



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

LASEROVÝ PAPERSEK VE STROJÍRENSTVÍ

A LASER BEAM IN ENGINEERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Šustr

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Michal Šustr**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Laserový paprsek ve strojírenství

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nasazení technologie řezání laserovým paprskem v podmínkách současného strojírenství. Zpracování formou rešerše.

Cíle bakalářské práce:

- Princip technologie řezání laserovým paprskem.
- Technologické možnosti laserového paprsku.
- Produktivita práce a kapacitní možnosti.
- Provoz a údržba laserového paprsku.

Seznam doporučené literatury:

MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.

BARCAL, Jaroslav. Nekonenční metody obrábění. Skriptum FSI ČVUT. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1989.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

CARISTAN, Charles L. Laser cutting guide for manufacturing. Michigan: SME, 2004. p. 447. ISBN 978-0-87263-686-6.

BENKO Bernard, Peter FODREK, Miroslav KOSEČEK a Robert BIELAK. I. Laserové technológie. Edice 4859. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2000. ISBN 80-227-1425-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na využití laserového paprsku v podmínkách současného strojírenství, zejména při řezání. Důraz je kladen na současné technologické možnosti laseru v průmyslu, které jsou podrobněji rozepsány. V bakalářské práci je zmíněno řezání, svařování, značení, čištění a kalení povrchu, 3D tisk kovu a navařování, vše za využití laserového paprsku. Závěr práce je věnován produktivitě práce s kapacitními možnostmi laseru společně s rozvahou o nákladech na provoz a údržbu.

Klíčová slova

laser, laserový paprsek, obrábění laserem, nekonvenční technologie, laserové řezání

ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on the use of laser beam in the conditions of contemporary engineering, especially in cutting. Emphasis is put on the current technological possibilities of laser in industry, which are described in more detail. Cutting, welding, marking, surface cleaning and hardening, 3D metal printing and surfacing, all using laser beam, is mentioned in the bachelor thesis. The conclusion of the thesis is devoted to the productivity of work with the capacity of the laser together with the balance of operating and maintenance costs.

Key words

laser, laser beam, laser machining, unconventional technology, laser cutting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠUSTR, Michal. *Laserový paprsek ve strojírenství*. Brno 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 31 s. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Laserový paprsek ve strojírenství** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Michal Šustr

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svojí rodině a přátelům za podporu a pomoc během studia. Poděkování patří i mým zaměstnavatelům za umožnění studia při zaměstnání a vstřícnost při plánování směn. Také paní Mgr. Šubčíkové za pomoc v boji s prokrastinací. A hlavně chci poděkovat sobě, že jsem se nevzdal, a i přes všechny překážky jsem to dokázal.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	7
1 PRINCIP ŘEZÁNÍ LASEROVÝM PAPERSEM	8
1.1 Rozdělení laserů	8
1.1.1 Vlnová délka.....	8
1.1.2 Režim práce	9
1.1.3 Buzení laseru	9
1.1.4 Aktivní prostředí	9
1.2 Řezání laserem	10
1.2.1 Oxidační řezání.....	10
1.2.2 Tavné řezání	10
2 TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI LASEROVÉHO PAPERSKU	13
2.1 Laserové svařování	13
2.2 Laserové vrtání	15
2.2.1 Impulsové vrtání	16
2.2.2 Nárazové vrtání.....	16
2.2.3 Trepanační vrtání.....	16
2.2.4 Spirálové vrtání	16
2.3 Laserové značení	17
2.4 Laserové čištění povrchu	18
2.5 Laserové kalení.....	19
2.6 3D tisk kovu za pomoci laseru	20
2.7 Laserové navařování.....	23
3 PRODUKTIVITA PRÁCE A KAPACITNÍ MOŽNOSTI	24
4 PROVOZ A ÚDRŽBA LASEROVÉHO PAPERSKU	26
ZÁVĚR.....	27
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	28
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	31

ÚVOD

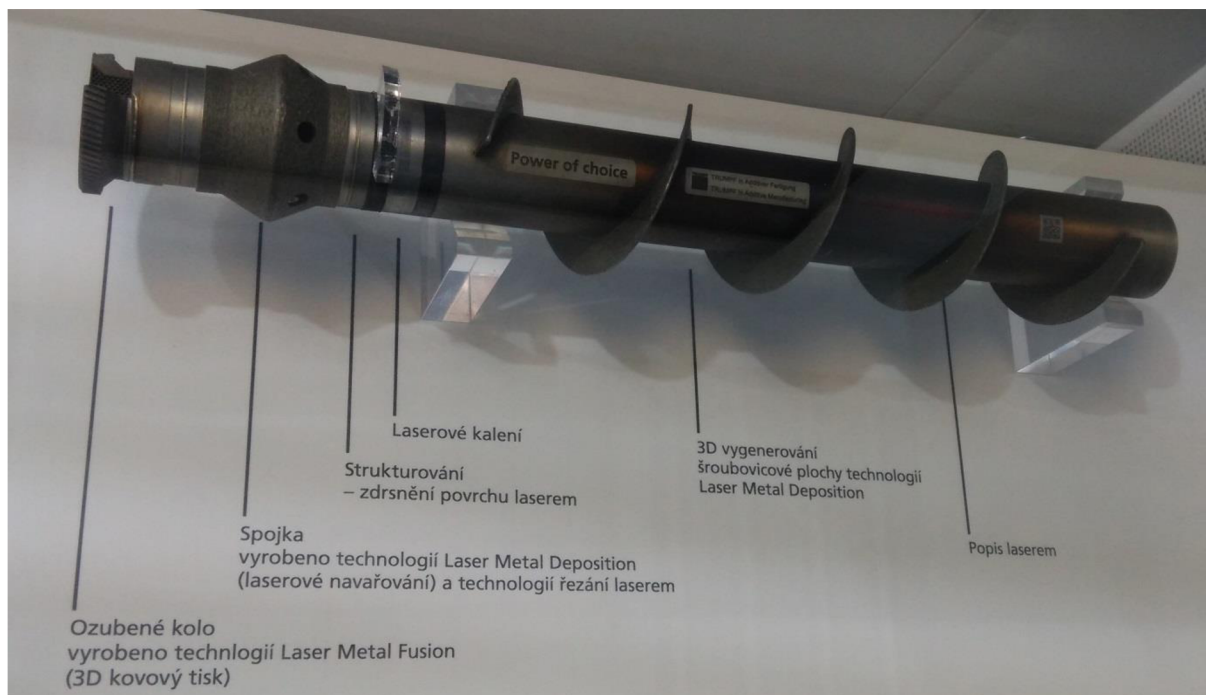
Technologii laserového paprsku jsem zvolil na základě svého zájmu o tuto problematiku obrábění společně s technologií 3D tisku. Je velmi zajímavé sledovat vývoj použití laserového paprsku v 21. století, kdy se laser používá napříč mnoha odvětvími lidské činnosti nejen ve strojírenství. Z hlediska využití laseru je jistě ještě mnoho možností, kam tuto technologii dále rozvinout.

Každým rokem firmy přináší výkonnější lasery schopné řezat silnější materiály, ale můžeme sledovat i zmenšování laserů pro „domácí“ použití, např. pro gravírování do balsy, překližky, plexiskla, plastů i jejich řezání. Tyto lasery bývají kompaktní a v dnešní době i cenově dostupné (v řádech pár desítek tisíc korun českých), takže si je může dovolit i nadšený amatér do své dílny, případně je využívají začínající drobní živnostníci pro rozjezd svého podnikání či nahrazení stávajících technologií pro zvýšení efektivity svého podnikání.

Laserový paprsek i 3D tisk má náběh na veliký potenciál pro lidstvo do budoucna a s nástupem robotiky se tento potenciál ještě více násobí vzhledem k vysoké přesnosti, preciznosti, opakovatelnosti a rychlosti práce robotů.

V Itálii například pomocí laseru odstraňují bez poškození graffiti z památek, v lékařství má laser velké využití od korekcí zrakových vad, přes odstraňování jizev až po využití jako skalpel. V Amsterdamu byl zamýšlen tisk prvního mostu na světě za pomoci kombinace laseru, 3D tisku a robotů, kdy by roboti spolupracovali. Bohužel vzhledem k rychlosti a bezpečnosti v okolí tisku se přistoupilo k metodě svařování MIG. A to je jen velmi malá část zastoupení laserů, proto bude velmi zajímavé sledovat, co blízká a vzdálená budoucnost v tomto odvětví přinese.

V budoucnosti bych se rád v profesním životě zaměřil na technologii 3D tisku kovů, která má v průmyslu narůstající zastoupení a může se naskytnout možnost stát u zrodu něčeho nového a převratného.

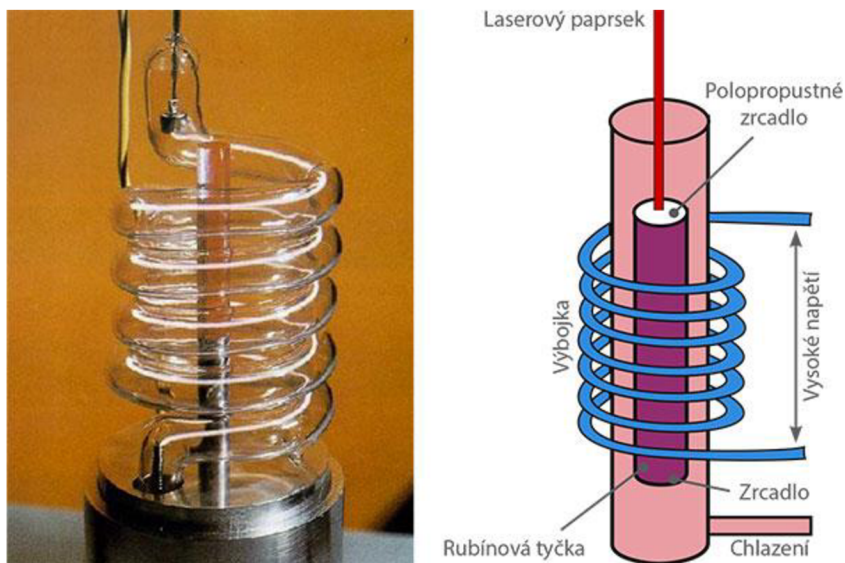


Obr. 1 Ukázka technologických možností laseru.

1 PRINCIP ŘEZÁNÍ LASEROVÝM PAPRSKEM

Slovo LASER vzniklo složením počátečních písmen principu této technologie, **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, což v překladu to znamená zesilovač světla pomocí stimulované emise záření. První zmínka o principu laseru se připisuje roku 1917 fyziku Albertu Einsteinovi, který předpovídá a popisuje stimulovanou emisi. [1, 2]

První funkční prototyp laseru sestrojil v roce 1960 Theodore Maiman, který jako aktivní látku použil rubínovou tyčku (obr. 2). Po tomto roce začaly vznikat další lasery, které se lišily typem aktivní látky, buzením a jinými dalšími parametry. [1,2]



Obr. 2 Model prvního laseru. [2]

1.1 Rozdělení laserů

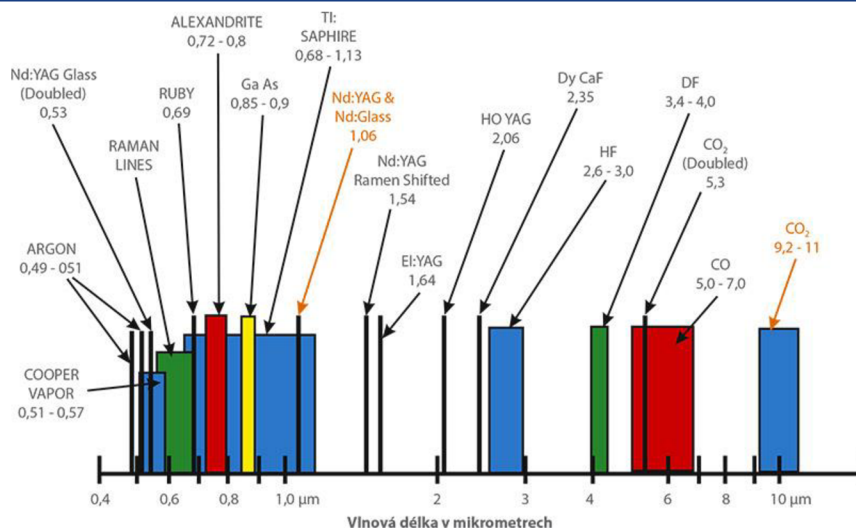
Lasery můžeme dělit do různých kategorií. Nejčastější rozdělení je například podle vlnové délky, excitace neboli buzení, režimu práce, dle geometrie aktivního prostředí, výkonu atd. Vývoj laserů jde neustále kupředu, proto neexistuje žádné pevné rozdělení.

1.1.1 Vlnová délka [3]

Vlnová délka laseru se udává nejčastěji v nm a představuje vzdálenost dvou nejbližších bodů v periodickém vlnění. Detailnější rozdělení laserů podle vlnových délek můžeme vidět na obr. 3.

Lasery využívají nejčastěji tyto rozptyly vlnových délek:

- submilimetrové,
- infračervené – 780 nm – 1 mm,
- viditelné světlo – 360 nm – 780 nm,
- ultrafialové – 10nm – 360 nm,
- rentgenovské 10 nm – 1 pm.



Obr. 3 Vlnová délka laserů. [3]

1.1.2 Režim práce [3]

Běžně využívané režimy práce laseru jsou pulsní a kontinuální spojitý. Můžeme se setkat ještě s impulsním režimem, tento se vyznačuje nízkou opakovací frekvencí a vysokými energetickými pulsy, využívá se především v oblasti vědy.

1.1.3 Buzení laseru [3, 4]

Toto spojení představuje druh energie, kterou musíme dodat do aktivního prostředí pro spuštění laseru. V průmyslových podmínkách se setkáme se třemi typy buzení a to optickým zářením, elektrickým polem a chemickou reakcí. Můžeme narazit i na buzení expanzí horkého plynu případně elektronovým svazkem, které se používá spíše v laboratorních podmínkách.

1.1.4 Aktivní prostředí [3, 25]

Aktivní prostředí je „srdcem“ laseru, vzniká zde laserový paprsek. Aktivních prostředí je mnoho a dle nich se označují lasery. Lasery využívané v průmyslu jsou plynové, diskové (označované také jako polovodičové), pevnolátkové a vláknové. Existují i jiné druhy aktivního prostředí využívané v jiných odvětvích lidské činnosti.

- plynový – různými způsoby (opticky, elektricky) buzený plyn, nejpoužívanější zástupce je **CO₂ laser** využívaný při řezání,
- diskový – elektricky buzená dioda, disponují vysokou účinností, ale mají horší kvalitu paprsku na výstupu, využívají se především pro kalení a svařování,
- pevnolátkový – opticky buzený monokrystal, nejznámější zástupce je **Nd:YAG laser** (Nd – Neodymové atomy, Ytrium Aluminium Granátu – monokrystal) využívaný pro řezání, svařování a značení,
- vláknový – laserovými diodami buzené optické vlákno, buzení probíhá také přes optické vlákno, laser tedy neobsahuje žádné optické ani mechanické prvky. Dosahuje nejvyšších výkonů (až 40kW), využívá se pro řezání, svařování, značení. Jedná se o nejnovější systém laserů s výrazně se zvyšujícím podílem na trhu.

1.2 Řezání laserem [13, 31, 32, 33]

Řezání materiálu laserem probíhá za pomoci asistenčních plynů, které rozdělují tuto technologii na dva typy. Prvním typem je **oxidační řezání**, které probíhá za asistence kyslíku (O_2). U druhého typu řezání je používán dusík (N_2), argon (Ar) nebo stlačený vzduch a jedná se o **řezání tavné**. Řezání laserem je bezkontaktní druh obrábění, řezaný materiál proto není potřeba speciálně upínat na pálicím roštu, stejně jako např. u pálení plasmou.

1.2.1 Oxidační řezání

Při oxidačním řezání je využíváno sublimace (odpaření) materiálu z místa řezu za pomoci exotermické reakce, kterou podporuje přiváděný kyslík do místa řezu a tím zvyšuje teplotu tavení. Pro tento druh řezání je potřeba dodat větší energii do místa řezu, jsou třeba výkonnější zdroje. Výhodou oproti tavnému řezání je úspora asistenčního plynu u řezání silnějších materiálů z důvodu větší plochy řezu, ze které plyn neuniká do okolí. Tento druh řezání se využívá při **dělení konstrukční oceli** a jiných materiálů s vysokou tepelnou vodivostí, které nejsou reaktivní s kyslíkem.

1.2.2 Tavné řezání

U tavného řezání je natavený materiál za pomoci asistenčního plynu vyfukován z místa řezu. Na rozdíl od oxidačního řezání nevyžaduje tavné řezání takové výkony, ale s vyfukováním materiálu ven z řezu je spojena vyšší spotřeba asistenčního plynu. V případě použití stlačeného vzduchu je třeba snížit řeznou rychlost. Při využití inertního plynu nedochází v místě řezu k oxidaci, proto je tavné řezání vhodné **pro dělení například nerezové oceli, mosazi** a také například **hliníku**. Ten má sice vysokou tepelnou vodivost, ale je s kyslíkem velmi reaktivní, proto se musí řezat tavným řezáním.

Mezi výhody laserového řezání patří:

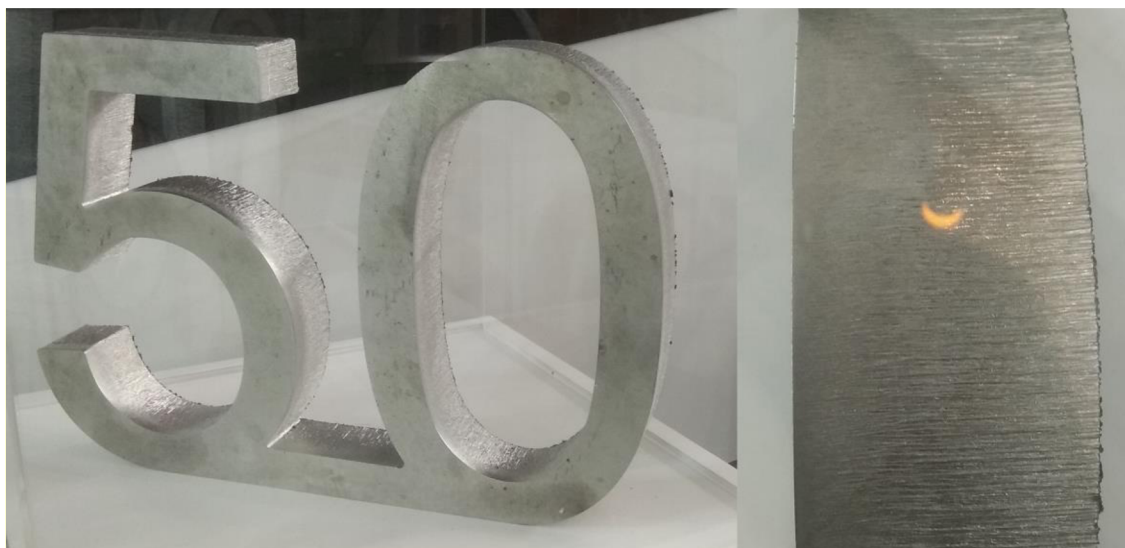
- rychlost řezání,
- možnost řezání geometricky velmi složitých součástí
- velmi malá tepelně ovlivněná oblast,
- nedochází k opotřebení nástrojů,
- úzké průřezy materiálem,
- nedochází ke tvorbě třísky (vznikají okraje ulpívající na roštu).

Při řezání laserovým paprskem musí být brán zřetel na odrazivost paprsku od řezné plochy. Může dojít k odrazu paprsku zpátky do laserové hlavy a poškození čočky, která fokusuje paprsek do místa řezu. Toto se týká zejména leštěných materiálů, z tohoto důvodu je nutné nakupovat polotovary pro řezání laserem. Tyto plechy jsou opatřeny z jedné strany fólií pro zamezení odrazu paprsku a částečně slouží i proti poškození povrchu při manipulaci a transportu hotového výpalku.

Nastavený optimálního řezu vyžaduje zkušenosti a pro čistý a hladký řez je potřeba zohlednit několik parametrů, jako například:

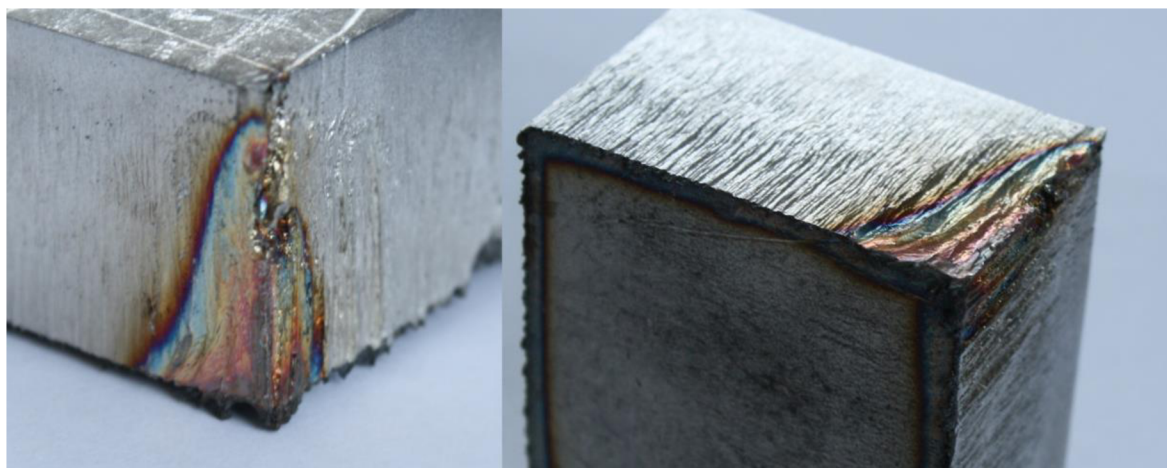
- typ a množství ochranného plynu v závislosti na řezaném materiálu,
- výkon dodávaný do řezu,
- pulzní frekvenci paprsku,
- správné nastavení hloubky ohniska a vzdálenosti trysky od materiálu.

Laserové pálicí stroje disponují stále vyššími výkony schopnými řezat silnější materiály, v současné době nejvýkonnější prodáváný vláknový laser je od firmy Eagle, disponuje výkonem 14 kW a je schopný uřezat i 50 mm silný nerezový materiál. Na obr. 4 můžeme vidět řeznou plochu, dochází na ní ke zvyšování drsnosti tohoto povrchu se vzrůstající hloubkou řezu. Rozdílná drsnost povrchu je rozeznatelná okem, v případě potřeby hladkého řezu je vhodnější zvolit jinou technologii řezu (plasma, vodní paprsek, elektroeroze, ...).



Obr. 4 Ukázka řezné plochy nerezové oceli o síle 50 mm.

Na rozdíl od vodního paprsku, případně elektroerozivního obrábění, musí být rohy výpalků větších tlouštěk opatřeny malými rádiusy stejně jako u řezání plasmou. I přes poměrně vysoké řezné rychlosti může dojít, v případě ostrého rohu, k velkému tepelnému ovlivnění materiálu v důsledku vysoké dodávané tepelné energie do místa řezu, tento defekt je patrný na obr. 5. Na tomto obrázku je dobře patrné tepelné ovlivnění materiálu v místě řezu kolem celé řezné hrany. Tepelné ovlivnění představuje změna barvy základního materiálu, patrné jsou i otřepy na spodní straně materiálu, které je nutné před dalším využitím odjehlit.



Obr. 5 Technologická vada – ostrý roh (materiál – nerezová ocel síly 30 mm).

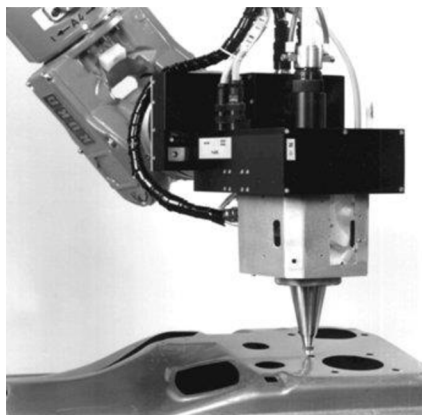
Z tohoto důvodu dochází, stejně jako u plasmu, k propálení materiálu vně výsledného výrobku, v případě vypálení otvoru je materiál propálen ve vnitřní části, která bude později vyhozena do šrotu. Tyto průpaly jsou dobře vidět na obr. 6, který znázorňuje rozdíl mezi správně a špatně nastavenými parametry pálicího stroje. V uvedeném případě se může nejspíše jednat o nízký tlak asistenčního plynu nebo případně příliš vysoký výkon stroje s ohledem na řeznou plochu.



Obr. 6 Technologická vada vpravo – nastaveny špatné parametry řezání.

Samotné řezání probíhá pomocí vytvořeného pálicího plánu, který může vytvořit přímo obsluha stroje, v tomto případě se jedná méně geometricky složité prvky, nebo programátor CNC strojů (technolog) a to za pomoci softwarových programů. Tyto programy generují trajektorie pálení včetně přejezdů laseru na místo pálení, v úvahu je nutno brát možné tepelné ovlivnění okolí v závislosti na tvaru a tloušťce řezaného výrobku.

Se zvyšujícím se zastoupením vláknových laserů dochází k rozvoji řezání prostorových dílců, zejména pak lisovaných plechů v automotive. Vlastní řezná hlava je upevněna na robotickém rameni, které provádí řezání otvorů a ořez výlisku z plechu na požadovaný rozměr, jde tedy o 3D řezání (obr. 7). S ohledem na efektivitu je nutné sestavit systém upínek, které drží dílec na požadovaném místě, ty jsou řízeny počítačem pro kooperaci s robotickými rameny.



Obr. 7 Řezná hlava na robotickém rameni – 3D řezání. [31]

2 TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI LASEROVÉHO PAPRSKU

Laser je v poslední době velmi progresivně se rozvíjející odvětví ve strojírenství a nejen v něm. Laserové paprsky našly uplatnění v mnoha odvětvích lidských činností, ať již se jedná o zdravotnictví, stavitelství, elektroniku a konče uplatněním v armádě.

V medicíně bylo využití laseru velmi rychlé. Laser se začal využívat v oftalmologii pro korekci očních vad, v dermatologii se najde uplatnění při odstraňování jizev nebo tetování a v neposlední řadě se laser využívá i pro chirurgické zákroky, neboť umožňuje velmi přesné a tenké řezy případně k odstraňování tkání odpařením.

Ve stavitelství se laser například využívá pro měření vzdáleností, může být zabudován do vodováhy nebo mnohem sofistikovanějšího zařízení, které promítá laserový kříž na zeď a tím pádem velmi usnadní práci třeba s montáží kuchyňských linek, obkladů na zeď atp.

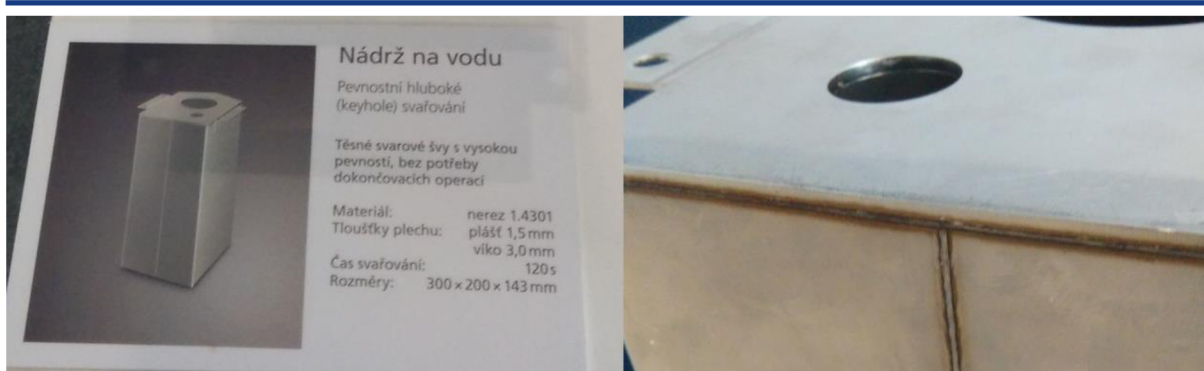
V elektronice se s laserem setká každý člověk, který využívá počítač, notebook, DVD přehrávač nebo má ve svém osobním autě rádio s CD přehrávačem, kde laser funguje pro čtení (v počítači se můžeme setkat i s laserem pro zapisování) dat zapsaných na CD případně DVD. I když tato technologie je v poslední době na ústupu a využívají se jiné technologie, které jsou schopny uložit více dat na jedno médium.

V armádě lasery slouží pro navádění raket na cíl, obrovská výhoda je, že laser pro zaměrování je běžně okem neviditelný, nevydává žádný zvuk a má velmi vysokou rychlost šíření paprsku. Nevýhodou je nutnost přímé viditelnosti cíle a také částečné pohlcování paprsku atmosférou, případně povrchem cíle. Probíhá i vývoj laserových zbraní, nicméně z hlediska vysoké energetické náročnosti se s ručními laserovými zbraněmi, jak je známe z některých sci-fi filmů, ještě nesetkáme. Přesto se laserové zbraně dají najít, s ohledem na výkon mají využití od oslepení osob a optických senzorů (stovky wattů), přes výkonnější (v řádech desítek kilowattů) určených k ničení přístrojů až po velmi výkonné (stovky kilowattů až řádově megawatty), které se dají využít pro zničení leteckých i pozemních obrněných cílů a raket. Jestli je tento výčet konečný nebo armády vyspělých států vlastní silnější lasery si můžeme jen domýšlet [5].

Technologické využití laserového paprsku ve strojírenství je rozmanité, byly vybrány nejčastěji používané, které budou částečně rozebrány na následujících stranách. Témata jednotlivých laserových technologií jsou natolik obsáhlé, že nelze v popisu uvést a zmínit všechny principy a parametry technologie strojů uvedených na trhu v současné době. Detailnější rozbor vydaly a v budoucnu vydají na mnoho závěrečných prací a odborných článků z výzkumných činností.

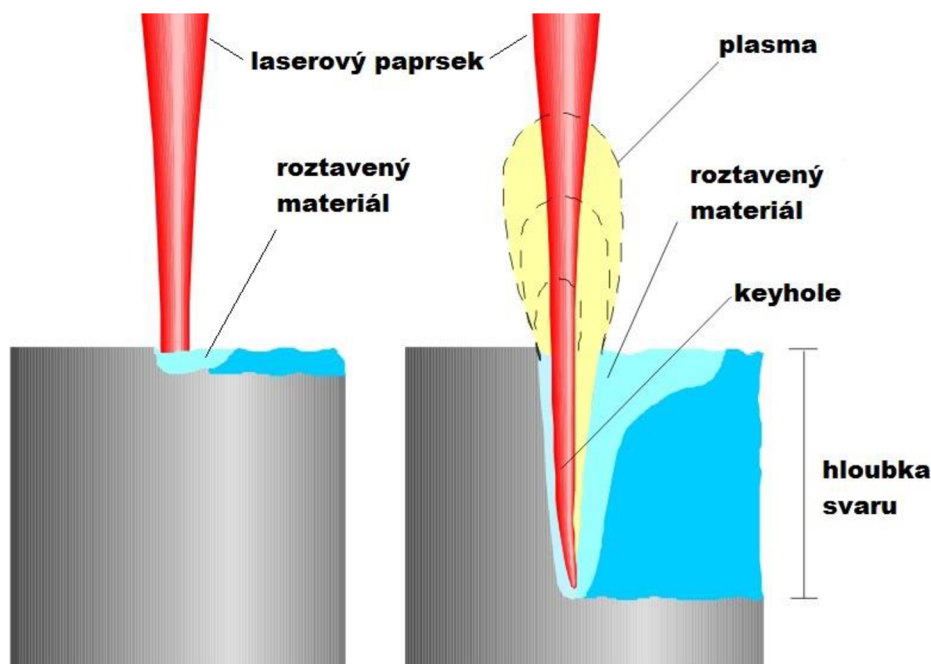
2.1 Laserové svařování [17, 18]

Svařování paprskem laseru v porovnání s jinými svařovacími technologiemi dosahuje vysokých svařovacích rychlostí, tepelně ovlivňuje velmi úzký pás svařované oblasti a svařence vykazují malé směrové deformace po svaření. V kombinaci s robotickými rameny dostáváme velmi účinný svařovací stroj, který umožní opakované svařování složitých a rozměrných dílců v poměrně krátkém časovém úseku. V dnešní době je tento druh svařování hojně využíván v automobilovém průmyslu na montážních linkách, kde spolu kooperuje několik robotických ramen na svařování částí karoserie automobilu. Své uplatnění najde i při svařování tenkých plechů, kdy využijeme rychlost svařování s minimálními tepelnými deformacemi a ideálním průvarem, přesvědčit se o tom můžeme na obrázku níže (obr. 8), kde jsou uvedeny rozměry materiálu a čas svařování nerezové nádrže na vodu.



Obr. 8 Nádrž na vodu svařovaná hlubokým svarem.

Rozlišujeme dva druhy svarů. První se označuje svařování vedením tepla (natupo), jde o plechy přiložené k sobě a vzniklá mezírka se vyplní svarem. Druhý svarový typ je hluboký (průvar), který slouží ke svaření (spojení) většinou 2 plechů přes sebe. U prvního zmíněného svaru se používá hustota energie 10^6 W.cm^{-2} s vyšší svařovací rychlostí, tím vznikne nízká hloubka průvaru. Snížením svařovací rychlosti a zvýšením energie dodávané do místa svaru začneme materiál provařovat do hloubky. Tlak plynů, které vznikají při svařování, vytváří obláček plasmatu, který brání uzavření svaru a na základě toho se taví více základního materiálu ze svařovaných stěn. Vzniká efekt „key hole“, který umožňuje pronikat paprsku hlouběji do svaru. Obě metody můžeme vidět na obr. 9.



Obr. 9 Metody svařování laserem. [17]

Svařování laserem vyžaduje splnění několika náležitostí, mezi které patří kolmý dopad paprsku na místo svařované oblasti, konstantní posuvová rychlost a vzdálenost ohniska od místa svaru, musíme také zajistit ochranu optiky. Z tohoto důvodu je laserové svařování vhodné na robotizovaných pracovištích, které nám uvedené podmínky dokáže zajistit. V některých případech je nutné vyrobit přípravkový systém, který nám zajistí přesné ustavování svařovaných dílů. S tímto se pojí vyšší pořizovací náklady na tuto technologii, proto se svařování laserem hodí pro sériovou výrobu.

Při porovnání svařovacích technologií, které můžeme vidět v tabulce (tab. 1), zjistíme, že svařování laserem je velmi podobné svařování elektronovým paprskem. Dodáváme do místa svaru nejvíce energie, tím můžeme mít velkou hloubku průvaru s velmi malou tepelně

ovlivněnou oblastí. Laser ze všech vypsaných technologií vyniká rychlostí svařování, které je několikanásobně vyšší oproti ostatním svařovacím metodám.

Tab. 1 Srovnání svařovacích metod. [18]

Metoda	Hustota energie [W/cm ²]	Hloubka průvaru [mm]	Šířka/hloubka svaru	Svařovací rychlost [m/min]
Plamen	10 ³	3	3	0,01
El. oblouk	10 ⁴	4	2	0,5 – 3
Plasma	10 ⁶	6	1	0,5 – 5
El. paprsek	10 ⁸	50	0,03	0,5 – 5
Laser	10 ⁷ –10 ⁹	10	0,1 – 0,5	10

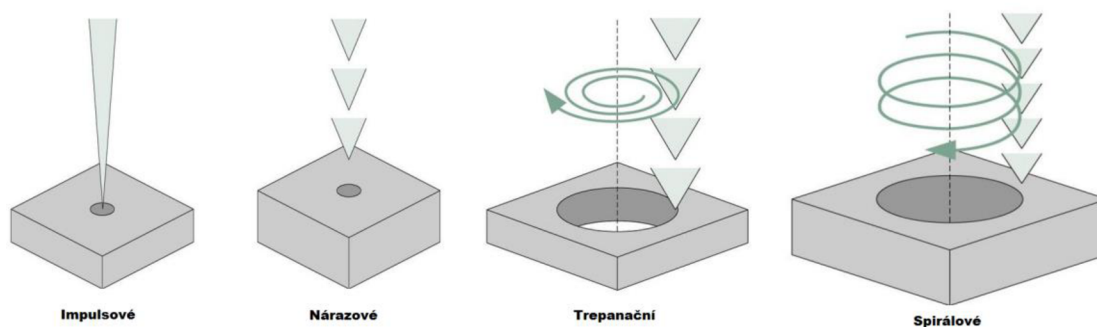
2.2 Laserové vrtání [19, 20]

Pod pojmem vrtání si většina lidí představí konvenční třískové odebrání materiálu za pomoci vrtáku, kdy tříška odchází po šroubovicích ven z díry. V případě vrtání laserem jde spíše o tavení a odpařování materiálu, nedochází tedy k žádnému fyzickému kontaktu s obrobkem, žádným vibracím a nevzniká tříška. Hloubka vrtání se řídí dodanou energií do paprsku, čím více energie paprsku dodáme, tím více se nám materiál taví. Vlastní odvod materiálu funguje na principu prudkého zvětšení objemu odebíraného materiálu, tím vzniká v otvoru tlak, který se uvolní tlakem páry vznikající při obrábění a dochází k odvodu materiálu ven z díry. Nespornou výhodou vrtání laserem je výše zmíněná bezkontaktnost s vrtaným obrobkem a žádné nebo minimální tepelné ovlivnění okolí, toto nám umožní vrtání velmi malých a přesných průměru otvorů do výrobků s miniaturními rozměry. Přesnost je udávána v rámci mikrometrů a nejmenší průměr otvoru se pohybuje v rámci desetin milimetru. Další výhodou je integrovatelnost do výrobních linek, také ekologičnost, protože vrtání probíhá bez účasti řezných kapalin.

Za použití této technologie můžeme vrtat rozličné druhy materiálů, od kovů (ocel, železo), přes neželezné kovy (měď, hliník), drahé kovy (zlato, stříbro), tak i nekovové materiály (dřevo, plast, papír, keramika, karbon, ...).

Vrtání laserem můžeme rozdělit do čtyř režimů práce (viz obr. 10):

- impulsové,
- nárazové,
- trepanační,
- spirálové.



Obr. 10 Režimy vrtání laserem. [19]

2.2.1 Impulsové vrtání

Je vhodné pro vrtání velkého počtu otvorů o stejném průměru, jeden impuls paprsku vytvoří jeden otvor v materiálu. Délka impulsu může být i pikosekunda, v tomto případě nedojde k ovlivnění teplem v okolí otvoru, neboť nedojde k tavení materiálu, ale materiál se odpaří sublimací.

2.2.2 Nárazové vrtání

Při nárazovém vrtání vznikne otvor působením více pulsů laseru s kratší dobou působení a nižší energií než u impulsového vrtání. Důsledkem toho je možné vrtat hlubší, přesnější a menší otvory než u předchozí metody.

2.2.3 Trepanační vrtání

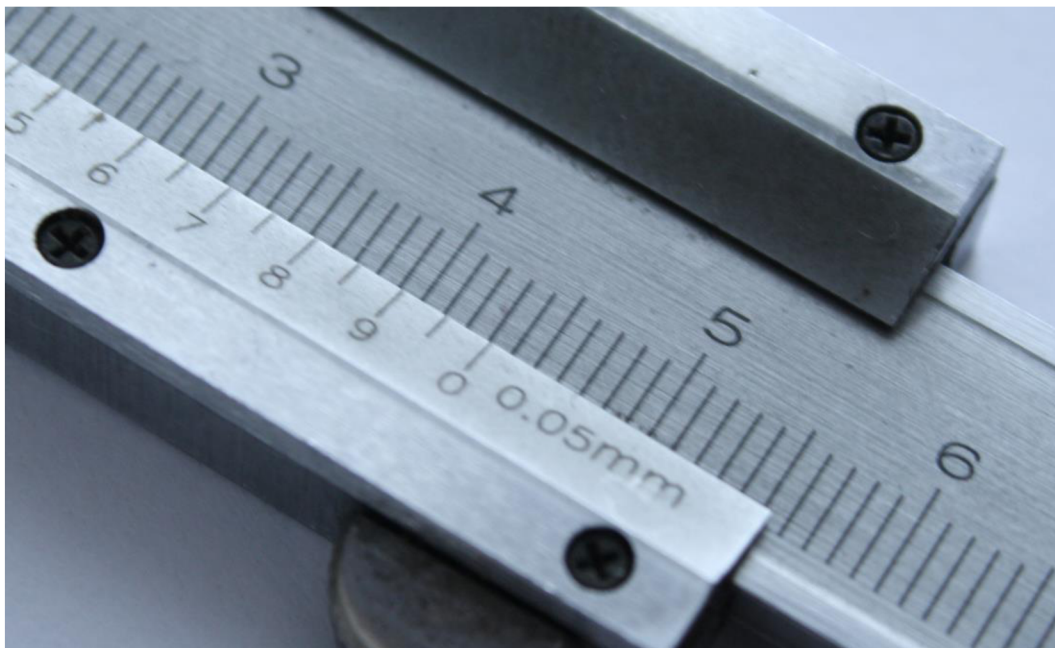
U tohoto vrtání dojde nejprve k vyvrtání jednoho otvoru ve středu finálního otvoru nárazovými impulsy. Poté laser krouží nad výrobkem v několika kruhových drahách a zvětšuje průměr otvoru za použití nárazových impulsů. Roztavený materiál je v tomto případě z největší části odváděn pod obrobek.

2.2.4 Spirálové vrtání

Tento způsob vrtání laserem je vhodný pro vytváření hlubokých a velkých otvorů o vysoké kvalitě povrchu stěn. Vlastní vrtání probíhá opět za využití rázových impulsů, na rozdíl od trepanačního vrtání nedojde k navrtání středového otvoru a jeho zvětšení, ale laser krouží po spirále materiálem dolů v rámci daného průměru otvoru. Laser tímto způsobem vytváří jakousi šroubovici, po které dochází k odvodu materiálu. Pro lepší představu si tuto šroubovici můžeme představit jako točité schodiště. V případě, že je otvor průchozí, můžeme otvor zvětšit za pomoci zvětšení průměru opisované kružnice.

2.3 Laserové značení [23, 24]

Pro sledování výrobního procesu se hojně využívá značení komponentů ve výrobě, případně značení hotových výrobků. Důvodů pro značení najdeme velmi mnoho, od urychlení hledání dílů pro montáž výrobků (když se například liší komponent jenom drobnou odchylkou od druhého nebo nemusíme přeměřovat rozměry komponenty), pro sledovatelnost toku výroby, kdy za využití čteček kódů ukládáme využití daného dílce do databáze, se kterou můžeme dále pracovat (hlídání skladových zásob, plnění výrobních plánů, ...), až po účelné značení hotových výrobků. Nejlepším příkladem je značení dílků na posuvném měřidle (na obr. 11), využívaném pro měření ve strojírenství. Laser je vhodný pro vytvoření značení, které je nesmazatelné a stálé.



Obr. 11 Dílky posuvného měřidla značené laserem.

Značení můžeme rozdělit na popis materiálu a gravírování, rozdíl je v časové náročnosti výroby. Zatímco označení vzniká krátkodobým působením paprsku na materiál, gravírování je časově náročnější v závislosti na výsledné hloubce vygravírovaného označení.

Popis vzniká odpařením tenké vrstvičky svrchní části materiálu (např. plasty a kovové materiály s povrchovou vrstvou barvy) nebo tepelným ovlivněním vrchní vrstvy materiálu, což má za následek změnu barvy povrchu. Laserový popis je využíván ve značení např. elektro součástek (mikročipy), reklamních firemních předmětů (propisky, klíčenky) nebo měřidel. Značit můžeme do rozličných druhů materiálů, jako jsou kovy, drahé kovy, karton, papír, dřevo, sklo, plexisklo a mnoho dalších, výčet je vskutku široký.

Gravírování můžeme přirovnat ke spirálovému laserovému vrtání s tím rozdílem, že laser neopisuje kružnici ale trajektorie na obrazci, který má být vygravírován a dochází k sublimaci obráběného materiálu, čímž vzniká požadovaný motiv značení. Gravírování najdeme v běžně používané praxi jako kontaktní obrábění za pomoci malých frézek, nedosáhneme pomocí nich ale takových detailů jako s laserem.

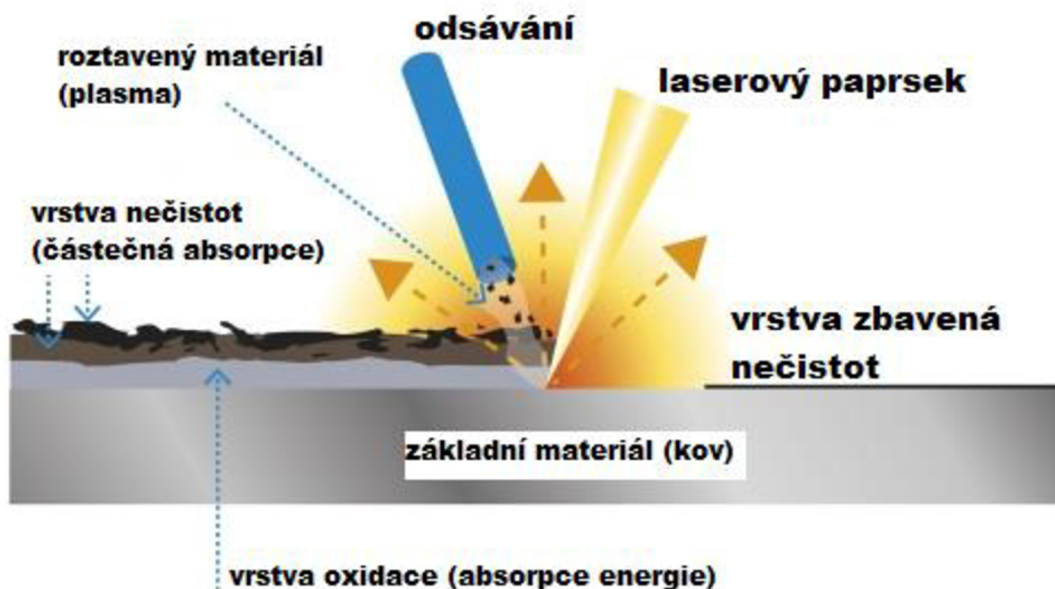
Konstrukční zpracování popisovacích laserů je dvojího typu, plotterové a s rozmítací hlavou. Plotterový popis vytváří popisovací hlava umístěná na dvou pohyblivých osách X, Y. Je přesnější ale časově náročnější oproti systému s rozmítací hlavou. Tento systém pracuje s fixně upevněnou popisovací hlavou a paprsek je na místo popisu fokusován speciální optikou, na základě toho může docházet k menší přesnosti oproti plotteru.

2.4 Laserové čištění povrchu [21, 22]

Povrch materiálů a výrobků podléhá znečišťování okolními vlivy prostředí. Jednoduše řečeno se jedná o dva druhy znečištění, které v jednom případě souvisí s činností, pro kterou je daný výrobek využíván. Jako příklad můžeme uvést formy pro vstřikování plastů nebo formy, které využívá gumárenský průmysl při výrobě pneumatik. V těchto případech mohou ulpěné nečistoty znehodnotit výsledný výrobek. Ve druhém případě za znečištění mohou okolní vlivy prostředí, v případě kovů mluvíme o působení atmosférických vlivů. Především vzdušné vlhkosti, která způsobuje oxidaci opracovaných i neopracovaných povrchů některých kovů. To nám v mnoha případech komplikuje další technologické procesy, jako například svařování.

V dnešní době je využíváno mnoho technologií čištění. Můžeme je rozdělit na chemické a mechanické, ty můžeme dále rozčlenit na poškozující povrch nebo neabrazivní, které povrch nepoškodí. Záleží na konkrétním druhu znečištění a znečišťující látce, jakou metodu čištění zvolíme.

Princip čištění povrchu laserem je následující, stejně jako u ostatních technologií využívající laserový paprsek dochází k pulzům paprsku, v tomto případě jsou však jednotlivé paprsky seřazeny lineárně vedle sebe. Energie těchto pulsů dopadá na znečištěnou plochu, kde ji vrstva nečistot a oxidace pohltí a tím se změjí na energii tepelnou. Tato tepelná energie má za následek odpaření nečistot z čištěného materiálu. Kvůli snížení prašnosti na pracovišti je vhodné přidat odsávací hubici na odpařené nečistoty – záleží na konkrétním výrobním nasazení. Pro lepší představu je přiložen obr. 12. Zmíněná tepelná energie je všechna pohlcena vrstvou nečistot, oxidace atd., nedochází tedy ke změně struktury podkladového materiálu, ani případně k tepelnému ovlivnění podkladové vrstvy.



Obr. 12 Princip čištění laserem. [21]

Takto laserem vyčištěná plocha je připravena pro další technologické využití, není potřeba ji žádným způsobem ošetřovat, začišťovat, a podobně. Čistící laser může být mnohého provedení, ruční určené pro přenášení a čištění na různých místech výroby, stolní sestavy využívající ruční nebo poloautomatický režim práce. Výhodná je integrace do výrobních linek, která nám může zajistit zkrácení výrobních časů a v neposlední řadě již zmíněné spojení laseru s robotickými rameny, pro zajištění precizního vyčištění členitých a rozměrných dílců.

Výhody laseru pro čištění materiálu jsou bezpochyby ekologičnosti, jelikož není zapotřebí skladovat a likvidovat mnohdy zdraví, život a přírodu poškozující látky. Schopnost čistit velmi členité povrchy (formy pro vstřikování plastů, formy v gumárenském průmyslu), opakovatelnost čištění, všestranné využití (čištění svarů, odstraňování rzi, starých nátěrů, mastnoty a olejů). Další nespornou výhodou je bezpečnost vůči pokožce člověka i nepoškození snadno tavitelných materiálů, jako jsou třeba plasty.

Nevýhodou zmíněných aplikací laseru je cena. Aktuální nabídka čistících laserů začíná na částkách přesahujících půl milionu českých korun, návratnost však může být relativně rychlá. Ať již za ušetření normohodin (rozebírání forem) nebo také eliminováním čistících chemikálií, jejichž následná odborná likvidace je drahá.

2.5 Laserové kalení [6, 7]

Kalení, stejně jako jiné druhy tepelného zpracování (žihání, popouštění atd.), se ve strojírenské praxi využívá pro ovlivnění mechanických vlastností materiálu. U kalení je to především zvýšení tvrdosti povrchu, případně odolnosti proti opotřebení. Ze své pracovní praxe můžu uvést, že se například zvyšuje tvrdost v oblastech přejezdu kola vlaku ve vlakových výhybkách, v některých případech ve výhybkách pro tramvaje.

Nejčastěji se využívají CO₂, Nd:YAG, vláknové a v poslední době diodové lasery, které se vyznačují vysokými výkony s relativně krátkými vlnovými délkami. Provoz těchto laserů je ekonomicky hospodárnější, efektivnost je asi o 35 % vyšší z důvodu lepší absorpce energie do materiálu než u jiných druhů laserů.

Materiály vhodné pro laserové kalení:

- běžné konstrukční oceli,
- vysoce legované nástrojové a konstrukční oceli,
- šedé litiny, litiny s kuličkovým a lupínkovým grafitem.

Materiál se laserem velmi rychle ohřívá, nárůst teploty je cca $730\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$, dochází k prohřátí povrchových vrstev na teplotu blízkou teploty tavení, ta se sleduje za pomoci řídicích systémů dodávaných výrobcem. Výdrž na této teplotě se pohybuje v rozmezí 10^{-3} až do 10 sekund. Ochlazování probíhá samovolně přijetím tepla výrobkem, toto dovoluje vzniknout jemné martenzitické struktuře o vysoké tvrdosti, zatímco zbytek materiálu zůstává houževnatý. Změna struktury je dobře patrná na obr. 13.

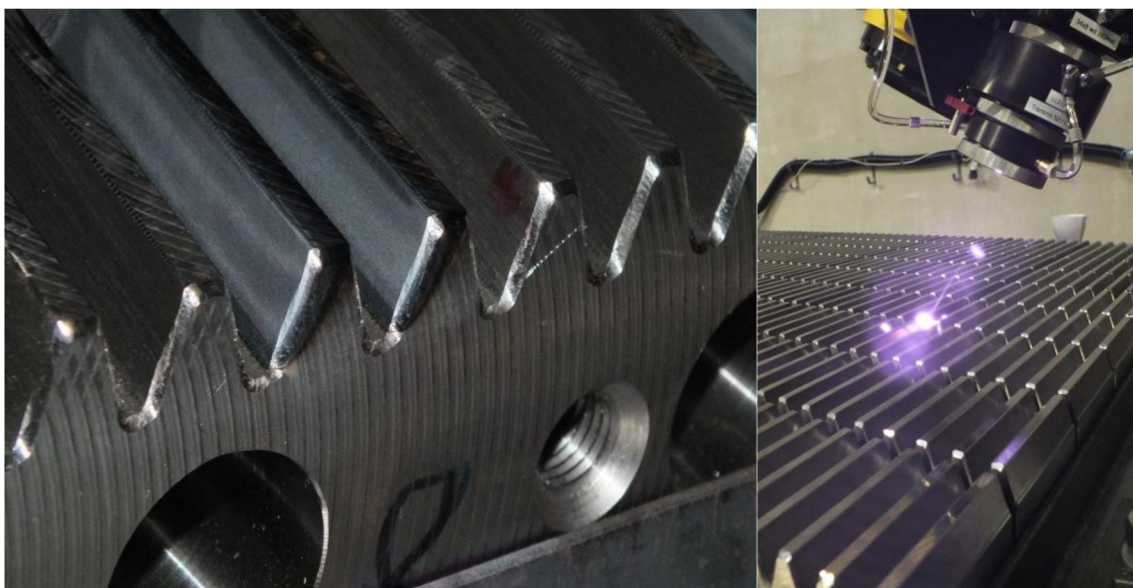
Mezi hlavní výhody laserového kalení patří:

- vysoká reprodukovatelnost výroby,
- lokální, přesný ohřev a řízení teploty,
- rychlost ohřevu,

- ekologičnost a hospodárnost z důvodu minimálního nebo žádného dalšího opracování povrchu.

Nejčastěji se touto technologií kalí:

- střižné a ohýbací nástroje,
- zuby ozubených kol,
- lopatky u plynových a parních turbín,
- vnitřní a obtížně dostupné plochy a složité tvary součástí.



Obr. 13 Porovnání kalených a nekalených zubů ozubeného hřebene. [8]

2.6 3D tisk kovu za pomoci laseru [9, 10, 11, 12]

Technologie 3D tisku za pomoci laseru jde rozdělit na 2 metody, jak je patrné na fotce z úvodu. Konkrétně to jsou to metody **SLM** (Selective Laser Melting) – ve volném překladu selektivní tavení laserem a **(D)MLS** (Direct Metal Laser Sintering) – laserové spékání kovového prášku. Tato technologie je z pohledu ostatních technologií velmi mladá a každým rokem dochází k vylepšování, z největší části je to zvětšení rozměrů tiskových prostorů na základě poptávek zákazníků. Laserem můžeme spékat i jiné materiály, než kov (plast, písek, keramika). Velká část potenciálu této technologie je zatím dostatečně neprozkoumaná a v budoucnosti se tato technologie jistě velmi značně zasáhne do strojírenství a celkově průmyslu. V současnosti **používané materiály** pro tisk jsou **nástrojová ocel (1.2709) titan, hliník, nerezová ocel (1.4404), inconel 625**, zrnitost materiálu se pohybuje v rozmezí 10–45 μm .

Tato technologie pracuje na principu nanášení tenkých vrstviček kovového prášku na základovou desku, kde za pomoci laseru dochází ke spečení (MLS), lépe řečeno roztavení (SLM), prášku a spojení s dalšími vrstvami, důsledkem čehož vzniká v materiálu struktura velmi blízko podobná struktuře odlévaného materiálu. Technologie MLS je vhodnější pro tisk velmi přesných a složitých dílů (výška vrstvy menší jak 0,001 mm). Software připravující data pro tisk „rozseká model na plátky“ o tloušťce představující výšky vrstvy a současně v případě potřeby vygeneruje podpůrné vrstvy, které se po vytisknutí musí manuálně odstranit (obr. 14).



Obr. 14 Vytisknutý díl z 3D tiskárny včetně podpor a finální výrobek.

Uplatnění nachází v oblastech napříč strojírenstvím, od výroby funkčních prototypů, dále v leteckém průmyslu, kde se uplatní možnost snížení hmotnosti dílce bez ztráty mechanických vlastností výrobku až po uplatnění ve výrobě chladících vložek do forem pro vstříkávání plastů. Zde dovoluje navrhnout a vyrobit chladící kanálek vedený v tvarovém jádře formy přesně dle potřeb výsledného plastového vylisku, kdy dochází ke snížení deformací vylisku, snížení časového cyklu formy a tím pádem ke zvýšení efektivity výroby v některých případech v řádu desítek procent.

Výhody technologie 3D tisku kovů:

- ekologičnost – žádné nebo minimální množství odpadu, nemusí se používat řezné a chladicí emulze jako v případě obrábění,
- rychlost výroby v porovnání s třískovým obráběním,
- možnost výroby náročných a složitých modelů, které běžným obráběním není možné vyrobit, případně by výroba byla velmi nákladná,
- možná úspora hmotnosti vyráběného dílce, kterou můžeme vyčíst na obr. 15,
- lepší mechanické vlastnosti než obráběný výrobek (pro představu diagram na obr. 16),
- rychlost zadání do výroby bez nutnosti případného nákupu speciálních nástrojů na obrábění apod.,
- možnost použití materiálů, které jsou konvenčně těžko obrobitelné.

Tabulka porovnání mechanických vlastností, doby a ceny výroby obou prototypů		
Prototyp	frézovaný	3D tisk (SLM)
Materiál ($R_{p0,2}$) [MPa]	EN AW 2024 (300)	AlSi12 (240)
Hmotnost [g]	1 381	1 222
Tuhost [kN/m]	10 100	16 320
Doba výroby [hod]	64	57
Náklady na výrobu [Kč]	26 000	85 000

Obr. 15 Tabulka porovnání mechanických vlastností, doby a ceny výroby. [10]



Obr. 16 Diagram zátěžového testu frézované a tisknuté součásti. [10]

Hlavní nevýhodou této technologie v dnešní době její cena, která je v porovnání s konvenčním obráběním nekolikanásobně vyšší. Je to způsobeno konkurencí v prostředí konvenčního obrábění, ruku v ruce s konkurenčním bojem v dodáváním nástrojů na obrábění. S ohledem na tuto skutečnost je v případě volby této technologie uvážit její návratnost z dlouhodobého hlediska nebo brát ohled na ušetřený čas v případě výroby prototypů. Další nevýhoda může být prozatím nutnost spojovat vytisknuté dílce v případě tisku rozměrnějšího výrobku a to z důvodu menších tiskových prostorů, což s sebou může nést úskalí v podobě možných kritických míst finálového výrobku (záleží na směru a velikosti zatěžování). Firmy vyrábějící tyto tiskárny však pracují na zvětšení těchto tiskových prostorů, v budoucnu se tato nevýhoda může částečně nebo úplně eliminovat. Spojení výtisků však není žádný problém, jak je možné vidět na obr. 17, na kterém je zachycen 1. vytisknutý rám jízdního kola metodou 3D tisku na světě, použitým materiálem na rám je titan.



Obr. 17 Titanový rám kola vyrobený metodou 3D tisku.

2.7 Laserové navařování [14, 15, 16]

Tato technologie umožňuje vícero využití. Jedna možnost je navařování materiálu (v podobě drátu) na již stávající součást, čehož se využívá například u oprav forem a nástrojů (automobilový, ropný a letecký průmysl, vstřikovací formy, ...), další možností je navařování povrchových vrstev pro zvýšení otěru, případně proti korozi s možností následného třískového obrábění. Poslední možností je výroba prototypů touto metodou, kdy se tryskami přivádí kovový prášek spolu s ochranným plynem (nejčastěji Argon) a středem hlavice paprsek laseru, který taví prášek. Ochranný plyn chrání místo navařování proti oxidaci stejně jako při navařování metodami MIG/MAG.

Výhodou navařování za pomoci laseru je bezesporu menší tepelně ovlivněná oblast v okolí místa návaru než např. při navařování elektrickým obloukem. Pro přehlednost jsou srovnány tyto dvě metody v tabulce (tab. 2). Jak je z tabulky patrné, při navařování laserem dochází k menšímu tepelnému ovlivnění oblasti na základě přesné fokusace paprsku o vysoké koncentraci energetického výkonu nastaveného přesně dle požadavků, který díky integrovanému chlazení garantuje stabilní výkon, a tedy i precizní návar bez pórů a vrubů. S tím souvisí menší nebo žádná směrová deformace, nedochází ke změně struktury a materiálových vlastností podkladového materiálu. Navařuje se za pomoci pulsních laserů o výkonech do 10 kW, záleží na šířce navařovaného místa. Samotný proces probíhá u menších dílců v uzavřené soustavě, kterou obsluha sleduje za pomoci mikroskopu případně přes kameru napojenou na monitor počítače. U dílců velkých rozměrů a hmotností je soustava otevřená. Stanice pro navařování můžou být osazeny CNC řídicí soustavou s lineárními osami a otočnou osou, případně 5tiosou soustavou známou z moderních CNC obráběcích center.

Tab. 2 Srovnání navaření laserem a elektrickým obloukem.

Technologie	Teplota v místě navařování	Ovlivněná oblast
Elektrický oblouk	až 500 °C	cca 15 mm
Laser	cca 36 °C	cca 1,5 mm

Výhodou práškového navařování prototypů (obr. 18) je cca 10× rychlejší stavba než u metody SLM a MLS. Není potřeba vytvářet podpory, dochází k natočení obrobku za pomoci dvou rotačních os vůči navařovací hlavě, která se pohybuje ve 3 osách. Navařovat můžeme stejné materiály jako u práškových metod **vyjma reaktivních – hliník, hořčík a titan**. Zrnitost dodávaného materiálu je vyšší, v rozmezí 45–150 μm

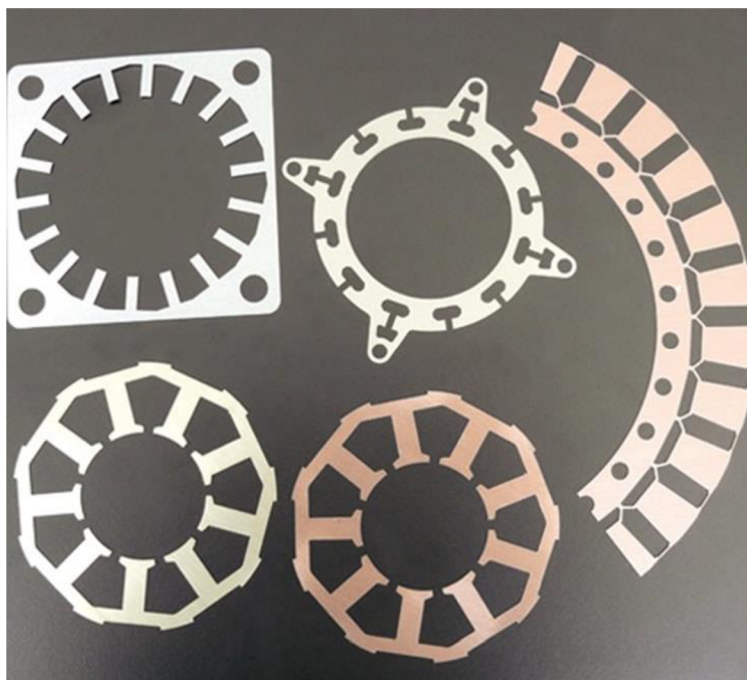


Obr. 18 Laserové navařování příruby pomocí prášku. [15]

3 PRODUKTIVITA PRÁCE A KAPACITNÍ MOŽNOSTI

Laserový paprsek je nejvíce produktivní při řezání geometricky složitých součástí z tenkých plechů, řádově od tloušťky plechu 0,5 – 10 mm. V současné době je hraniční tloušťka plechu, na nejvíce využívaných laserových pálicích strojích, cca 25 mm u konstrukční oceli, 15–20 mm u nerezové oceli a řádově v jednotkách milimetru (cca 5 mm) u hliníku a jiných barevných kovů. Zde nás limituje především nízký bod tání materiálů, kdy pro ocel známe bod tání okolo teploty 1500 °C, ale hliníku je tato teplota více než poloviční cca 660 °C, lépe je na tom mosaz s teplotou tání okolo cca 1000 °C. Pro řezání silnějších materiálů nad touto hranicí je vhodné brát na zřetel i jiné technologie dělení materiálu, jako řezání plasmou, vodním paprskem s abrazivem, případně elektroerozivní řezání.

Laser může tedy v řadě případů ekonomicky zefektivnit výrobu menších sérií výrobků z plechu například oproti hojně využívané technologii stříhání, pro kterou je zapotřebí nechat vyrobit cenově nákladný střížný nástroj a plechové tabule předem dělit na pásy o dané šířce. Pro příklad můžeme uvést plechy pro rotory a statory elektromotorů (obr. 19), které jsou geometricky velmi členité a mohou obsahovat množství různých otvorů.



Obr. 19 Příklady rotorových a statorových plechů. [27]

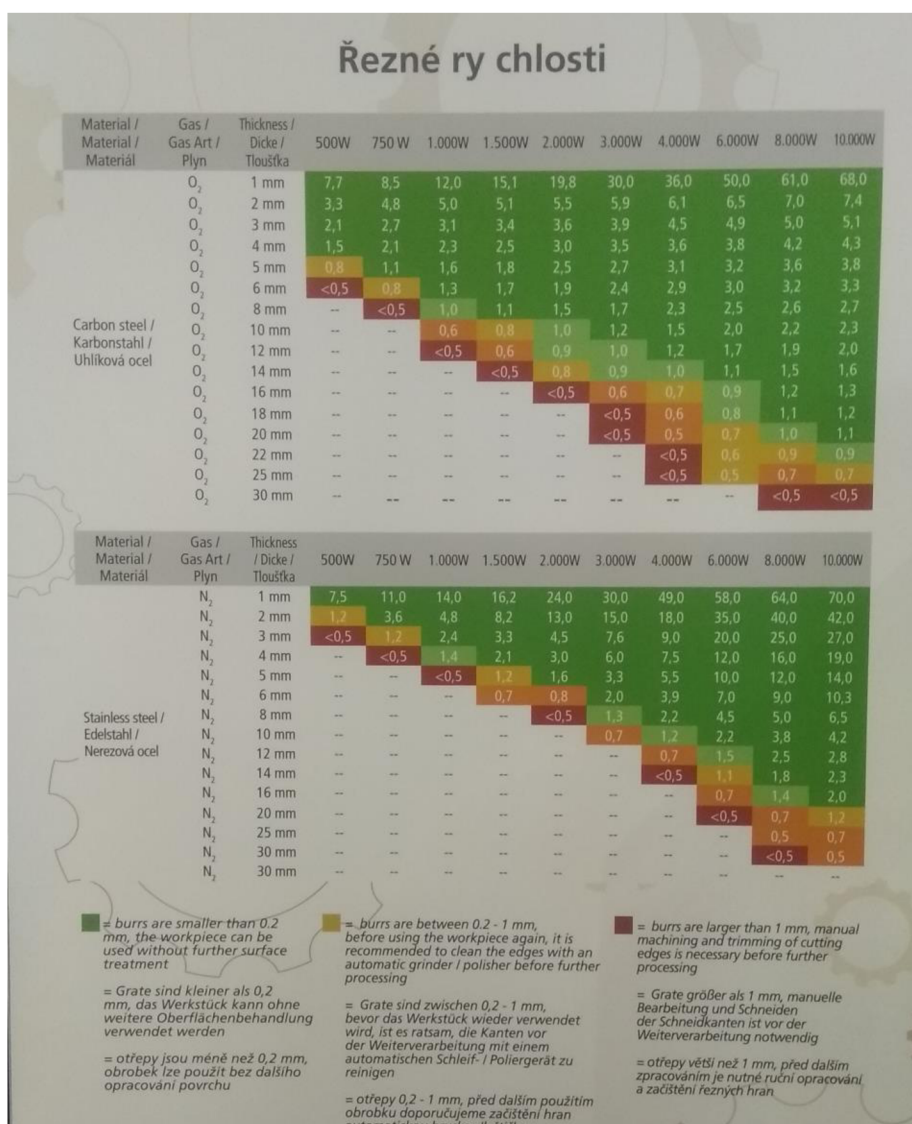
S tímto souvisí možné ušetření odpadu v podobě zbytků tabule plechu. Pálení laserem probíhá z celé tabule, u stříhání je tabule prvně dělena na pásy o předem dané šířce v závislosti na rozměrech výsledného výrobku. Při tomto dělení může dojít k zůstatku pásu plechu o nevyhovující šířce. U laseru se využívají pálicí programy tvořené technologem, případně obsluhou stroje. Tito by měli dbát na maximální možné využití tabule pro snížení výsledného odpadu, s čímž mohou pomoci softwarové programy napomáhající zvýšit efektivitu využití.

Dále je třeba vždy brát v potaz odrazivost laserového paprsku od povrchu řezaného materiálu v případě leštěných povrchů, jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2. Toto je třeba mít na paměti a objednávat u dodavatelů materiálu (plechy) kryté tenkou fólií určenou pro řezání laserem, takto kryté plechy jsou dražší. Pro příklad rozdíl v ceně mezi těmito tabulemi plechu leštěné nerezové oceli o rozměrech 0,5x1000x2000 mm je 64 Kč bez DPH [26].

Jako polotovary jsou v největším procentu zastoupení využívány plechové tabule o rozměrech 1500x3000 mm.

Pro zvýšení efektivity jsou laserové pálicí stroje vybaveny dvěma stoly s pálicími rošty, které se mezi sebou dokáží automaticky vyměnit v řádech jednotek sekund. Na jednom stole dochází k dělení materiálu podle vytvořeného pálicího plánu, zatímco druhý stůl je umístěn odděleně mimo pálicí část stroje. Zde může obsluha vyjmout vypálené výrobky, uložit je na určená místa, odebrat vzniklý odpad a připravit novou tabuli pro další pálení. Plazmové pálicí stroje i stroje pro řezání vodním paprskem mají pouze jeden stůl, proto je část výrobní kapacity ponížena právě o manipulační časy obsluhy určené k výše zmíněným přípravným a dokončujícím činnostem.

Dalším prostorem pro ušetření výrobních nákladů je volba řezné rychlosti. Jak je patrné z obr. 20, vhodnou volbou řezné rychlosti můžeme eliminovat vznik otřepů na spodní straně výpalku. Tím odpadá čas potřebný pro odjehlení výrobků brousícím kotoučem případně jiným způsobem. Další ušetření nákladů může představovat možnost využít další technologické vybavení firmy, jako např. ohráňovací lisy, díky kterému nemusíme převážet výpalky do jiných firem a ušetřit tak náklady spojené s expedicí.



Obr. 20 Řezné rychlosti vláknového laseru.

Výrobní kapacitu nelze zvýšit řezáním více plechů umístěných na sebe, případně celého svazku plechů. Nedojde k rozřezu, nýbrž ke svaření plechů k sobě.

4 PROVOZ A ÚDRŽBA LASEROVÉHO PAPRSKU

Pro vlastní provoz laserových zařízení je třeba asistenčních plynů, které jsou dodávány o požadované čistotě v tlakových lahvích. Laserové pálicí zařízení v provozech fungují povětšinou v třisměnném, popř. nepřetržitém provozu, z tohoto důvodu je třeba mít připraveny náhradní naplněné tlakové lahve a zajistit výměnu prázdných. Vhodnou volbou jsou svazky plynových lahví, obsahujících 12 kusů lahví o jednotlivém objemu 50 l. Tyto svazky mají jednak jeden ventil spojující všechny lahve dohromady, což přispívá ke snížení rizika neopatrné manipulace při častější výměně jednotlivých lahví a dále jsou chráněny konstrukcí, která tyto lahve drží u sebe a chrání před převrnutím, případně poškozením. Jako výhoda může být uvedeno i méně častá manipulace s lahvemi, která přispívá prevenci vzniku úrazů. Jedna z nevýhod jsou rozměry, zejména pak hmotnost celého svazku a nutnost manipulace vysokozdvížným vozíkem případně za pomoci jeřábu. Nabídku tlakových lahví můžeme vidět na obr. 21. Nejčastěji se využívají tlakové lahve s kyslíkem (O_2), dusíkem (N_2) případně Argonem (Ar).



Obr. 21 Objemy tlakových lahví. [30]

U CO₂ laseru dochází provozem k opotřebení zlacené vrstvy odrazných zrcadel, které slouží k přivedení paprsku na čočku ze slitiny zinku a selenu, u níž dochází také k opotřebení nebo může dojít ke kolmému odrazu paprsku zpět do hlavice a rozbití této čočky. Tyto uvedené části jsou znázorněny na obr. 22, představujícím řeznou hlavu CO₂ laseru spolu s držáky zrcadel.



Obr. 22 Části CO₂ laseru. [29]

Výměnu fokusovacích čoček, případně u CO₂ laseru směrovacích zrcadel, zvládne obsluha pálicího stroje. Složitější servisní zásahy je vhodné přenechat vyškoleným servisním pracovníkům prodejce stroje, a to s ohledem na ceny náhradních dílů a neproduktivní čas nutný k servisu.

ZÁVĚR

Byla provedena rešerše na technologické možnosti využití laserového paprsku v podmínkách současného strojírenství se zaměřením na princip fungování laserového paprsku a dělení materiálu laserem. Dále byly v bakalářské práci zmíněny technologické možnosti laseru, které jsou v současném strojírenství nejvíce zastoupeny, jako je laserové svařování, vrtání a kalení.

Zmíněny byly i technologie, které jsou v současné době na vzestupu využívání, konkrétně 3D tisk kovu za pomoci laseru, laserové navařování materiálu a čištění povrchu laserem.

Byla provedena rozvaha o produktivitě práce na laserových pálicích strojích společně s kapacitními možnostmi těchto strojů. Dělení materiálů laserem je nejvíce vhodné pro řezání tenkých plechů od tloušťky 0,5 mm do 10 mm. S narůstající tloušťkou materiálu se výhodnost laseru snižuje, hraniční síla u konstrukční oceli s ohledem na ekonomickou efektivnost a povrch řezané hrany je cca 25 mm, u nerezové oceli cca 20 mm a u neželezných kovů se pohybuje v rámci jednotek milimetru z důvodu nízkého bodu tání těchto materiálů.

V potaz byly brány i vstupní materiály, kdy je pro laser v případě lesklých povrchů nutné poptávat materiály opatřené krycí fólií z důvodu zamezení odrazu paprsku zpátky do řezací hlavy.

V závěru bylo částečně zhodnoceno i hledisko nákladů spojených s provozem laserového paprsku společně s údržbou těchto strojů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LASER A JEHO VYUŽITÍ. *LASER A JEHO VYUŽITÍ* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k12.htm>
- [2] Historie vývoje laseru – Leonardo technology s.r.o. - Automatizace průmyslového značení. *Leonardo technology s.r.o. - Automatizace průmyslového značení* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/e-learning/laser/historie-vyvoje-laseru>
- [3] Možné dělení typů a druhů laserů – Leonardo technology s.r.o. - Automatizace průmyslového značení. *Leonardo technology s.r.o. - Automatizace průmyslového značení* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/e-learning/laser/mozne-deleni-typu-a-druhu-laseru>
- [4] LASER A JEHO VYUŽITÍ. *LASER A JEHO VYUŽITÍ* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>
- [5] LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
- [6] Kalení laserem urychluje výrobu součástí a nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011(7), 60 [cit. 2019-04-20]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kaleni-laserem-urychluje-vyrobu-soucasti-a-nastroju.html>
- [7] Laserové povrchové kalení oceli – LaserTherm. *Lasery pro průmyslové technologie, laserové systémy – LaserTherm* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.lasertherm.cz/sluzby/laserove-kaleni/>
- [8] Galerie – LaserTherm. *Lasery pro průmyslové technologie, laserové systémy – LaserTherm* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.lasertherm.cz/galerie/laserove-kaleni-ozubenych-hrebenu/>
- [9] SLS, SLA, SLM, MLS technologie. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/slm-technologie/>
- [10] ZELENÝ, Petr a Adam LUKE. 3D tištěná versus obráběná?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018(4), 72 [cit. 2019-04-21]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/3d-tistena-versus-obrabena.html>
- [11] ROZKOŠNÝ, Luboš. Technologie DMLS – 3D tisk kovů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2017(4), 108 [cit. 2019-04-21]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-dmls-3d-tisk-kovu.html>
- [12] 3D tisk kovů DMLS SLM | Technologie 3D tisku a materiály. *Home | Materialise - Innovators you can count on* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/3d-tisk-kovu>
- [13] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [14] *Laserové navařování* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://infocube.cz/wp-content/uploads/2012/04/kovoinzert-top-1-2010-28-29.pdf>

- [15] MAREK, Pavel. *Dva stroje pro aditivní výrobu kovových dílů* [online]. 2017(4), 102 [cit. 2019-04-24]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dva-stroje-pro-aditivni-vyrobu-kovovych-dilu.html>
- [16] *Laserové navařování* [online]. 2001(4), 67 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-navarovani.html>
- [17] Seriál na téma lasery - Laserové svařování I (laser welding) > LAO - lasery a optika. *LAO – lasery a optika* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-svarovani-i-laser-welding-134>
- [18] MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_svarovani_lasem_rem_2013_mrna.pdf
- [19] Vrtání | TRUMPF. *TRUMPF GmbH + Co. KG | TRUMPF* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/pouziti/laserove-rezani/vrtani/
- [20] Laserové vrtání – Narran s.r.o. – servis a prodej laserů. *Narran s.r.o. – servis a prodej laserů* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://narran.cz/laserove-vrtani/>
- [21] Lasery pro čištění – LASCAM systems. *LASCAM systems – průmyslové laserové a kamerové systémy* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.lascam.cz/lasery-pro-cisteni/>
- [22] O čištění – Laserové čištění. *Laserové čištění* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://laserove-cisteni.cz/o-cisteni/>
- [23] Laserové značení a gravírování > LAO - lasery a optika. *LAO – lasery a optika* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/aplikace-79/laserove-znaceni-89>
- [24] Hluboké gravírování laserem – Lintech. *Homepage – Lintech* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/novinky/hluboke-gravirovani-laserem/>
- [25] Seriál na téma lasery - Základní princip laseru a jejich dělení > LAO - lasery a optika. *LAO – lasery a optika* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [26] Nerez plechy | NerezMaterial, eshop Brno, rozvoz ČR SR. *NerezMaterial, eshop Brno, rozvoz ČR SR* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.nerezmaterial.cz/produkty-plechy>
- [27] Výrobní možnosti. *VELUZA s.r.o. - CNC obrábění, zámečnictví* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.veluza.cz/cs/vyrobní-moznosti/cnc-laser-stiefelmayer-effective-1>
- [28] CO2 Laser Head/Mirror/Lens Integrative Mount – CNCPartsOnline. *CNCPartsOnline - CNCPartsOnline is Your one stop shop for CNC Router parts, Plasma Parts, Laser Parts and accessories* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.cncpartsonline.com/product/co2-laser-head-mirror-and-lens-integrative-mount-laser-cutting-engraving-2/>
- [30] Typy lahví | Linde Gas a.s. *Home Page | Linde Gas a.s.* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: https://www.linde-gas.cz/cs/produkty_and_zasobovani/type_of_cylinders/index.html

[31] KOŘÁN, Pavel. *Průmyslové lasery (5) - Laserové řezání* [online]. 2012(10), 50 [cit. 2019-05-05]. ISSN 1212-2572. Dostupné z:

<https://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-5-laserove-rezani.html>

[32] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. *Nekonvenční metody obrábění – 5. díl* [online]. 2008(5), 68 [cit. 2019-05-05]. ISSN 1212-2572. Dostupné z:

<https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil.html>

[33] ŘEŘUCHA, Jan. *Laserové řezání: zavedený standard v průmyslu* [online]. 2018(1), 50 [cit. 2019-05-05]. ISSN 1212-2572. Dostupné z:

<https://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-rezani-zavedeny-standard-v-prumyslu.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Popis	Jednotka
DPH	daň z přidané hodnoty	–
MAG	Metal Active Gas (ochranná atmosféra aktivního plynu)	–
MIG	Metal Inert Gas (ochranná atmosféra inertního plynu)	–