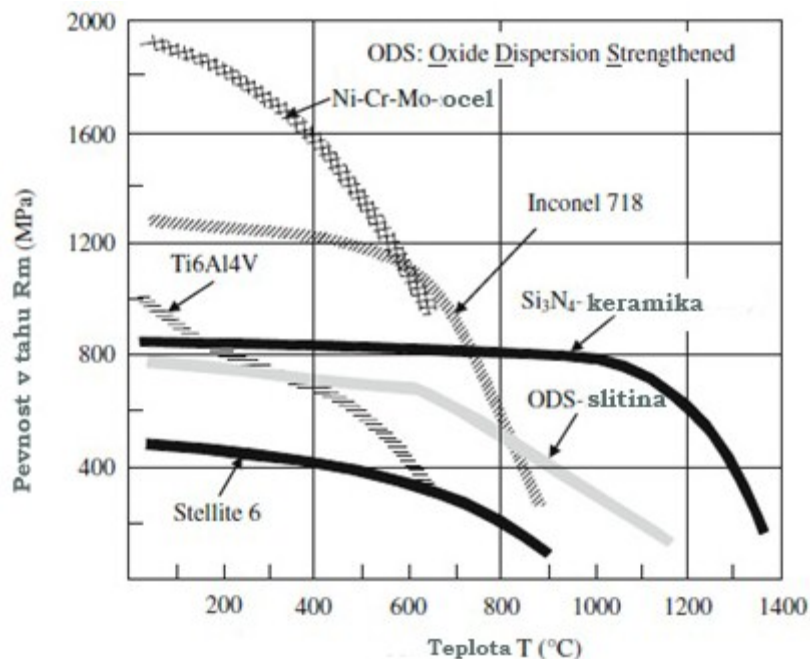
Obrábění pomocí předeřevu se ukázal, jako alternativní způsob obrábění, který poskytuje lepší obrobiteľnosť těžceobrobiteľných materiálů. Tato technika obrábění je v úvaze od konce devatenáctého století. Bylo pozorováno, že kovy mají tendenci se snadněji deformovat při zahřívání, čímž se zvýší jejich obrobiteľnosť. Principem obrábění pomocí předeřevu je zvýšení rozdílu tvrdosti řezného nástroje a obrobku, což vede také ke snížení řezných sil, zlepšení drsnosti povrchu a delší životnost nástroje. [16]

Princip předeřevu

Principem je aplikace tepla na obrobek okamžitě před nebo v průběhu obrábění. Vysoce intenzivní lokální vstup tepelné energie pomocí zdroje tepla, drasticky snižuje pevnost materiálu při zahřátí nad některými konkrétními teplotami, v závislosti na vlastnostech pracovního materiálu. Změkčený kov se potom snadno odstraní obvyklými řeznými procesy, jako je soustružení a frézování. [8]

Úspěšná aplikace předeřevu vyžaduje lokalizované a řízené ohřívání materiálu v rámci obrábění přímo před nástrojem. Rozhodujícím předpokladem úspěchu předeřevu je pokles meze pevnosti obráběného materiálu při zvýšených teplotách. [8] Zásadní pro účinnost a proveditelnost u metod předeřevu je dostatečná hustota energie. Pak nelze zaručit dostatečnou plasticitu obráběného materiálu vzhledem k rychlému vedení tepla u frézování. Proudění tepla v případě soustružení je důsledkem otáčení obrobku vysokou rychlostí. [5] Výzkum na chování materiálu v závislosti na teplotě odhalil významnou ztrátu pevnosti materiálu nad určitou teplotní úroveň pro slitiny kovu s vysokou pevností (Obr. 1). [16]

Snížení řezné síly je spojeno s nízkou mezí kluzu ve smyku pracovního materiálu na primární a sekundární smykových rovinách. Během horkého obrábění se plasticita obráběného materiálu zvyšuje, což vede ke zvýšení kontaktní vzdálenosti mezi třískou a nástrojem, který hraje roli při snižování normálového napětí účinkující na nástroj. Ohřev také snižuje intenzitu zoubkování třísky, kolísání řezných sil, které snižují dynamické namáhání aplikované na nástroji, čímž výrazně sníží opotřebení nástroje. [16]



Obr. 1 Teplotně závislé mechanické vlastnosti kovových slitin s vysokou pevností.

[11]

Snížení intenzity chvění je spojeno se zvýšeným vnitřním tlumením systému v důsledku zvýšené plasticity pracovního materiálu, který absorbuje energii vibračního nástroje a tlumí vibrace. Různé stupně tlumení při teplem asistovaném obrábění závisí na vlastnostech materiálu. Obrobený povrch je vylepšen nižší amplitudou chvění a zlepšením toku materiálu přes čela a bočních ploch nástroje. Při obrábění vyššími řeznými rychlostmi se generuje vyšší teplota řezání, což usnadňuje stříhání a tok třísky, jež můžeme sledovat i u obrábění předeřevem. [16]

Pro ohřev materiálu před obráběním se uplatňuje:

- **Ohřev materiálu v celém objemu v elektrické nebo plynové peci** je vhodný pro tlustostěnné obrobky, nevýhodou jsou problémy při upnutí a nebezpečí deformace obrobku. Uplatňuje se především u součástí vhodného tvaru, ke kterým mohou být připojeny masivní elektrody. Tato metoda je však velmi energeticky náročná. [15]
- **Ohřev kyslíkoacetylenovým plamenem** se používá pro nižší teploty ohřevu. [15]
- **Ohřev elektrickým obloukem** umožňuje přivést na obráběný povrch podstatně větší měrný tepelný výkon než jiné způsoby ohřevu, avšak nevýhodou je nesnadná regulace teploty povrchové vrstvy a intenzivní světelné záření. [15]

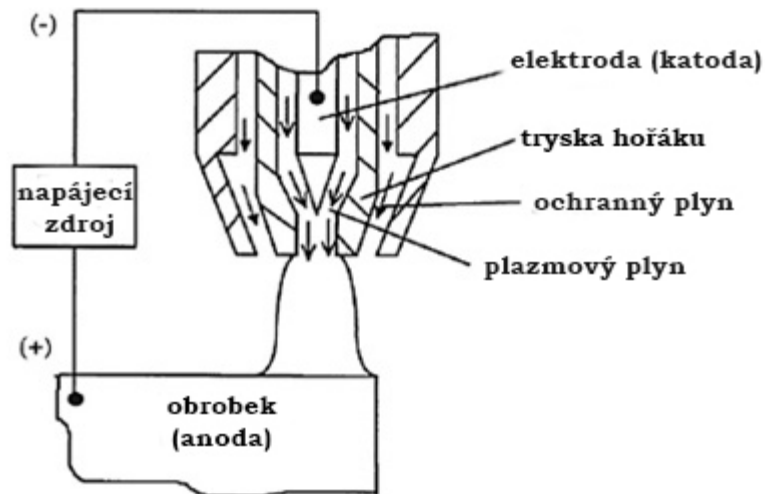
- **Vysokofrekvenční ohřev indukční** dovoluje účinné soustředění ohřevu a přesnou regulaci teploty. Ohřátá vrstva materiálu je poměrně tenká. [15] Indukční ohřev se může uplatnit při svislém frézování, ale není vhodný pro soustružení kvůli cívce, která je ovinutá kolem obrobku. [16]
- **Ohřev materiálu plazmovým obloukem** našel své uplatnění především při soustružení a to kvůli přívodu vysoké tepelné energie. Předehřev plazmou se ukázal jako ekonomická alternativa předehřevu laserem. [16]
- **Ohřev materiálu paprskem laseru** patří mezi nové metody předehřevu, které se věnuje velká pozornost především kvůli vysoké intenzitě energie a jeho univerzálního využití. [26]

Největší pozornost se však v současné době věnuje **předehřevu laserem a plazmovým obloukem.**

1.2 Předehřev paprskem plazmy

Princip paprsku plazmy

Při použití plazmového oblouku dochází k změkčení zóny obrobku jen v přední části řezného nástroje s velmi vysokou hustotou energie. Plazmový oblouk se skládá z vysokorychlostních proudů ionizovaných plynů, které jsou schopny podporovat vysoký proud nízkého napětí elektrického oblouku. Hořák produkuje tento jev tím, že má wolframové elektrody centrálně umístěny uvnitř měděné trubky chlazené vodou. Proud plynu se vede dolů do mezikruží, mezi nimiž se plyn ionizuje vysokou frekvencí vypouštěním měděnou tryskou a centrální elektrodou (Obr. 2). Vlastnosti a spolehlivost zapálení oblouku jsou zlepšeny s vyváženou geometrií otvoru trysky. Ohřev je zajištěn stejnosměrným proudem, kde katodou je wolframová elektroda a anoda přísluší obrobku. Při tomto způsobu dosahuje plazma teploty až 20000 K. [13]

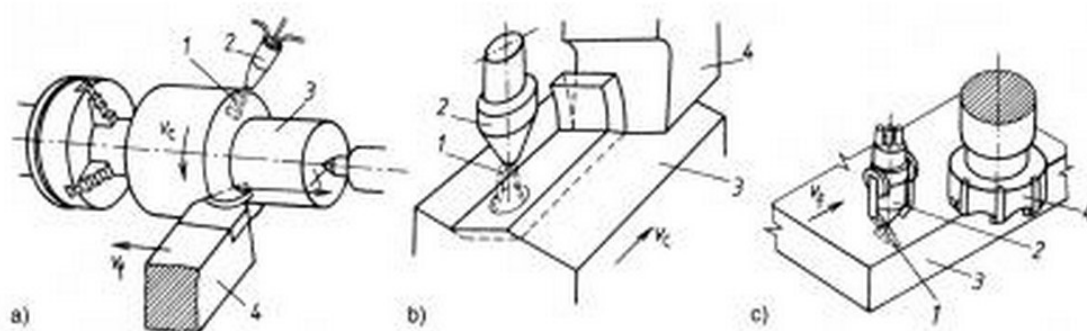


Obr. 2 Detail plazmového oblouku [24]

Schopnost vytvářet a přenášet požadovaný stupeň lokalizovaného zahřátí na obrobku je rozhodující pro úspěch plazmového oblouku. Teplota obrobku hraje důležitou roli při tvorbě třísek během procesu řezání kovů, protože má vliv na deformaci materiálu. Velké množství energie generované v důsledku objemové deformace a tření se téměř výhradně převede na tepelnou energii, což vede k vysoké teplotě třísky a břítu nástroje. Následkem toho by měly být známy vrcholové teploty k zabránění nebo minimalizování teplotního poškození. [16]

Využití plazmy

Předehřev plasmou se používá především při soustružení, kde je potřeba velké tepelné intenzity k zmenšení tvrdosti, což je základní předpoklad. Mezi výhody patří také menší provozní náklady oproti předehřevu laserem. Užití plazmy není vhodné pro frézování a to z důvodu menšího posuvu než u soustružení. Žár by způsobil roztavení obráběného materiálu. Další nevýhodou je působení tepelných účinků na řezné hraně. [10]



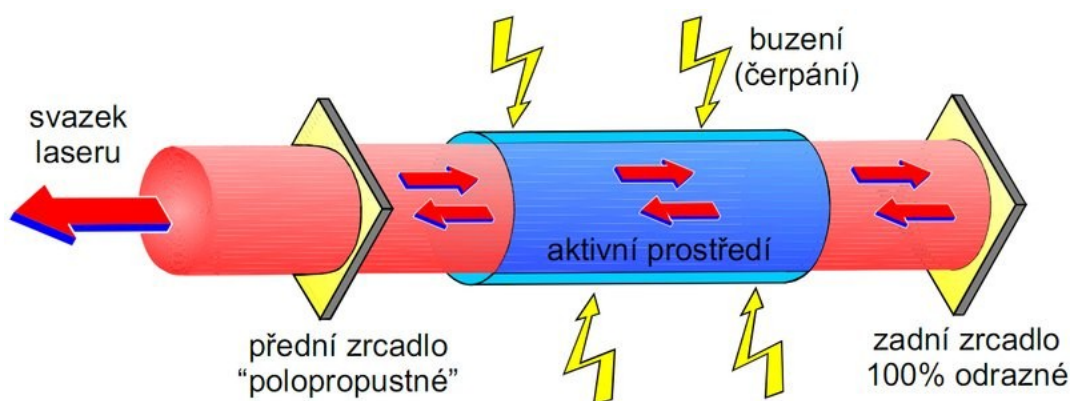
Obr. 3 Užití přehřevu plazmovým obloukem: a) soustružení, b) hoblování, c) frézování (1- paprsek plazmatu, 2- plazmový hořák, 3- obrobek, 4- nástroj) [21]

1.3 Přehřev paprskem laseru

1.3.1 Princip a rozdělení laserů

Laser je zkratka pro **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, což v češtině znamená zesilování světla stimulovanou emisí záření.

Pracuje na principu indukované emise tj. vynuceného záření. Indukovaná emise je vyvolávána dopadem záření na atom prvku, kdy záření donutí elektron obíhající kolem jádra přijmout energii a tím vystoupat na vyšší oběžnou dráhu. Další příjem energie a rovnováha sil v atomu přinutí elektron vrátit se na svoji původní oběžnou dráhu a vyzářit přijatou energii do prostoru. Vzniklé záření má jednu přesně definovanou vlnovou délku a příslušné částice se ve svazku pohybují jedním směrem a jsou v jeho průřezu buď stejnosměrné, nebo velmi pravidelně rozděleny. [20]



Obr. 4 Schéma principu laseru [9]

Podle aktivního prostředí rozlišujeme tři základní typy laseru:

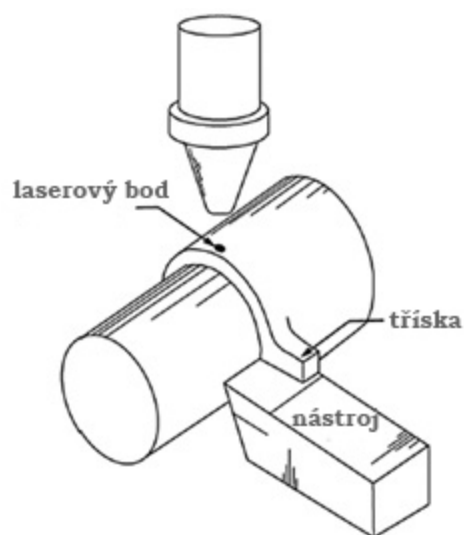
- Plynové
- Pevnolátkové
- Polovodičové (laserové diody) [9]

Pro předeřev před obráběním je možné obecně použít všech typů průmyslových laserů. Výhodou pevnolátkových včetně vláknových a diodových laserů oproti plynovým, konkrétně CO₂ je snadný přenos vyzařovaného výkonu od vlastního laseru až na místo aplikace optickým vodičem. [26]

Laserové zpracování materiálu je jeden z nově vznikajících oblastí v pokročilé výrobě. Mezi výhody, které dělají lasery v průmyslové výrobě stále atraktivnější, jsou soudružnost, škála využití, velmi vysoká intenzita výkonu a snadného automatizování kontroly při procesu snímání. Nabízí také vysokou rychlost zpracování a kvality v mnoha procesech. Kapitálové investice můžou být vyšší, ale toto je vyváženo výhodami získanými v mnoha aplikacích. [26]

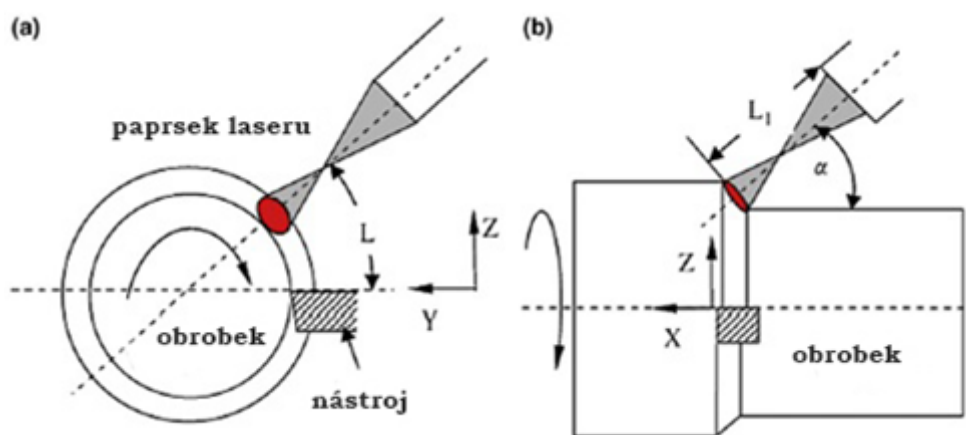
1.3.2 Předeřev laserem při soustružení

Použití vytápění laserového paprsku v soustružení je relativně jednoduché vzhledem k stacionární povaze řezného nástroje. [23] Proměnná laserového paprsku je jeho poloha, místo, velikost, úhel dopadu a vzdálenost paprsku laseru od nástroje. Ve většině případů místního ohřevu laserem při soustružení je paprsek laseru zaveden kolmo k obrobku, jak je znázorněno na (Obr. 5). [3]. Toto uspořádání je vhodné v některých případech, protože obrábění je snadné a laserové zařízení nepřichází ke styku v blízkosti oblasti obrábění, ale vytápěcí účinnost obrobeného povrchu je v tomto případě špatná a současně je nedostatečná hloubka řezu. [24]



Obr. 5 Nastavení paprsku laseru kolmo na osu obrobku [28]

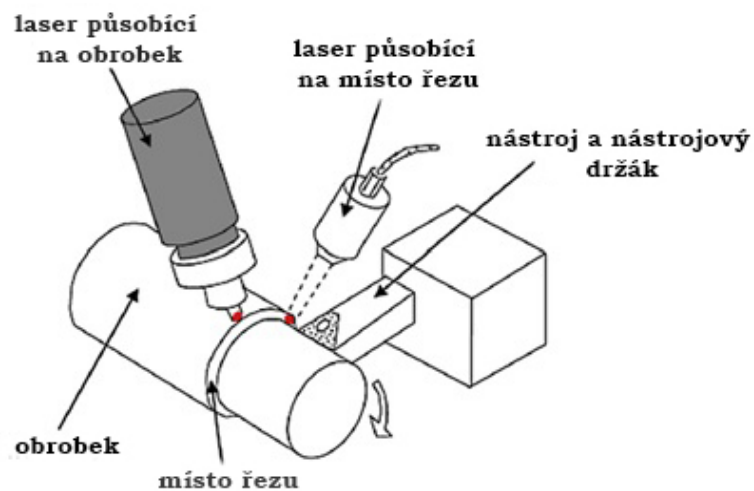
Alternativou může být působení paprsku laseru kolmo na řeznou hranu (Obr. 6). Je nutné, aby velikost bodu laseru pokryla zkosený povrch, necht' se dosáhne jednotného snížení řezných sil v osách X, Y a Z. [24]. Nicméně i částečné pokrytí zkoseného povrchu laserovým paprskem v blízkosti obráběného povrchu může výrazně snížit opotřebení nástroje.[1]



Obr. 6 Relativní poloha laserového paprsku, obrobku a řezného nástroje při soustružení: a) nárýs, b) bokorys [24]

Další vyzkoušenou možností je použití dvou laserových přístrojů (Obr. 7). Ohřátí dochází jak na neopracované části, tak i na řezné hraně obrobku. Výsledkem je vytvoření žádoucí teploty skrz hloubku řezu v obrobku, což zvyšuje životnost nástroje. Důležitá je vzdálenost paprsku laseru od řezného nástroje společně řeznou rychlostí, které určují časový interval mezi ohřátím laserem a obráběcí operací a tím je teplota rozložena v zóně

řezu. Snížení řezné síly může být dosaženo snížením vzdálenosti paprsku laseru od řezného nástroje. [22] Nicméně pokud je paprsek laseru příliš blízko břitu nástroje, mohou nastat problémy při obrábění. [29]

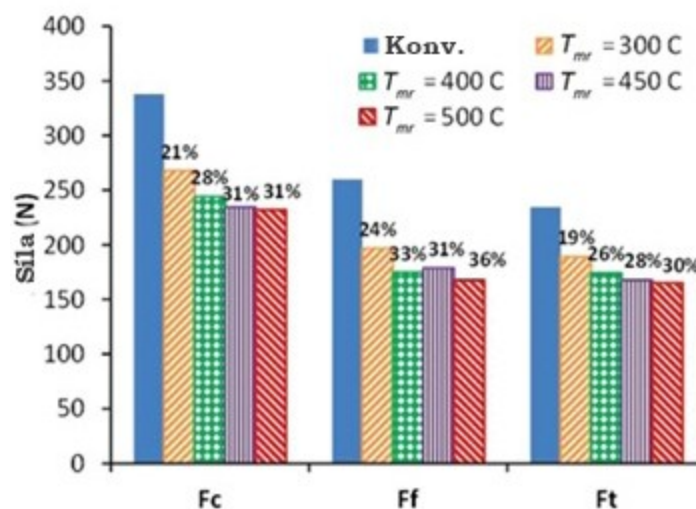


Obr. 7 Předehřev pomocí dvou laserů při soustružení [12]

Použití místního ohřevu laserem při soustružení slitiny chromu

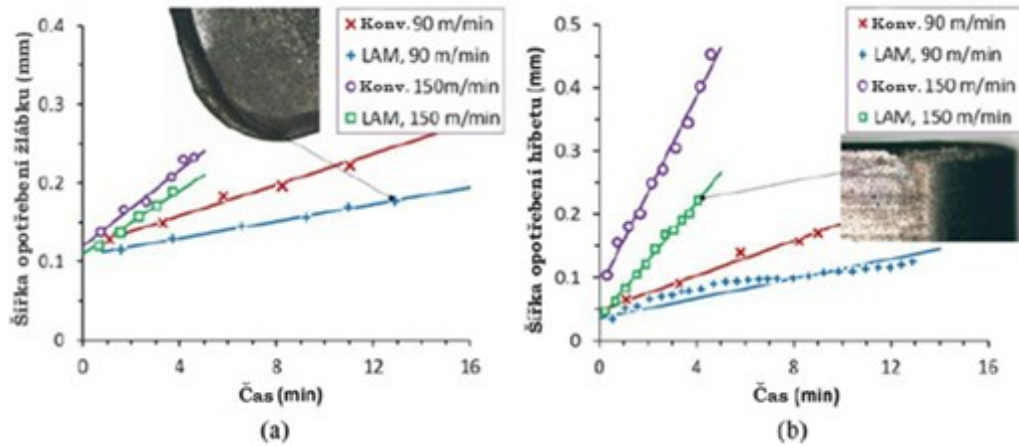
Centrum pro laserovou výrobu na univerzitě Purdue prováděl experiment použitím předehřevu laserem při soustružení slitiny chromu 27Cr. Při pokusech byl použit jeden CO₂ laser s maximálním výkonem 1200 W. Nástroj byl osazen břitovými destičkami z materiálu CBN. V průběhu experimentu se hloubka třísky $a_p=0,76$ mm a posuv $f=0,1$ mm nemění. [6]

Zkoumal se vliv teploty paprsku laseru při předehřevu na velikost řezných sil vzniklých při obrábění (Obr. 8). [6]



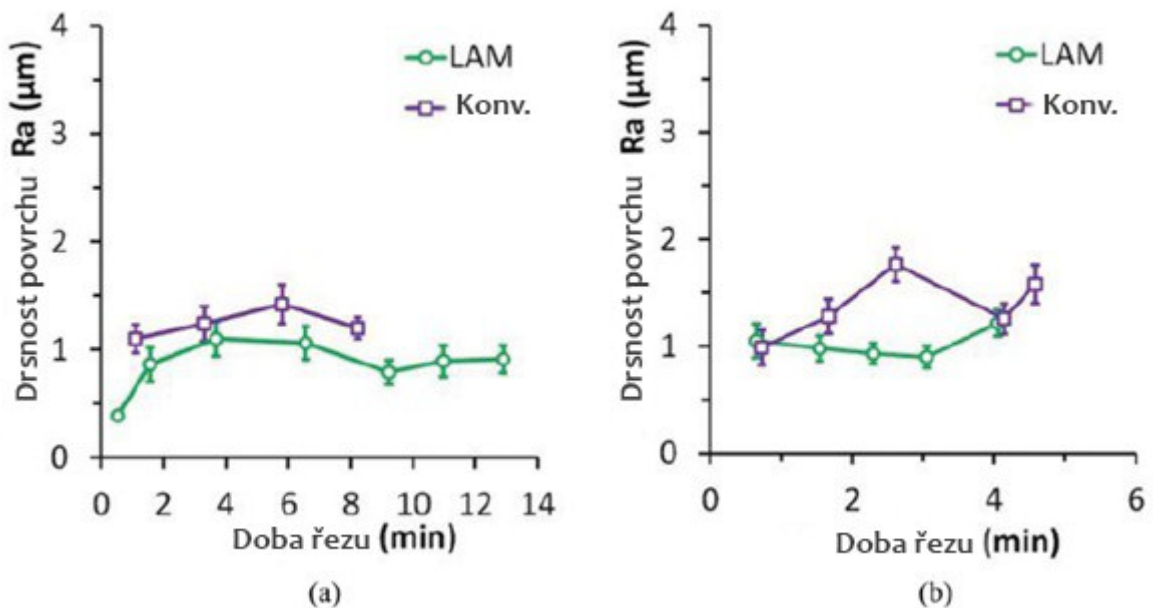
Obr. 8 Vliv teploty na řezné síly při předehřevu laserem [6]

Testy na opotřebení nástroje odhalily zdvojnásobení životnosti nástroje při různých řezných rychlostech (Obr. 9). [6]

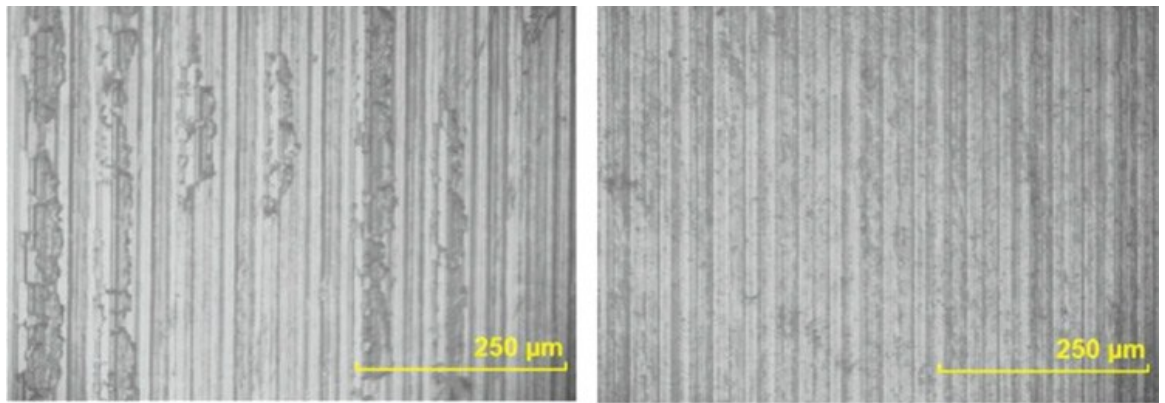


Obr. 9 Opotřebení nástroje: a) opotřebení ve tvaru žlábků, b) opotřebení hřbetu [6]

Obrobený povrch trvale vykazoval drsnost $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ (Obr. 10) Drsnost povrchu u konvenčního obrábění se pohybovala přes $1 \mu\text{m}$ a mnoho malých kovových částic bylo nalepeno na obrobené ploše (Obr. 11). [6]



Obr. 10 Závislost drsnosti povrchu na době obrábění: a) při řezné rychlosti $v_c = 90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, b) při řezné rychlosti $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [6]

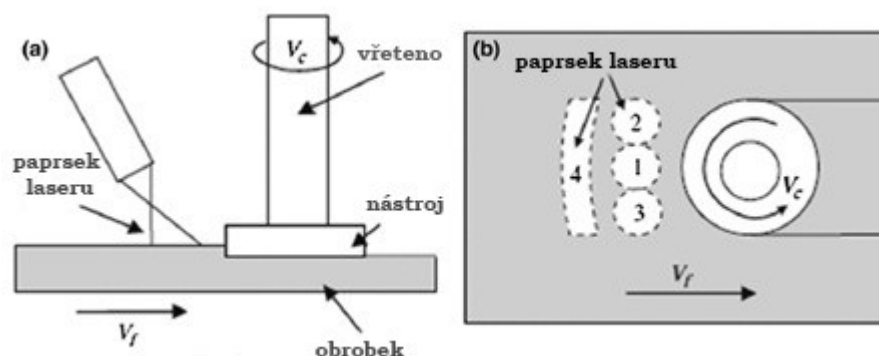


Obr. 11 Obrobený povrch: a) bez použití předehřevu, b) s předehřevem laseru [6]

1.3.3 Předehřev laserem při frézování

Obecně platí, že paprsek může být oddělen od nástroje nebo veden vřetenem nástroje. Nejjednodušším způsobem frézování povrchu je nastavit paprsek před nástroj ve směru obrábění (Obr. 12).

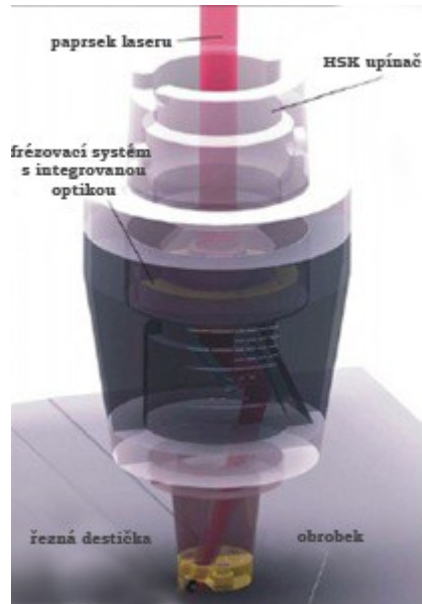
Omezená velikost zóny ohřevu laserem neumožní pokrýt celou šířku řezu, ale jen část. Mohla by to být střední oblast řezu (paprsek laseru 1) nebo vstupní bod nástroje (paprsek laseru 2), a také za použití dvou laserů vnější oblasti (paprsek laseru 2 a 3). [29] Pro pokrytí celé řezné zóny (paprsek laseru 4) je zapotřebí vysokovýkonné, vícepaprskové nebo lineární lasery. Dynamický vliv na řezný nástroj, který je přerušovaně v záběru má za následek zatížení ve vstupních a výstupních bodech, tím vznikají vibrace a lom na nástroji. V důsledku toho laserový paprsek ohřívá vstupní bod (paprsek laseru 2), což je významnější pro životnost nástroje a snížení chvění. [25]



Obr. 12 Místní ohřev laserem při frézování [24]

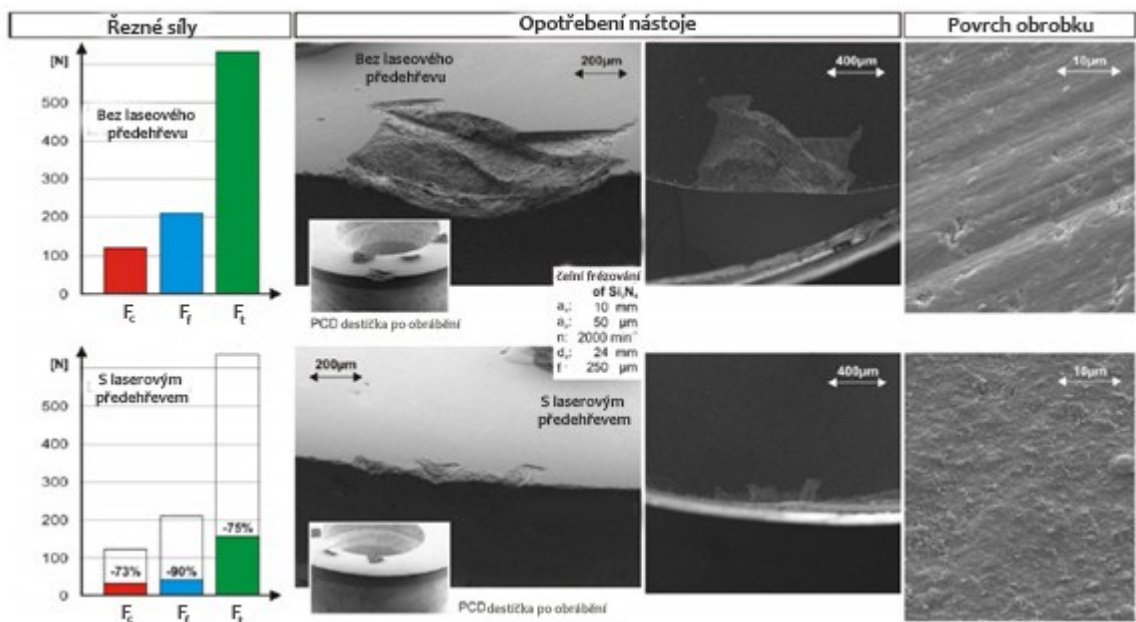
Nová koncepce je založena na absorpci energie vlastností konkrétního materiálu, které umožňují definované vytápění a lokální měknutí diskrétního objemu materiálu (Obr. 9). Na rozdíl od metody na (Obr. 8) není laserový bod umístěn periferně

do řezné zóny, ale přímo promítán na řezné plochy. Příslušný objem třísky vyvolává plastické deformace materiálu před řezáním. V důsledku toho je vstup tepelné energie do oblasti materiálu snížen na minimum. Podle specifické plastické deformace třísky materiálu laserové projekce musí být synchronizovány s rotujícím ostřím, aby se zabránilo ohřevu již obrobeneho materiálu. [2]



Obr. 13 Zavedení laseru vřetenem frézy [2]

Fraunhofer Institut IPT vyzkoušel nový systém frézování pomocí přehřevu zabudovaným laserem na materiálu S_3Ni_4 s paprskem laseru o výkonu 2 kW, materiál vyměnitelné břitové destičky frézy je PCD. Řezné síly byly sníženy o 73%- 90%, kromě snížení řezných sil bylo opotřebenění břitových destiček také velmi sníženo. Konvenční frézování bez laserové pomoci produkuje velké odlupování na hraně nástroje, oproti laserovému přehřevu, kde je opotřebenění minimální. [2]



Obr. 14 Experiment nové metody frézování při předehřevu laserem [2]

Institut Fraunhofer IPT společně s firmou Rineck dosáhlo ocenění MMA Award na veletrhu 2013 v Hannoveru za provedení frézovacího nástroje s integrovaným optickým modulem. [26]

2 Návrh technologie místního ohřevu laserem pro soustružení

2.1 Představení firmy VÚHŽ, a. s.

Je firma sídlící v Dobré u Frýdku- Místku, která je zaměřena především na malosériovou výrobu v oblastech hutní výroby, měřicí výroby, regulační a automatizační techniky pro průmysl.

Hlavní výrobní program tvoří:

- **Snímače pro kontilití**, které slouží k měření hladiny oceli v krystalizátoru, pracují na principu vířivých proudů. Toto měření je vhodné pro zařízení pro plynulé lití oceli odlévající běžné i tenké bramy, jakož i bloky nebo předlitky pro profily H.
- **Speciální válcované profily** z konstrukčních, nástrojových a nerezových ocelí, neželezných kovů v malých výrobních sériích 10-100 t.
- **Odlitky metodou odstředivého lití** s horizontální a vertikální osou rotace. Princip metody spočívá v nalití tekutého kovu do rotující kovové formy. Touto metodou můžeme vyrobit odlitky tvaru dutého válce nebo mezikruží.
- **Výroba pomocí třískového obrábění** nástrojů, forem, přesných strojních dílů a jednoúčelových strojů
- **Povlakování** širokého sortimentu nástrojů a forem pro zpracování neželezných kovů, zpracování plastů a pryže, tváření oceli, obrábění kovů a povlakování strojních dílů, pomocí technologií PVD, CVD a PACVD.
- **Laboratoře a zkušebny** pro provádění rutinních a speciálních zkoušek, výzkumné a vývojové činnosti a měření radioaktivity a provádění služeb významných z hlediska radiační ochrany. [27]

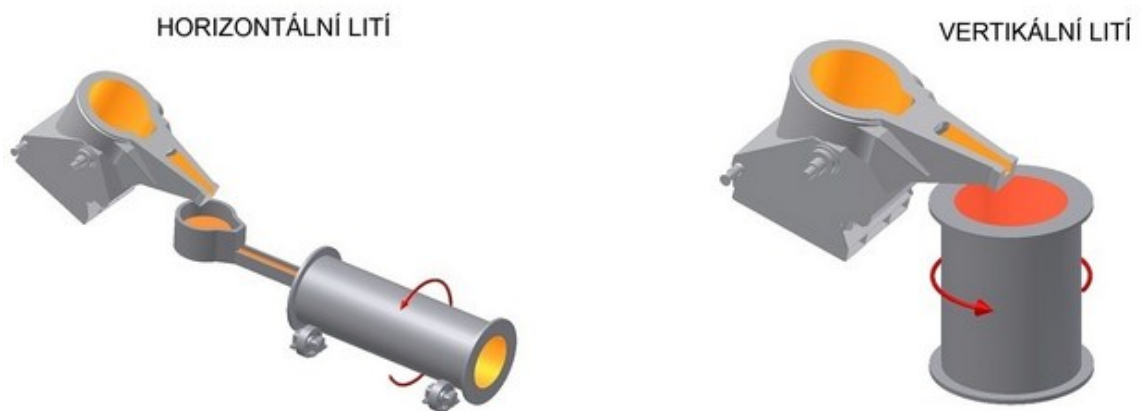
2.2 Popis stávající technologie výroby

Stávající technologie obrábění těžceobrobitelných materiálů je prováděno na soustružnickém centru DOOSAN LYNX 200 LSYC. Nevýhoda opracování tvrdých materiálů, jak u soustružení, tak i frézování je produkování velkých řezných sil, které vedou k rychlému opotřebení břitu řezného nástroje. Zabránění velkého opotřebení se řeší snížením řezné rychlosti, což vede k prodloužení strojního času. V některých případech se neobejdeme bez použití chladicí kapaliny. Mimo to je kladen velký důraz na tuhost stroje a upnutí nástroje a obrobku.

2.2.1 Vyráběná součást

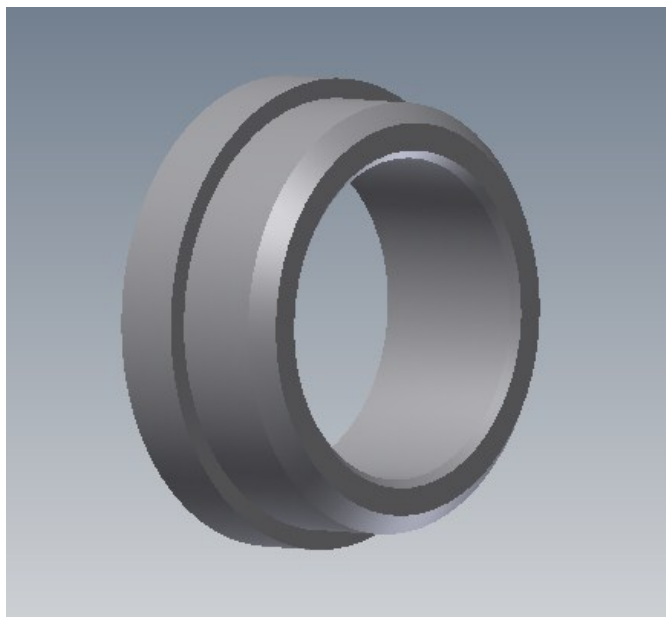
Vyráběnou součástí bude sedlo ventilu, které je součástí spalovacích motorů o rozměrech $\phi 120 \text{ mm} - 44 \text{ mm}$. Součást bude vyrobena z odlitku pomocí technologie odstředivého lití.

Principem odstředivého lití je vlévání roztaveného kovu do rychle se otáčející formy. Odstředivou silou je kov přitlačován ke stěně formy, kde tuhne. Odlitky jsou vyráběny metodou horizontálního nebo vertikálního lití.



Obr. 15 Odstředivé lití [27]

Materiál pro vyráběnou součást je CrNi 58/41. Počet vyrobených součástí z jednoho odlitku je 23.



Obr. 16 Sedlo ventilu

2.2.2 Charakteristika obráběného materiálu CrNi 58/41

Jedná se o vysoce legovaný materiál z chromniklové oceli, který můžeme zařadit mezi korozivzdorné materiály. Uplatnění nacházejí v chemickém, potravinářském, stavebním a především v automobilovém průmyslu a to hlavně kvůli zvýšené odolnosti proti chemické a elektrochemické korozi. Použití závisí na chemickém složení a tepelném zpracování, vždy se však jedná o slitinu železa s doprovodnými prvky. [24]

Nejvyšší výskyt chromniklových ocelí je v automobilovém průmyslu, kde jsou součástí spalovacích motorů jako sedla ventilů ve spalovacím prostoru zážehových nebo vznětových agregátů. Ventilové sedlo je umístěné v hlavě válců jako dosedová plocha funkční části sacího nebo výfukového ventilu. Jedná se o velmi namáhanou součást spalovacího motoru, proto musí být zhotovena z odpovídajícího materiálu a vhodně použitého tepelného zpracování. Plocha vzniklá mezi ventilem a sedlem je jedna z nejvíce namáhaných oblastí spalovacího motoru. Namáhání je ve formě vysoké spalovací teplotě a cyklicky se opakující dosedání ventilu do sedla. [27]

Chromniklové oceli dělíme do skupin:

Nestabilizované austenitické oceli

Při postupném zvyšování obsahu niklu se u oceli s obsahem 18% Cr, zužuje oblast delta feritu a rozšiřuje se oblast austenitu. Při 8% Ni je již oblast delta feritu uzavřena a pod křivkou solidu se vyskytuje oblast homogenního austenitu, ze kterého se při pomalém ochlazování vylučují karbidy $M_{23}C_6$. Pokud je obsah C nižší než 0,15%, lze precipitaci potlačit rychlým ochlazením. Při vyšším obsahu C se vylučování nezabrání ani při ochlazení do vody. Vhodnou kombinací Cr, C a Ni lze získat po tepelném zpracování ocel s měkkou, houževnatou, nemagnetickou austenitickou maticí. [4]

Stabilizované austenitické oceli

Pro zabránění vylučování karbidů $M_{23}C_6$ se tyto oceli legují titanem nebo niobem, které tvoří s uhlíkem stabilnější karbidy TiC a NbC. Maximální obsah titanu bývá 0,80%, jinak by se při vyšším obsahu příliš zvyšoval obsah delta feritu. Minimální obsah titanu se určuje podle obsahu uhlíku. Legováním těchto stabilizovaných ocelí titanem byla snaha, jak úplně zabránit mezikrystalické korozi. Ve stabilizovaných ocelích se objevuje zvláštní

druh koroze nazývaný koroze nožová. Tento jev souvisí s rozpouštěním karbonitridů Ti (C, N) při vysoké teplotě a s jejich zpětným vylučováním při ochlazování. [4]

Chromniklové austenitické oceli s přísadou molybdenu

Molybden obsažený v chromniklových ocelích se hromadí v ochranné povrchové vrstvičce a tím zvyšuje odolnost ocelí proti korozi v aktivním i pasivním stavu. Část molybdenu je rozpouštěna v matici, část tvoří karbid $(Fe,Cr,Mo)_2_3C_6$, ve kterém se může rozpustit 3,5 až 10% Mo. Protože je molybden feritotvorný prvek, musí mít tyto oceli vyšší obsah niklu, aby se netvořil delta ferit. [4]

Chromniklové austenitické oceli s přísadou molybdenu a mědi

Protože měď jako elektrochemicky ušlechtilý prvek zvyšuje pasivační schopnost, podporuje tak účinek molybdenu, zejména v neoxidačních kyselinách. Matici tvoří po rozpouštěcím žíhání austenit, ve kterém jsou vyloučeny komplexní karbidy chrómu. Obsah mědi v těchto ocelích bývá 3 %, protože tato hodnota odpovídá maximální rozpustnosti mědi v austenitu. [4]

Tab. 1 Chemické složení materiálu CrNi 58/41

	Cr[%]	Ni[%]	Si[%]	Fe[%]	C[%]	Mn[%]
max.	55	zbytek			0,05	
min.	58		0,6	1	0,1	0,5

Tvrдость materiálu 420- 500 HV30

2.2.3 Stroj stávající technologie výroby

Soustružnické centrum DOOSAN LYNX 220 LSYC se skloněným ložem, určené pro obrábění malých a středních velikostí obrobků s velkou přesností a produktivitou, rychlou akcelerací, která je umožněna za pomoci šesti řízených os. Je vhodný pro obrábění v sériové výrobě hřídelí a přírub. Stroj je osazen dvěma vřeteny, s maximálními otáčkami $n = 6000 \text{ min}^{-1}$. Soustruh může být osazen až 24 nástroji. Řídicí systém je od firmy DOOSAN.

Tab. 2 Parametry stroje DOOSAN LYNX 220 LSYC

Parametry	Hodnota	Jednotky
Počet řízených os (X, Y, Z)	6	-
Oběžný průměr nad ložem	600	mm
Oběžný průměr přes sedlo	400	mm
Maximální průměr soustružení	300	mm
Maximální délka soustružení	510	mm
Pojezd v ose X	205	mm
Pojezd v ose Z	560	mm
Pojezd v ose Y	105(±52,5)	mm
Pojezd v ose C ₁ , C ₂	200	mm
Maximální otáčky hlavního vřetena	4500	min ⁻¹
Maximální otáčky pomocného vřetena	6000	min ⁻¹
Průchozí otvor vřetena	76	mm
Počet nástrojů	12(24)	-
Velikost nástrojů	20x20	mm
Napájení	33,7	kVA
Výkon motoru hlavního vřetena	15	kW
Výkon motoru pomocného vřetena	5,5	kW
Výška stroje	1920	mm
Šířka stroje	1710	mm
Délka stroje	2880	mm
Váha stroje	4000	kg



Obr. 17 Horizontální soustruh DOOSAN LYNX 220 LSYC [14]

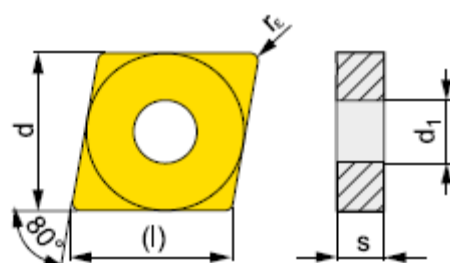
2.2.4 Nástroje stávající technologie výroby

Všechny břitové destičky a nožové držáky jsou zvoleny z katalogu firmy Pramet.

VBD CNMG- 120412E- NM

Vyměnitelná destička ve tvaru kosočtverce s oboustranným utvařečem NM, který je vhodný od dokončovacího soustružení až po hrubování. Prioritně určený pro obrábění korozivzdorných materiálů. Materiál destičky T7335 určený především pro opracování skupiny materiálu M, střední řeznou rychlost. Destička bude použita jak pro vnější, tak i pro vnitřní soustružení.

CNMG



Obr. 18 Vyměnitelná břitová destička CNMG [7]

Tab. 3 Rozměry VBD CNMG

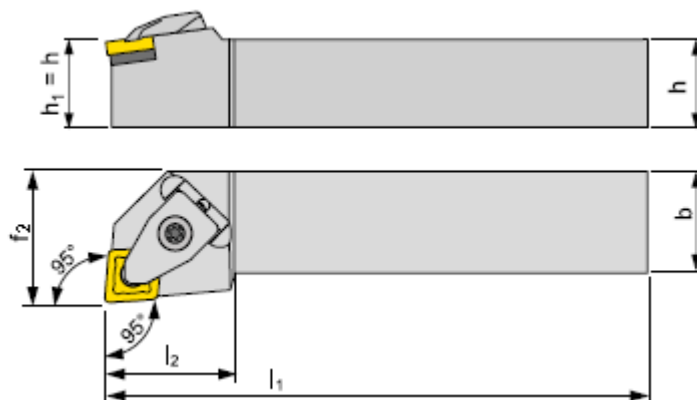
l [mm]	d [mm]	d_1 [mm]	s [mm]
12,90	12,70	5,16	4,76

Parametry VBD

- Poloměr špičky: $r_\varepsilon = 1,2$ mm
- Posuv na otáčku: $f_{\min} = 0,2$ min^{-1} $f_{\max} = 0,4$ min^{-1}
- Hloubka řezu: $a_{p \min} = 1,2$ mm $a_{p \max} = 3,5$ mm

Nožový držák DCLNR/L 2020 K 12

Nožový držák je určený pro vnější soustružení podélných a čelních ploch. Úhel čela $\gamma_o = -6^\circ$, úhel sklonu ostří $\lambda_s = -6^\circ$.



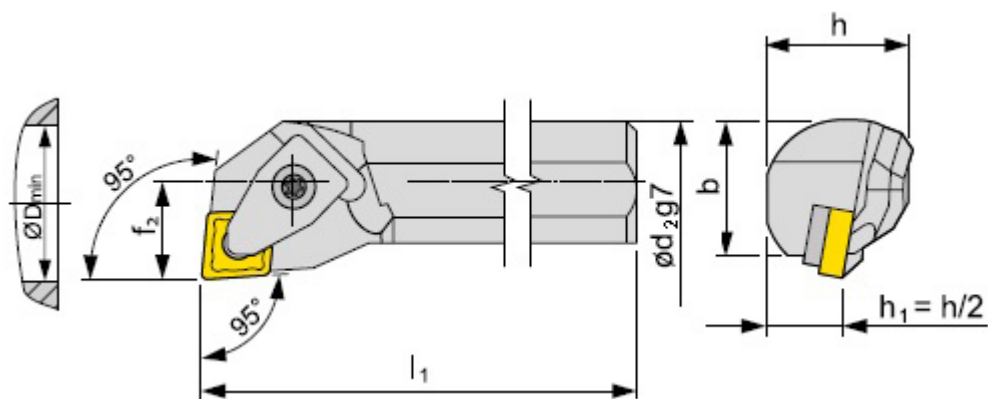
Obr. 19 Nožový držák DCLNR/L 2020 K12 [7]

Tab. 4 Rozměry nožového držáku

$h=h_1$ [mm]	b [mm]	f_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]
20	20	25	125	30

Nožový držák A25T DCLNR/L 12

Nožový držák je určený pro vnitřní soustružení. Úhel čela $\gamma_o = -6^\circ$, úhel sklonu ostří $\lambda_s = -11^\circ$.



Obr. 20 Nožový držák A25T DCLNR/L 12 [7]

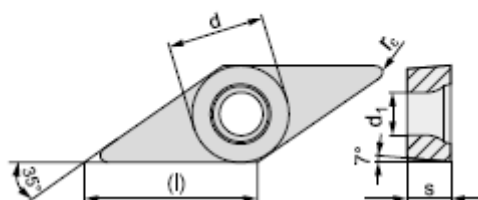
Tab. 5 Rozměry nožového držáku

d_2 [mm]	f_2 [mm]	l_1 [mm]	h [mm]	b [mm]	D_{min} [mm]
25	17	300	23	23	32

VBD VCGT 130302E- SF2

Vyměnitelná břitová destička ve tvaru kosočtverce s utvařečem SF2, který má vysoce pozitivní geometrii s nízkým řezným odporem, určený pro jemné a dokončovací soustružení. Hlavní oblast využití jsou skupiny materiálu M, N a S. Materiál destičky je T8310, nejotěruvzdornější člen řady T8300. Především pro skupiny materiálu M a S. Vhodný pro dokončovací a polo dokončovací operace. VBD bude použita pro vnější i vnitřní soustružení.

VCGT



Obr. 21 Vyměnitelná břitová destička VCGT 130302E- SF2 [7]

Tab. 6 Rozměry VBD VCGT 130302E- SF2

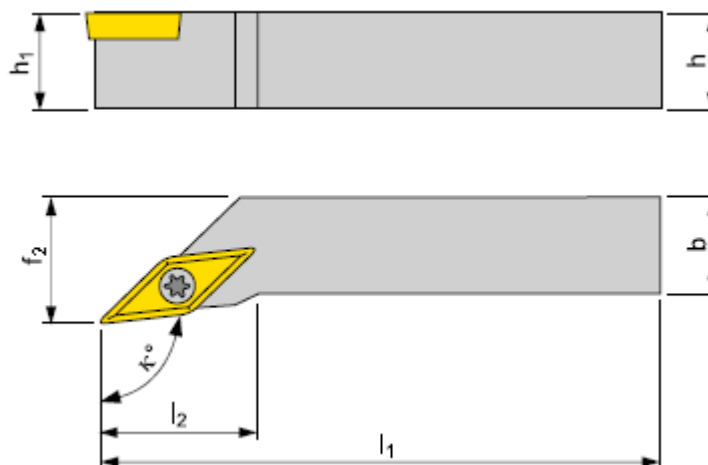
(l) [mm]	d [mm]	d ₁ [mm]	s [mm]
13,8	7,940	3,40	3,18

Parametry VBD VCGT 130302E- SF2

- Poloměr špičky: $r_\varepsilon = 0,2$ mm
- Posuv na otáčku: $f_{\min} = 0,02 \text{ min}^{-1}$ $f_{\max} = 0,10 \text{ min}^{-1}$
- Hloubka řezu: $a_{p \min} = 0,2$ mm $a_{p \max} = 2,5$ mm

Nožový držák SVXCR/L 2020 K 13

Nožový držák je určený pro vnější soustružení podélných a čelních ploch. Úhel čela $\gamma_o = 0^\circ$, úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0^\circ$.



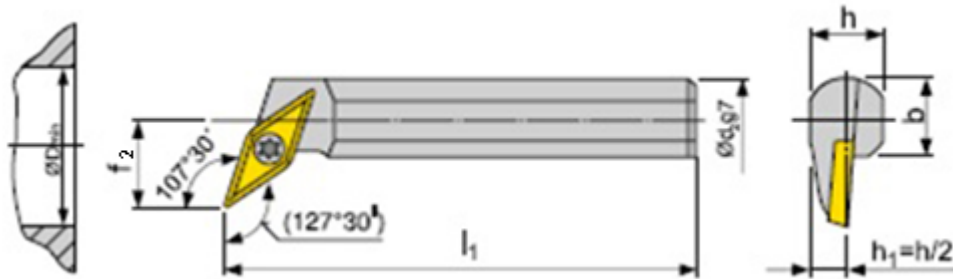
Obr. 22 Nožový držák SVXCR/L 2020 K 13 [7]

Tab. 7 Rozměry nožového držáku

h=h ₁ [mm]	b [mm]	f ₂ [mm]	l ₁ [mm]	l ₂ [mm]	κ [°]
20	20	25	125	12	113

Nožový držák A20S-SVQCR/L 13

Nožový držák je určený pro vnitřní soustružení. Úhel čela $\gamma_o = -4^\circ$, úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0^\circ$.



Obr. 23 Nožový držák A20S-SVQCR/L 13 [7]

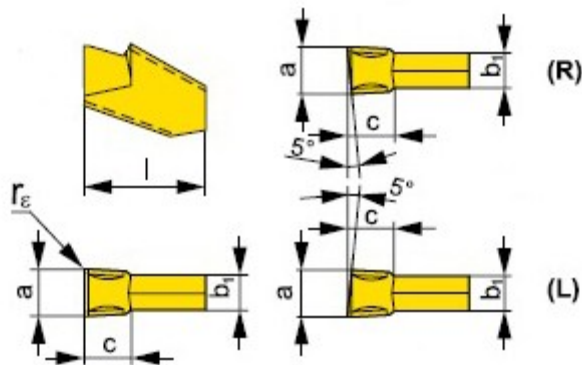
Tab. 7 Rozměry nožového držáku

d [mm]	f_2 [mm]	l_1 [mm]	h [mm]	b [mm]	D_{min} [mm]
20	13	250	18	18,5	25

VBD LFUX 030802TN

Vyměnitelná břitová destička určená k zapichování a upichování. Materiál destičky je T8330 nejuniverzálnější ve skupině T8300. Určená především pro supiny materiálů P, M, K, střední řezné rychlosti. Břitová destička bude použita pro upíchnutí osoustružené součásti.

LFUX



Obr. 21 Vyměnitelná břitová destička LFUX 030802TN [7]

Tab. 6 Rozměry břitové destičky

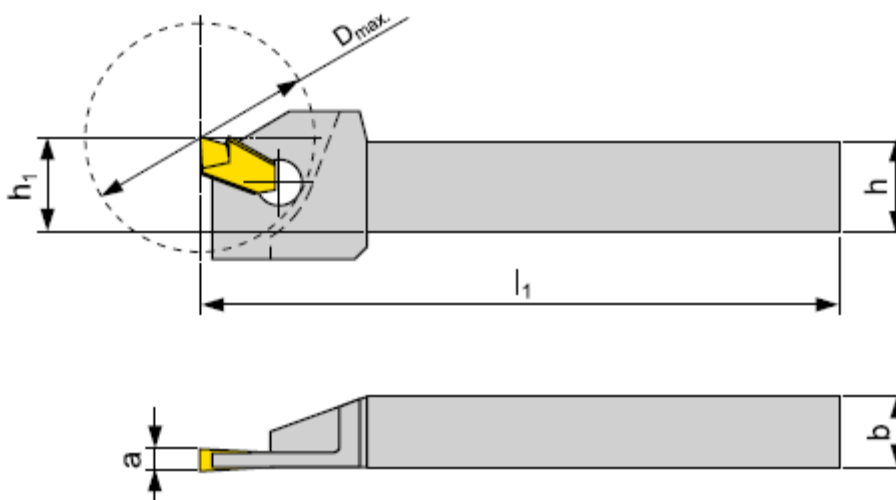
a [mm]	b ₁ [mm]	c [mm]	l [mm]
3,0	2,51	4,90	11,50

Parametry břitové destičky

- Poloměr špičky: $r_\varepsilon = 0,2$ mm
- Posuv na otáčku: $f_{\min} = 0,10$ min⁻¹ $f_{\max} = 0,15$ min⁻¹

Nožový držák XLCFR/L 2016 K 03

Nožový držák určený pro vnější soustružení konkrétně pro zapichování a upichování.



Obr. 22 Nožový držák XLCFR/L 2016 K 03 [7]

Tab. 7 Rozměry nožového držáku

h=h ₁ [mm]	b [mm]	l ₁ [mm]	a [mm]	D _{max} [mm]
20	16	130	3	50

2.2.5 Řezné podmínky pro stávající technologii výroby

Při hrubování mezi průměry $\varnothing 110$ mm a $\varnothing 120$ mm bude hloubka řezu $a_p = 2,5$ mm.

Řezné podmínky pro obrábění vnějších ploch

Hrubování

- Řezná rychlost: $v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,3 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 1,2 \text{ mm}$

Na čisto

- Řezná rychlost: $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,1 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 0,3 \text{ mm}$

Řezné podmínky pro obrábění vnitřního otvoru

Hrubování

- Řezná rychlost: $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,3 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 1,2 \text{ mm}$

Na čisto

- Řezná rychlost: $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,1 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 0,3 \text{ mm}$

Řezné podmínky pro upichování

- Řezná rychlost: $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,1 \text{ mm}$

2.2.6 Technologický postup stávající technologie výroby

Sedlo ventilu bude opracováno z odlitku, který je vyroben technologií odstředivého lití při teplotě $1570 \text{ }^\circ\text{C}$ - $1560 \text{ }^\circ\text{C}$. Před odlitím se otáčky liciho stroje nastaví na hodnotu $n = 1460 \text{ min}^{-1}$. Odlitek tuhne v rotující kokile a po vystripování chladne volně na vzduchu.

Teplné zpracování je ve formě žihání:

- ohřev $70 \text{ }^\circ\text{C}$ /hod
- výdrž na teplotě $675 \text{ }^\circ\text{C}$ pod dobu 14 hodin
- ochlazování na vzduchu

Surový odlitek nesmí mít trhliny, praskliny a povrch bez rýh a defektů. Tvrdost se bude ověřovat na vyžíhaném odlitku a pohybuje se v rozmezí 420- 475 HV 30. Měření se provede na obroušené a vyleštěné ploše.

Tab. 8 Opracování odlitku u stávající technologie

Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Nástroj (VBD)	Čas operace [min]
1	DOOSAN LYNX 220 LSYC	zarovnání čela s přídávkem na obrábění 0,3 mm	DCLNR/L 2020 K12 VBD CNMG-120412E- NM	0,39
2	DOOSAN LYNX 220 LSYC	hrubovat na průměr $\phi 120,3$ mm na délce 47,3 mm	DCLNR/L 2020 K12 VBD CNMG-120412E- NM	0.89
3	DOOSAN LYNX 220 LSYC	Hrubovat na průměr $\phi 110,3$ mm na délce 27,3 mm	DCLNR/L 2020 K12 VBD CNMG-120412E- NM	2,1
4	DOOSAN LYNX 220 LSYC	hrubovat vnitřní otvor $\phi 82,3$ mm na délce 47,3 mm	A25T DCLNR/L 12 VBD CNMG-120412E- NM	0.89
5	DOOSAN LYNX 220 LSYC	čelo na čisto	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E-SF2	0,79
6	DOOSAN LYNX 220 LSYC	srazit hranu 5x45°	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E-SF2	0,19
7	DOOSAN LYNX 220 LSYC	na čisto průměr $\phi 110$ mm na délce 27 mm	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E-SF2	1,06

Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Nástroj (VBD)	Čas operace [min]
8	DOOSAN LYNX 220 LSYC	Soustružit odsazení	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E-SF2	0,19
9	DOOSAN LYNX 220 LSYC	na čisto průměr $\phi 120$ mm na délce 20 mm	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E-SF2	0,76
10	DOOSAN LYNX 220 LSYC	na čisto otvor $\phi 82$ mm na délce 47 mm	A20S-SVQCR/L 13 VBD VCGT 130302E-SF2	1,81
11	DOOSAN LYNX 220 LSYC	srazit hranu 2x45°	A20S-SVQCR/L 13 VBD VCGT 130302E-SF2	0,08
12	DOOSAN LYNX 220 LSYC	upíchnout součást	XLCFR/L 2016 K 03 VBD LFUX 030802TN	1,62

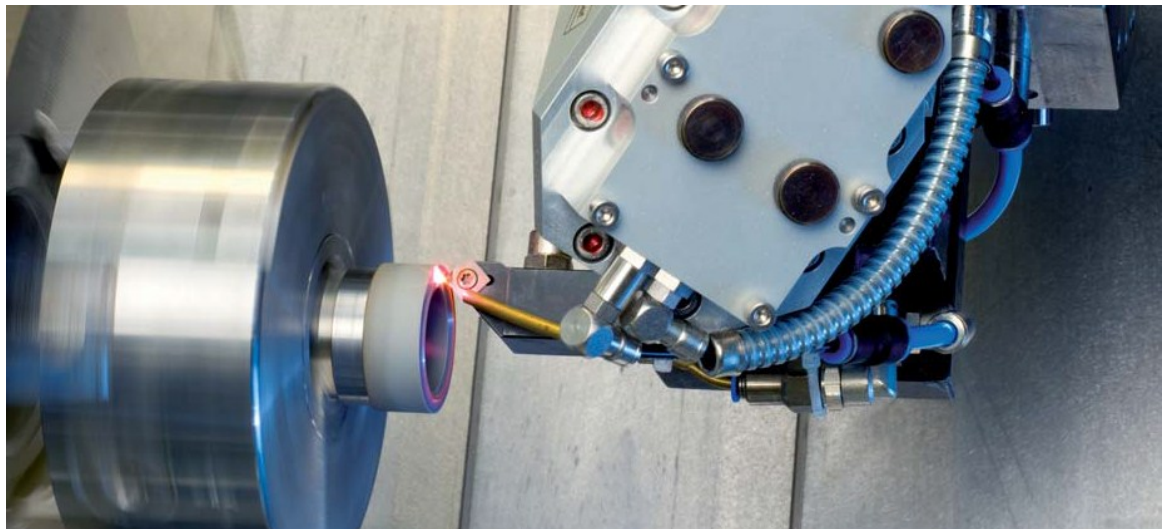
2.3 Návrh technologie s předeřevem

Nová technologie výroby bude spočívat ve využití předeřevu při obrábění, konkrétně použití laseru. Laser bude zabudován v hybridním soustruhu RNC 400 Laserturn vyvinutý institutem Fraunhofer IPT a výrobcem obráběcích strojů firmou Monforts Werkzeugmaschinen GmbH. Nová technologie je výhodná především pro

obrábění těžceobrobitelných materiálů. Na jedno upnutí můžeme kalit povrch a navařovat součást.

Výhody nové technologie místního ohřevu laserem oproti stávající technologii:

- výrazně snižuje mechanické vlastnosti a umožňuje obrábět všechny těžceobrobitelné materiály s vyššími řeznými parametry
- nižší řezné síly při obrábění
- vyšší životnost nástroje
- obrábění bez použití chladicích kapalin a emulzí
- zpevnění povrchu součásti
- zlepšení drsnosti povrchu Ra až $0,2 \mu\text{m}$



Obr. 23 Integrovaný laser na revolverové hlavě [18]

Nová technologie předehřevu se od konvenčního obrábění bude lišit, také v technologickém postupu. Místní ohřev laserem výrazně zlepšuje drsnost povrchu, proto budou operace na čisto odstraněny a bude se pouze hrubovat na požadovanou drsnost.

2.3.1 Stroj nové technologie s předehřevem

Hybridní soustruh RNC 400 LaserTurn kombinuje klasický soustruh s laserovým zpracováním. Stroj má integrovaný laser na revolverové hlavě, paprsek laseru je veden přes optické přístroje s VDI- 40 rozhraním zakrytým proti styku s třískou, chladicí kapalinou a mazivem, takže je určený pro různé podmínky obrábění. Laserový systém je plně integrován do obráběcího stroje (Obr. 23). Laser je řízen pouze přes NC

systém a obsluha nemusí být odborníkem na laserové technologie. Možné bude také integrovat technologii do stávajících soustruhů. [18]

Využití laseru při předehřevu otevírá nové možnosti při opracování ploch při soustružení technické keramiky, například nitrid křemíku (Si_3Ni_4), oxid zirkoničitý (ZrO_2). Jejich opracování se provádělo pomocí technologie broušení, které je nákladné a ne příliš efektivní. [18]

Laserový paprsek změkčuje materiál, tak aby mohl být obráběn řezným nástrojem s co nejmenším opotřebením oproti klasickému obrábění. Drsnost povrchu dosahuje podobných hodnot jako u broušení, tedy $R_a = 0,2 \mu\text{m}$. Povrchová vrstva u metod s použitím předehřevu vykazuje lepší pevnostní parametry. [18]

Pomocí laseru můžeme provádět povrchové kalení:

- materiálů s minimálním obsahem uhlíku 0,3 %.
- maximální hloubka kalení je 1,5 mm
- maximální tloušťka součásti 35 mm
- povrchová rychlost $0,15 - 2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Kalení můžeme využít například pro převodové a hnací hřídele, ložisek a ventilová sedla, kdy můžeme obrábět a kalit na jedno upnutí. [18]



Obr. 24 Laserové kalení boku zubu [18]

Možnost využít laseru k navařování součástí:

- další materiál ve formě drátu
- povlak housenky na vrstvu 0,2- 3 mm
- povrchová rychlost $0,15 - 2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Navarování se provádí za účelem zvýšení funkčních požadavků povrchu, například pro zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení, zvýšení korozivzdornosti a jako renovace a opravy opotřebovaných součástí. [18]



Obr. 25 Navařování za pomoci laseru [18]

Tab. 9 Parametry stroje RNC 400 Laserturn

Parametry	Hodnota	Jednotky
Soustružená délka	600	mm
Maximální oběžný průměr	420	mm
Maximální soustružený průměr	280	mm
Hlava vřetena	A6	-
Výkon motoru	18,5	kW
Rozsah otáček	44-4000	min ⁻¹



Obr. 26 Hybridní soustruh RNC 400 Laserturn [19]

2.3.2 Nástroje pro novou technologii výroby

Jak už bylo uvedeno dříve, při nové technologii obrábění nebudeme provádět operace hrubování, výjimkou je opracování mezi průměry $\varnothing 110$ mm a $\varnothing 120$ mm, kde pro rychlejší obrábění použijeme hrubovací nůž. Použití VBD a nožových držáků, tedy bude stejné, jako u stávající technologie výroby.

2.3.3 Návrh řezných podmínek pro novou technologii výroby

Řezné podmínky pro nově navrženou technologii předehřevu laserem jsou upraveny, tak aby bylo dosaženo požadované drsnosti při úběru celého přídatku na obrábění a s ohledem na trvanlivost nástroje. Teplota předehřevu při odebrání materiálu $T_{mr} = 500$ °C.

Řezné podmínky pro obrábění vnějších ploch

Hrubování mezi $\varnothing 110$ mm a $\varnothing 120$ mm

- Řezná rychlost: $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,3 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 3 \text{ mm}$

Na čisto

- Řezná rychlost: $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,08 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 1,5 \text{ mm}$

Řezné podmínky pro obrábění vnitřního otvoru

- Řezná rychlost: $v_c = 110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,08 \text{ mm}$
- Hloubka řezu: $a_p = 1,5 \text{ mm}$

Řezné podmínky pro upichování

- Řezná rychlost: $v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv na otáčku: $f = 0,15 \text{ mm}$

2.3.4 Technologický postup nové technologie výroby

Technologický postup navržené technologie výroby součásti sedla ventilu vychází z výhody předehřevu, kdy obrobený povrch vykazuje zlepšenou kvalitu. Hrubovací operace jsou tedy vynechány. Výjimku tvoří hrubovací cyklus mezi průměry $\varnothing 110 \text{ mm}$ a $\varnothing 120 \text{ mm}$, kde pro urychlení procesu bude použit nástroj pro hrubování a následně obroben na čisto. Pořadí operací bylo také upraveno z důvodu jejich návaznosti.

Výroba odlitku a jeho následné tepelné zpracování má na starost jiná divize Slévárna, čili nebude se měnit.

Tab. 10 Opracování odlitku u navržené technologie

Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Nástroj (VBD)
1	RNC 400 Laserturn	zarovnání čela	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E- SF2
2	RNC 400 Laserturn	hrubovat na průměr $\varnothing 111,5 \text{ mm}$ na délce $27,3 \text{ mm}$	DCLNR/L 2020 K12 VBD CNMG- 120412E- NM

Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Nástroj (VBD)
3	RNC 400 Laserturn	srazit hranu 5x 45°	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E- SF2
4	RNC 400 Laserturn	soustružit na průměr ϕ110mm na délce 22 mm	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E- SF2
5	RNC 400 Laserturn	soustružit odsazení	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E- SF2
6	RNC 400 Laserturn	soustružit na průměr ϕ120 mm na délce 47 mm	SVXCR/L 2020 K 13 VBD VCGT 130302E- SF2
7	RNC 400 Laserturn	soustružit otvor ϕ82 mm na délce 47 mm	A20S- SVQCR/L 13 VBD VCGT 130302E- SF2
8	RNC 400 Laserturn	srazit hranu 2x45°	A20S-SVQCR/L 13 VBD VCGT 130302E- SF2
9	RNC 400 Laserturn	upíchnout součást	XLCFR/L 2016 K 03 VBD LFUX 030802TN

3 Technicko- ekonomické zhodnocení

Porovnání stávající a navržené technologie výroby je zpracováno na základě jednotlivých hodnot strojního času pro jednotlivé operace soustružení a výsledných nákladů. Pro stávající technologii jsou časy operací zjištěny z technologického postupu. Časy pro navrženou technologii budou určeny pomocí simulace.

3.1 Náklady na výrobu u stávající technologie

Pro výpočet nákladů se postupuje tak, že sečteme strojní časy jednotlivých operací, přičteme přídatné časy, náklady na nářadí a vynásobíme hodinovou sazbou stroje.

- Hodinová sazba stroje DOOSAN LYNX 220 LSYC je $N_h = 490$ Kč/hod.
- Čas obrábění jednoho kusu součásti $t_{1m} = 10,77 \text{ min} = 0,18 \text{ hod}$.
- Přídatný čas na opracování celého odlitku (23 ks) $t_{23p} = 0,25 \text{ hod}$
- Spotřeba nářadí při opracování celého odlitku $N_{23n} = 500$ Kč

Celková spotřeba času pro jeden kus

$$t_{1c} = t_{1m} + t_{1p} = 0,18 + 0,011$$

$$t_{1c} = 0,191 \text{ hod}$$

Náklady na jeden kus

$$N_{1c} = (t_{1c} \cdot N_h) + N_{1n} = (0,191 \cdot 490) + 21,74$$

$$N_{1c} = 115 \text{ Kč}$$

Náklady jednoho kusu sedla válečku u stávající technologie činí 103 Kč.

Celková spotřeba času pro opracování 23 ks

$$t_{23c} = t_{1c} \cdot 23 = 0,191 \cdot 23$$

$$t_{23c} = 4,393 \text{ hod}$$

Náklady na 23 kusů

$$N_{1c} = (t_{23c} \cdot N_h) + N_{23n} = (4,393 \cdot 490) + 500$$

$$N_{1c} = 2653 \text{ Kč}$$

Náklady na 23 kusů sedla válečku u stávající technologie činí 2653 Kč.

3.2 Náklady na výrobu navržené technologie

- Hodinová sazba stroje RNC 400 Laserturn je $N_h = 700$ Kč/hod.
- Čas obrábění jednoho kusu součásti $t_{1m} = 6,53$ min = 0,11 hod.
- Přídavný čas na opracování celého odlitku (23 ks) $t_{23p} = 0,25$ hod
- Spotřeba nářadí na opracování celého odlitku $N_{23n} = 200$ Kč

Celková spotřeba času pro jeden kus

$$t_{1c} = t_{1m} + t_{1p} = 0,11 + 0,011$$

$$t_{1c} = 0,121 \text{ hod}$$

Náklady na jeden kus

$$N_{1c} = (t_{1c} \cdot N_h) + N_{1n} = (0,121 \cdot 700) + 8,7$$

$$N_{1c} = 93 \text{ Kč}$$

Náklady jednoho kusu sedla válečku u navržené technologie činí 93 Kč.

Celková spotřeba času pro opracování 23 ks

$$t_{23c} = t_{1c} \cdot 23 = 0,121 \cdot 23$$

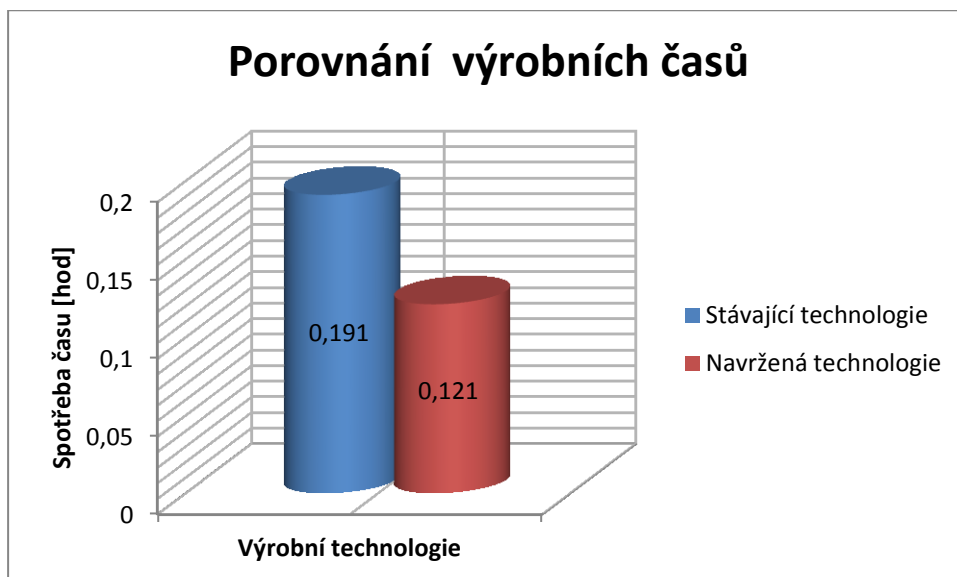
$$t_{23c} = 2,783 \text{ hod}$$

Náklady na 23 kusů

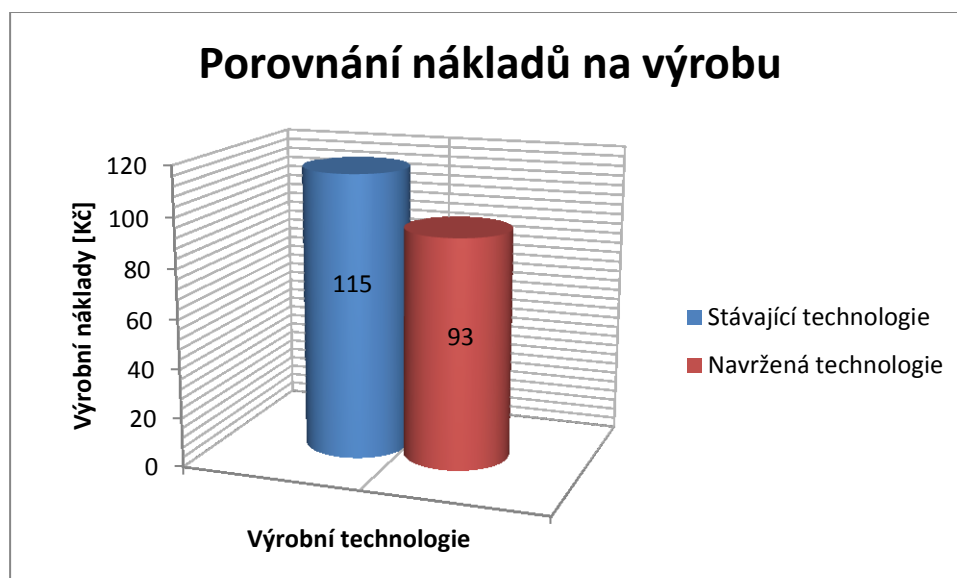
$$N_{1c} = (t_{23c} \cdot N_h) + N_{23n} = (2,783 \cdot 700) + 200$$

$$N_{1c} = 2148 \text{ Kč}$$

Náklady na 23 kusů sedla válečku u navržené technologie činí 2148 Kč.



Obr. 27 Porovnání výrobních časů pro jeden kus



Obr. 28 Porovnání nákladů na výrobu

Tab. 11 Srovnání stávající a navržené technologie

Výrobní technologie	Celková spotřeba času pro 1 ks [min]	Úspora spotřeby času pro 1 ks [hod]	Výrobní náklady pro 1 ks [Kč]	Úspora nákladů pro 1 ks [Kč]
DOOSAN LYNX 220 LSYC	0,191	-	115	-
RNC 400 Laserturn	0,121	0,07 (37 %)	93	22 (19 %)

Z výsledků provedených v technicko- ekonomickém zhodnocení vyplívá, že úspora spotřeby času jednoho kusu pro navrženou technologii s předeheřevem laseru je výhodnější o 0,07 hodin oproti stávající technologii, což představuje snížení o 37 %. Celkové náklady na jeden kus byly sníženy o 22 Kč, pro celou sérii úspora činí 505 Kč. Úspora nákladů vyjádřena v procentech je 19 %. Porovnáním výsledků zjistíme, že místním ohřevem laserem výrazně snížíme strojní čas o 39 %. Náklady byly sníženy o 19 %, je to z důvodu vyšší sazby stroje RNC 400 Laserturn.

4 Závěrečné zhodnocení

Bakalářská práce se zabývá návrhem nové technologie místního ohřevu laserem při soustružení těžceobrobitelných materiálů, zadání je z firmy VÚHŽ a. s. Mezi hlavní cíle práce patří navrhnout novou technologii pro obrábění těžceobrobitelných materiálů. Výhodou této technologie oproti stávajícím je ekonomická výhodnost a zefektivnění jejich obrábění.

V první části práce je popsán princip předehřevu při obrábění, jeho účel a rozdělení metod. Dále jsou popsány dva nejdůležitější způsoby a to předehřev pomocí plazmy a laseru. V podkapitole předehřev pomocí plazmy je vysvětlen vznik plazmy, použití a výhody této metody. Následuje popsání hlavní náplně práce a to místní ohřev laserem při obrábění a to při soustružení a frézování. Jsou popsány různé způsoby, jakým můžeme předehřívát materiál a jsou uvedeny i příklady experimentů na konkrétních materiálech.

V navazující části je seznámení s firmou VÚHŽ a. s., dále je popsána vyráběná součást a jeho materiál. Důležitým bodem je popis stávající technologie, kde jsou uvedeny nevýhody konvekčního obrábění těžceobrobitelných materiálů, uvedení použitého stroje, nástrojů, technologický postup a řezné podmínky. Návrh nové technologie výroby zahrnuje popis předehřevu laserem při soustružení a srovnání výhod oproti stávající technologii výroby. Zvolení hybridního soustruhu RNC 400 Laserturn a uvedení jeho výhod ve výrobě. Výrazná změna nastala i při úpravě technologického postupu výroby součásti, kde hrubovací operace, krom jedné byly odstraněny za účelem snížení strojního času. Tato výhoda spočívá v zlepšené drsnosti po obrábění při použití předehřevu a snížených mechanických vlastností, neboť můžeme upravit řezné podmínky a tím eliminovat operace hrubování. Nástroje pro navrhovanou technologii zůstanou nezměněné, nýbrž řezné podmínky jak už bylo zmíněno, budou upraveny s ohledem na nový technologický postup.

Závěr bakalářské práce je věnován technicko- ekonomickému zhodnocení stávající a nově navržené technologii výroby. Z provedených výpočtů vyplývá, že navrhovaná technologie výroby je po stránce ekonomické výhodnější. Příznivé výsledky jsou zapříčiněny především nižším spotřebním časem navrhované technologie, jelikož hodinová sazba stroje s předehřevem byla vyšší než v případě stávající technologie.

Poděkování

Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D., z katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie VŠB- TU Ostrava za odborné vedení a poskytování cenných rad.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Henriku Nicielnikovi z firmy VÚHŽ a. s. za vedení, pomoc a rady mé praktické části bakalářské práce.

Použitá literatura

- [1] ANDERSON, M.; PATWA, R.; SHIN, Y. C. Laser-Assisted Machining of Inconel 718 with an Economic Analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]2006, vol. 46, p. 1879–1891. [cit. 2015-29-01].
Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695505002981>>
- [2] BRECHER CH.; ROSEN CH.; EMONTS M., *Laser- assisted milling of advanced materials* [online], Fraunhofer Institute for Production Technology IPT, Steinbachstrasse 17, 52074 Aachen, Germany, Physics Procedia 5, 2011, vol. 12, p. 259–272. [cit. 2015-31-01].
Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389211001556>>
- [3] DUMITRESCU, P.; KOSHY, P.; STENEKES, J.; ELBESTAWI, M. A. High-Power Diode Laser Assisted Hard Turning AISI D2 Tool Steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]. 2006, vol. 46, p. 2009–2016. [cit. 2015-29-01].
Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695506000071>>
- [4] FREMUT, P., PODRÁBSKÝ. T. *Konstrukční oceli*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. 261 s. ISBN 80-85867-95-8.
- [5] GESELLSCHAFT, V. D. I.; PRODUKTIONSTECHNIK, A. D. B. *Materialbearbeitung mit dem Laserstrahl im Geräte- und Maschinenbau*; VDI-Verlag: Düsseldorf. 1990, p. 174, ISBN 3184009289
- [6] HONGTAO, D.; YUNG, S. *Improving machinability of high chromiumwear-resistant materials via laser-assistedMachining*. Center for Laser-Based Manufacturing, School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 2013. [cit. 2015-15-4]. Dostupné z: <<http://user.engineering.uiowa.edu/~honding/LAM%20high-Cr%20paper.pdf>>
- [7] *Katalog soustružení Pramet*. 2014. [cit. 2015-25-3]
Dostupné z: <<http://www.pramet.com/download.php?id=629>>
- [8] KLOCKE, F.; ZABOKLICKI, A. Innovation in der Umformtechnik – Laserunterstützte Verfahren. *Blech Rohre Profile*. 1995, 42(5), p. 383–343.

- [9] KOŘÁN, P. Seriál na téma lasery- základní princip laseru a jejich rozdělení [online]. *Lasery a optika*, publikováno 15.3.2011. [cit. 2015-26-01]. Dostupné z: <<http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>>
- [10] KÖNIG, W.; WAGEMANN, A. Machining of Ceramic Components: Process-Technological Potentials. IN. *Machining of Advanced Materials*, NIST Special Publication, 1990, vol. 847, p 3–16.
- [11] KÖNIG, W.; ZABOKLICKI, A.K. Laser-assisted hot machining of ceramics and composite materials, IN: *International Conference on Machining of Advanced Materials*. Gaithersburg: NIST Special Publication, 1993. vol.847, p. 455-463.
- [12] Laser-assisted turning utilizing two laser beams. Reproduced from Shin, Y.C. Laser Assisted Machining Process with Distributed Lasers. US Patent 0062920A1, 2007.
- [13] LESHOCK, C, E; KIM, J-N; SHIN, Y, C. Plasma Enhanced Machining of Inconel 718: Modeling of Workpiece Temperature with Plasma Heating and Experimental Results. IN. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette: Elsevier, 2001, vol. 41, p. 877–897. [cit. 2015-29-01] Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695500001061>>
- [14] *LYNX Y series*. 2013. [cit. 2015-25-3] Dostupné z: <http://www.duroc.com/media/1038788/eng_lynx-220y_1308_su_20p.pdf>
- [15] MIKOVEC, M. *Obrábění materiálů s velkou pevností a tvrdostí*. Praha: SNTL, 1982. 196 s.
- [16] NURUL AMIN, A.K.M.; GINTA, T.L. Heat-Assisted Machining. IN. SALEEM, H. *Comprehensive materials processing*. Dublin City University, Ireland: Elsevier, 2014. p. 298-330 ISB 978-0-08-096533-8. [cit. 2015-20-12] Dostupné z: <http://www.researchgate.net/profile/Turnad_Ginta/publication/268688496_Heat-Assisted_Machining/links/5473f73d0cf29afed60f5d7e.pdf>
- [17] PETRŮ, J.; ČEP, R. *Experimentální metody v obrábění*. [online]. Ostrava: VŠB-TU- Ostrava, 2011, 143 s. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Experimentalni_metody_%20v_obrabeni.pdf>

- [18] *RNC 400 LaserTurn*. [cit. 2015-6-4]. Dostupné z: <http://www.monforts-wzm.de/fileadmin/user_upload/pdf/Monforts_RNC400LaserTurn_engl..pdf>
- [19] *RNC Hochleistungs-CNC-Drehmaschinen*. [cit. 2015-2-4]. Dostupné z: <<http://www.monforts-wzm.de/en/produkte/laserturn/rnc-400-technische-daten.html>>
- [20] ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. Nekonenční metody obrábění – 4. Díl. *MM Průmyslové spectrum*, [online]. 2008, č. 3, s. 80-82. [cit. 2015-26-01]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-4-dil.html>>
- [21] ŘASA, J.; KEREČANINOVÁ, Z. Nekonenční metody obrábění- 8. Díl. *MM Průmyslové spectrum*, 2008, č. 10, s. 32. [cit. 2015-26-01]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-8-dil.html>>
- [22] SALEM, W. B.; MAROT, G.; MOISAN, A.; LONGUEMARD, J. P. Laser Assisted Turning during Finishing Operation Applied to Hardened Steels and Inconel 718. *Laser Assisted Net Shape Engineering, Proceedings of the LANE'94*. vol. 1; GEIGER, M., VOLLERTSEN, F., Eds.; Meisenbach: Bamberg, 1994; p 455–464.
- [23] SUN, S.; BRANDT, M.; DARGUSCH, M. S. Thermally Enhanced Machining of Hard-to-Machine Materials – A Review. IN *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]. 2010, vol. 50, p. 663–680. [cit. 2015-28-01]. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695510000738>>
- [24] SUN, S.; HARRIS, J.; BRANDT, M. Parametric Investigation of Laser-Assisted Machining of Commercially Pure Titanium. IN. *Advanced Engineering Materials*. Industrial Laser Applications Laboratory, IRIS, Faculty of Engineering and Industrial Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, Australia: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008, vol. 10, p. 565-572
- [25] THOMAS, T.; VIGNEAU, J. O. Laser-Assisted Milling Process. US Patent 5,906,459, 1999.
- [26] ŠMÍD, J. Novinky laserového předeřevu při obrábění. *MM Průmyslové spectrum*, [online]. 2013, č. 17, s. 48. [cit. 2015-20-12]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-laseroveho-prederevu-pri-obrabeni.html>>

[27] Vnitropodniková literatura společnosti VÚHŽ a. s.

[28] WU, J. F.; GUU, Y. B. Laser Assisted Machining Methods and Device, US Patent 7,002,100 B2, 2004

[29] YANG, B.; LEI, S. *Laser-Assisted Milling of Silicon Nitride Ceramic: A Machinability Study*. Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering, Kansas State University, Manhattan, 66506 KS, USA. 2008, vol. 1, p. 116–130.

Seznam příloh

Příloha A- Výrobní výkres součásti