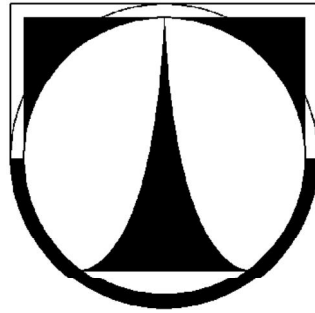


Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní



Jaroslav Batala

APLIKACE LASERU U PROTOTYPU CNC STROJE

Diplomová práce

2011

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor : Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření : Obráběcí a montážní stroje

APLIKACE LASERU U PROTOTYPU CNC STROJE
APPLICATION OF LASER AT A PROTOTYPE OF CNC
MACHINE

KVS - OS - 321

Jaroslav Batala

Vedoucí práce : Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Počet stran : 69

Počet příloh : 19

Počet obrázků : 27

Počet tabulek : 6

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

V Liberci 26.5.2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Jaroslav B a t a l a
Studijní program	M 2301 Strojní inženýrství
Obor	23 02T010 Konstrukce strojů a zařízení
Zaměření	Obráběcí a montážní stroje

Ve smyslu zákona č. 111/1998 sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Aplikace laseru u prototypu CNC stroje

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

Hlavním cílem této práce je aplikovat laserové zařízení u prototypu CNC stroje, který se nachází v laboratořích KVS. Navrhnout možná řešení, provést realizaci a odladění zařízení.

Doporučené metody pro vypracování:

1. Provést přehled a rozbor laserových zařízení, jejich princip, výhody a nevýhody. Vyhledat v literatuře či jiných zdrojích informace z této oblasti.
2. Na základě zjištěných informací a požadavků navrhnout vhodné zařízení pro prototyp CNC stroje a navrhnout potřebné úpravy konstrukce stroje.
3. Provést úpravy na stroji a zprovoznit laserové zařízení u prototypu CNC stroje. Stanovit bezpečnostní a jiná opatření při práci s laserem.
4. Za účelem odladění a otestování možností laserového zařízení provést pokusné řezy pro různé materiály a tloušťky plechů.

Forma zpracování diplomové práce:

Rozsah průvodní zprávy cca 60 stran textu včetně příloh.

Diplomová práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložena na CD (či DVD) k tištěnému svazku diplomové práce

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

ZELENÝ, P.: *Návrh a konstrukce prototypu víceúčelového CNC stroje*, Disertační práce, TUL 2006

VRBOVÁ, M.: *Lasery a moderní optika*. Praha, Prometheus, 1994. ISBN 80-85849-56-9

ŘASA, J. – JINDROVÁ, R.: *Lasery, laserové technologie a stroje s laserem*. MM Průmyslové spektrum 7.8/2006, str. 34-36, ISSN 1212-2572


MAREK, J.: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Speciální vydání MM Průmyslové spektrum, září 2006, ISSN 1212-2572


Firemní katalogy a podklady.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry


Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 1. března 2011

TÉMA : APLIKACE LASERU NA PROTOTYPU CNC STROJE

ANOTACE : V této diplomové práci je vysvětlen princip laseru a jsou zde popsány jeho nejčastěji používané typy. Dále zde čtenář nalezne vyjmenovaná některá vyráběná laserová zařízení a porovnání jejich vhodnosti použití pro laserové popisování, gravírování a řezání. Jsou zde také shrnuty informace z oblasti laserového obrábění. Poté je dle počátečních požadavků vybráno nejvhodnější laserové zařízení a je zde také uveden návrh potřebných úprav na CNC stroji tak, aby bylo možné provést testovací řezy. Je zde i kapitola věnovaná bezpečnosti práce na laserovém pracovišti.

THEME : APPLICATION OF LASER AT A PROTOTYPE OF CNC MACHINE

In this diploma is explained the principle of laser and there is described its most common used types. Reader can also find some named laser machinery, which is made and comparison of its propriety use for laser describing, micro cutting and cutting. The information about laser cutting is summarized here. Then, according to the initial requirements the most suitable laser equipment is chosen. A proposal of needed modifications is also introduced here so that it would be possible to carry out cutting tests. There is also part about safety at laser workplace included.

Klíčová slova: Laser, CNC, Laserové popisování, Laserové gravírování, Řezání laserem, Laserová zařízení

Zpracovatel : TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2011

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 69

Počet příloh : 19

Počet obrázků : 27

Počet tabulek : 6

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Petru Zelenému, Ph.D. za věcné připomínky, rady a nápady, které byli velkým přínosem při zpracování této diplomové práce a nepochybně přispěli k jejímu zkvalitnění. Také bych chtěl poděkovat panu Jiřímu Šafkovi a panu Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za asistenci při provádění zkušebních řezů.

Dále bych chtěl poděkovat rodině za trpělivost a podporu, které se mi od nich dostávalo během celé doby studia, zvláště pak své babičce, která mě vždy podporovala, ale zakončení mého studia se už bohužel nedožila.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1. ÚVOD.....	12
2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	13
3. VZNIK A PRINCIP LASERU	14
3.1 Základní pojmy	14
3.2 Základní parametry	15
4. TYPY LASERŮ.....	17
4.1 Shrnutí	17
5. LASEROVÉ POPISOVÁNÍ A GRAVÍROVÁNÍ.....	19
5.1 Laserové popisování	19
5.1.1 Výhody a nevýhody laserového popisování	19
5.1.2 Maskovací metoda	20
5.1.3 Metoda vychylování svazku.....	20
5.2 Laserové gravírování.....	21
6. ŘEZÁNÍ LASEREM.....	22
6.1 Základní parametry laserového řezání	22
6.2 Způsoby řezání laserem.....	23
6.2.1 Tavná metoda	23
6.2.2 Sublimační metoda	24
6.2.3 Oxidační metoda (pálením).....	24
6.3 Plyny pro řezání laserem.....	24
6.3.1 Dusík	24
6.3.2 Kyslík	25
6.3.3 Argon	25
6.3.4 Směsné plyny	25
7. PŘEHLED A ROZBOR VHODNÝCH LASEROVÝCH ZAŘÍZENÍ.....	26

7.1 Lasag Industrial Lasers.....	26
7.1.1 FLS.....	26
7.2 Medicom.....	27
7.2.1 LDI 10.....	27
7.3 IPG.....	28
7.3.1 YLR 500 SM.....	28
7.3.2 YLS xxxx, YLS xxxx CL.....	28
7.4 GSI Lasers.....	29
7.4.1 JK Fiber Lasers.....	29
7.5 PRC Laser Corp.....	29
7.5.1 GL 1000.....	30
7.6 Rofin.....	30
7.6.1 FL xx, FL xx S.....	30
7.7 Trumpf.....	31
7.7.1 TruFlow 700.....	31
7.7.2 TruCoax 1000.....	31
7.7.3 HL cw lasery (HL 383 D, HL 703 D).....	32
7.7.4 TruPulse 556.....	32
8. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ.....	33
9. NÁVRH NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ.....	34
9.1 Shrnutí výchozích informací.....	34
9.2 Návrh nejvhodnějšího laserového zařízení.....	34
10. VYBRANÉ LASEROVÉ ZAŘÍZENÍ.....	36
10.1 Popis zařízení.....	36
10.2 Technické údaje.....	37
11. BEZPEČNOST LASEROVÉHO PRACOVIŠTĚ.....	38
11.1 Osobní bezpečnost obsluhujícího personálu.....	38

11.1.1	Základní bezpečnostní pravidla při práci s laserem	38
11.1.2	Návrh vhodných ochranných brýlí	39
11.1.3	Zakrytování pracovního prostoru	40
11.2	Zabezpečení okolí pracoviště	40
11.2.1	Aplikace ochranných prvků v laboratořích KVS	40
12.	POTŘEBNÉ ÚPRAVY NA CNC STROJI	42
12.1	Uvažovaný CNC stroj	42
12.2	Strana nástroje	43
12.2.1	Přípevnění procesní hlavy	43
12.2.2	Způsob vedení optického vlákna	44
12.3	Strana obrobku – upínač plechů	45
12.3.1	Varianta 1	45
12.3.2	Varianta 2	46
12.3.3	Varianta 3A	47
12.3.4	Varianta 3B	48
12.3.5	Specifikace roštu	51
13.	TESTOVACÍ ŘEZY	52
13.1	Varianty nastavení laseru pro testovací řezy	53
14.	MOŽNOST PROPOJENÍ LASERU S ŘÍDÍCÍM SYSTÉMEM STROJE	55
14.1	Konektory laseru JK 400 FL	55
14.1.1	SK101 – TTL Trigger / Gate	56
14.1.2	PL1 – Sériový port	56
14.1.3	SK11 - Bezpečnostní spínače	56
14.1.4	PL5 – Strojové M / C rozhraní	57
14.2	Možnosti řízení laseru	58
15.	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63

SEZNAM OBRÁZKŮ	67
SEZNAM TABULEK.....	68
SEZNAM PŘÍLOH.....	69

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al_2O_3	Oxid hlinitý
Ar_2	Argon
CD	Compact disc (Kompaktní disk)
CNC	Computerized numerical control (Číslicové řízení počítačem)
CO	Oxid uhelnatý
CO_2	Oxid uhličitý
Cr	Chróm
Cr^{3+}	Trojmocný iont chrómu
DVD	Digital versatile disc (Digitální víceúčelový disk)
Er	Erbium
GaAs	Galiumarsenid
Gd^{3+}	Trojmocný iont gadolinia
He : Ne laser	helium neodymový laser
IR	Infračervené záření
KrF	Fluorid kryptonu
KVS	Katedra výrobních systémů
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Zesílení světla pomocí vynucené (stimulované) emise záření)
N_2	Dusík
Nd	Neodym
Nd^{3+}	Trojmocný iont neodymu
Nd_2O_3	Oxid neodymitý
PC	Personal Computer (Osobní počítač)
Pr^{3+}	Trojmocný iont praseodymu
Sm^{2+}	Dvojmocný iont samaria
TEA	Transversal Excitation at Atmospheric Pressure (Příčná excitace při atmosférickém tlaku)
TUL	Technická univerzita v Liberci
U^{3+}	Trojmocný iont uranu
UV	Ultrafialové záření

XeCl	Chlorid xenonu
XeF	Fluorid xenonu
XeO	Oxid xenonu
YAG	Yttrio-hlinitý granát
Yb ³⁺	Trojmocný iont yterbia

1. ÚVOD

Laser patří mezi mladší vynálezy 20. století a jeho objev je považován za jednu z nejvýznamnějších událostí. I přes jeho relativní mladost se stal důležitou součástí našeho života. Slovo LASER je vlastně zkratkou anglického názvu "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*". To se dá přeložit jako "*zesílení světla pomocí vynucené (stimulované) emise záření*". [1]

Laser se objevuje v široké škále aplikací. Ať už jde o strojírenství, medicínu nebo třeba běžný život. Lasery se používají v holografii, v tiskárnách, v telekomunikaci, usnadňují měření, slouží jako odměřovače v dávkovačích. Laserem můžeme svářet, řezat, popisovat gravírovat atd.

Laserové popisování je technologie s celou řadou výhod. Je přesná, rychlá, efektivní, ekologická, vysoce produktivní. Oproti tomu však stojí i nevýhody, a to hlavně technologická náročnost.

Dělení materiálu laserem je operace přesná, rychlá a čistá a s minimálním prořezem. Nejpodstatnější výhodou je, že dostaneme dokonale čistý a velice přesný řez bez nutnosti dalších úprav. Nevýhodou v tomto případě je omezení maximální tloušťkou materiálu.

Laserové gravírování je moderní technologie použitelná na širokou škálu materiálů. Princip této metody spočívá v odpařování materiálu z povrchu předmětu v řádu několika mikrometrů.

Laserové popisování, řezání i gravírování řadíme mezi tzv. nekonvenční technologie obrábění. U těchto metod nedochází k úběru materiálu důsledkem mechanické síly, ale využívá se zde některého z fyzikálních nebo fyzikálně chemických principů.

2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zmapovat trh s výrobci laserových zařízení sloužících k popisování, gravírování a řezání materiálu a sestavení stručného výčtu jednotlivých laserových zařízení a jejich popis. Z uvedených zařízení bude vybráno nejvhodnější řešení, splňující požadavky Katedry výrobních systémů (KVS). Těmi jsou popis, gravírování a hlavně laserové dělení plechu z nerezové oceli do tloušťky 4 mm. Dalším cílem je návrh a provedení potřebných úprav na prototypu CNC stroje nacházejícího se v laboratořích KVS. To zahrnuje úpravu pro upnutí laserové hlavy, způsob přívodu laserového paprsku do místa obrábění a návrh upínače pro zakládání plechů. Další úpravy budou jistě souviset s bezpečností laserového pracoviště. Nakonec ještě budou provedeny testovací řezy, které budou mít za účel, vyzkoušet nastavení laseru pro různé materiály a odlišné tloušťky plechů.

3. VZNIK A PRINCIP LASERU

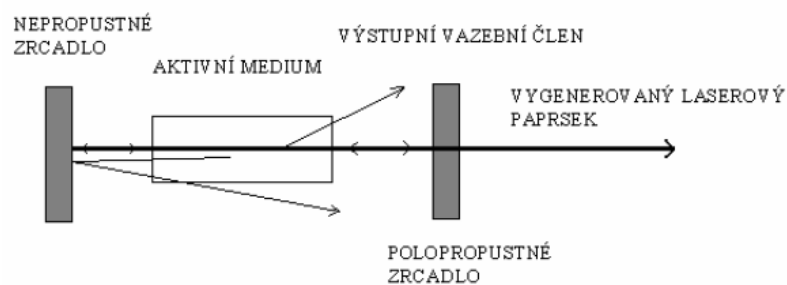
Princip laseru teoreticky popsal již v roce 1917 Albert Einstein a jde o tzv. indukovanou (simulovanou) emisi. Jeho teorii koncem 20. let minulého století rozvedl a podložil detailnější matematickou dokumentací anglický fyzik Paul Adrien Maurice Dirac. Základy kvantové elektroniky však byly položeny až začátkem 50. let. Nejvíce se o to zasloužil v roce 1958 Charles Hard Townes se svým týmem, který provedl správné výpočty a umožnil tak realizovat myšlenku teorie kvantového záření. Toho v roce 1960 využil T. H. Maimann k sestrojení prvního laseru. Jako aktivní prostředí použil krystal rubínu, jeho koncové stěny vyleštil a opatřil vrstvou stříbra (funkce zrcadla). Když tento krystal ozářil zelenou barvou, pronikl jedním ze zrcadel červený paprsek laserového světla. [2], [3]

Laser je kvantový generátor a zesilovač koherentního optického záření. Laserové světlo se od obyčejného výrazně odlišuje. Je monochromatické, koherentní, s malou rozbíhavostí a vysokou hustotou přenášeného výkonu. Koherentní (vnitřně uspořádané) světlo má jedinou frekvenci a fázi. Tyto vlastnosti jsou vlastní pouze laserovému světlu.

3.1 Základní pojmy

- Inverze populace: Nastává, pokud je na vybuzené hladině více elektronů než na hladině základní. Toho se dosáhne správným čerpáním aktivní látky. Čerpání může být buzeno:
 - a) Opticky – výbojka, dioda
 - b) Elektricky – výboj, proud procházející P/N přechodem
 - c) Chemicky – chemická reakce vytvářející potřebné molekuly nebo ionty
 - d) Jadernými reakcemi aj.
- Aktivní prostředí: Součást laseru, ve které dojde vhodným čerpáním k vybuzení elektronů nebo molekul na požadovanou pracovní hladinu. Rozeznáváme pracovní látky:
 - a) Plynné – He:Ne laser, oxid uhličitý, Argonový laser, Hélium – kadmiový laser, ...
 - b) Kapalinové – Rhodaminový laser, ...
 - c) Krystalické – Rubín, Nd:YAG, Er:YAG, ...

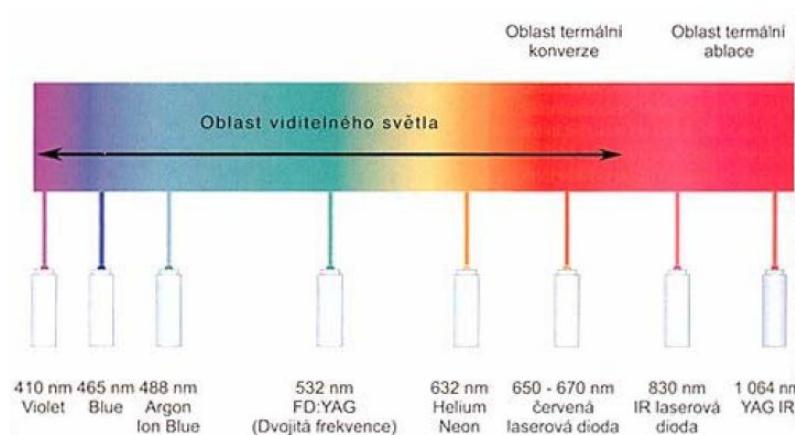
- d) Polovodičové – GaAs, GaAsN, ...
 - e) Molekulové – XeCl, XeF, ...
 - f) Plazma – C⁵⁺
- Otevřený rezonátor: Většinou je tvořen dutinou se dvěma zrcadly, jedním polopropustným a jedním odrazným. Do dutiny se vkládá aktivní látka. Princip je v tom, že emitovaná vlna se odráží a při zpětném pohybu vybuzuje další nucené emise fotonů. [1]



Obr. 1 Schéma rezonátoru [1]

3.2 Základní parametry

Základní parametry ovlivňující kvalitu laserového zařízení jsou tři. Hlavním parametrem je vlnová délka laserového záření. Ta určuje oblast použití paprsku. Rozeznáváme lasery pracující v infračervené oblasti (IR), pro které je vlnová délka vyšší než 630 nm, lasery pracující v oblasti viditelného světla s vlnovou délkou 380 – 630 nm a lasery ultrafialové (UV). Ty pracují s vlnovými délkami kratšími než 380 nm. [1] Dalším parametrem je výkon. V dnešní době už dosahují lasery výkonů kolem 20 kW (plynový CO₂ laser od firmy Trumpf). [4] Pouze podle výčtu posledním v řadě, nikoli však podle významu, je životnost laserového zařízení.



Obr. 2 Přehled laserů a jejich vlnové délky [1]

Jak je vidět z obrázku 2, je v současnosti paprskem s nejnižší vlnovou délkou v oblasti viditelného světla laser fialový (violet, 395 – 410 nm). Jedná se o paprsek s velmi nízkou energetickou náročností (už pod 5 mW). Dalším v pořadí už s o něco vyšší, ale stále nízkou energetickou náročností je modrý laser (blue, 465 nm). Dále pak následuje laser argonový (Argon Ion Blue, 488 nm). Ten je současně plynovým laserem s nejnižší vlnovou délkou. Jedním z nejpoužívanějších laserů je krystalový Nd:YAG laser. Ten má zdvojenou frekvenci, vlnovou délku 532 nm a energetickou náročnost kolem 100 mW. Dalším často používaným laserem je Helium Neon laser s vlnovou délkou 632 nm. [1]

4. TYPY LASERŮ

Nejdůležitější podmínkou pro realizaci laseru je zvolení vhodného aktivního prostředí. V tom musí dojít k vytvoření inverze populace energetických hladin elektronů a zároveň pomocí otevřeného rezonátoru k zabezpečení kladné zpětné vazby. Ta má za účel zesílení generovaného záření. Podle skupenství aktivního prostředí můžeme lasery dělit na:

- pevnolátkové (rubín, yttrium aluminium granát, sklo, keramika),
- kapalinové,
- plynové,
- chemické,
- polovodičové (laserové diody).

Dále rozeznáváme lasery podle režimu generování paprsku na:

- pulzní,
- kontinuální.

Lasery lze ještě dělit podle způsobu čerpání. To může být:

- optické,
- elektrickým výbojem,
- chemickou reakcí,
- elektronovým svazkem,
- radioaktivním zářením.

Konečně podle vlnové délky máme lasery:

- submilimetrové,
- infračervené,
- viditelné,
- ultrafialové,
- rentgenové.

Více informací o jednotlivých typech viz literatura uvedená v odkazech. [1], [4], [5]

4.1 Shrnutí

Laserů je velké množství, a proto jsou zde uvedeny jen ty nejběžnější. Pro shrnutí a stručný popis výše uvedených druhů laserů slouží následující tabulka.

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Příklady použití
Pevnolátkové				
Rubínový laser	Rubín	694,3 nm	červená	holografie, odstraňování tetování
Nd:YAG laser	Neodym, YAG	1064 nm	IR	litografie, chirurgie, strojírenství, spektroskopie
Ho:YAG laser	Ho:YAG	2,1 μm	IR	chirurgie, stomatologie
Er:YAG laser	Erbium, YAG	2,94 μm	IR	chirurgie, stomatologie
Titan-safírový laser	titan, safír	690 - 1000 nm	červená, IR	spektroskopie, fs pulsy
Alexandritový laser	Alexandrit	700 - 800 nm	červená, IR	žihání, řezání
Kapalinové				
Rhodamin 6G laser	Rhodamin 6G	570 - 650 nm	žlutá, oranžová, červená	dermatologie, spektroskopie, informační technika
Kumarin C30 laser	Kumarin C30	504 nm	zelená	oftalmologie, chirurgie
Plynové - Atomární				
He-Ne laser	hélium, neon	543 nm, 633 nm	zelená, červená	zaměřování polohy
Měděný laser	měď	510 nm, 578 nm	zelená	podmořská komunikace a lokace
Jodový laser	jód	342 nm, 612 nm 1315 nm	viditelné, IR	věda, termojaderná syntéza
Plynové - Iontové				
Argonový laser	argon	488 nm, 514 nm	modrá, zelená	oftalmologie, spektroskopie
Hélium-kadmiový laser	hélium, kadmium	325 nm, 442 nm	UV, modrá	spektroskopie
Plynové - Molekulární				
CO ₂ laser	Oxid uhličitý	10,6 μm	IR	sváření, řezání, stomatologie, gravírování
CO laser	Oxid uhelnatý	5 - 6,5 μm	IR	technologie, vojenská a kosmická technika, vědecký výzkum
Excimerové lasery	ArF, KrCl, KrF, XeCl, XeF	193 - 351 nm	UV	oftalmologie, laserová ablace, fotolitografie
Dusíkový laser	dusík	337 nm	UV	Medicína, spektroskopie
Polovodičové				
GaAs laser	GaAs	650 nm, 840 nm	červená, IR	laserová ukazovátka, laserová tiskárna
GaAlAs laser	GaAlAs	670 - 830 nm	červená	telekomunikace, přehrávače CD, displeje
AlGaInP laser	AlGaInP	650 nm	červená	přehrávače DVD
GaN laser	GaN	405 nm	modrá	Blu-ray disky
InGaAlP laser	InGaAlP	630 - 685 nm	červená	lékařství
Vláknové lasery				
	Ytterbiové vlákno	1055 - 1075 nm	IR	Řezání, popis, gravírování

Tab. 1 Shrnutí jednotlivých druhů laserů (upraveno dle [6])

Nejrozšířenějšími lasery v průmyslové praxi jsou CO₂ a Nd:YAG lasery, přičemž se pomalu začínají prosazovat i lasery vláknové.

5. LASEROVÉ POPISOVÁNÍ A GRAVÍROVÁNÍ

5.1 Laserové popisování

Laserové popisování je technologie, která umožňuje velmi přesné a rychlé značení převážné většiny materiálů. K popisu dochází prostřednictvím laserového paprsku dopadajícího na povrch značeného materiálu. Mezi nástrojem a popisovanou součástí tedy nedochází k přímému kontaktu, a proto nedochází k deformaci ani ke znečištění popisovaného povrchu.

Značení laserem nabízí velké množství způsobů použití. Mohou se popisovat plochy rovinné i válcové, lze popisovat po kružnici a dokonce i na nepřístupných místech. Za podmínky použití vhodného typu laseru lze popisovat oceli (i nerezové), slinuté karbidy, hliník (také eloxovaný), kůži, papír, plasty aj. K laserovému popisování se nejčastěji využívají CO₂ lasery, vláknové lasery a Nd:YAG lasery s výkony od 20 do 100 W.

5.1.1 Výhody a nevýhody laserového popisování [7], [8]

Hlavní výhodou je rychlost popisu a velká flexibilita při změně popisu (výměna masky, změna programu). Dalšími přednostmi pak jsou: nízká cena popisu, vysoká produktivita, trvanlivost, nesmazatelnost a další. Všechny výhody jsou shrnuty v následujícím výčtu.

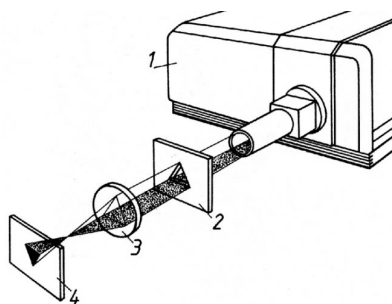
- Vysoká kvalita popisu
- Variabilita popisu
- Trvanlivost vůči působení tepla, chemikálií a UV záření
- Bezkontaktní značení (žádné znečištění výrobku, nebezpečí deformace, opotřebení nástrojů)
- Ekologická nezávadnost (nepoužívají se barvy a rozpouštědla)
- Možnost popisu širokého rozsahu materiálů
- Vysoké rozlišení značících symbolů
- Vysoká rychlost a přesnost značení
- Možnost popisu tvarově náročných součástí
- Jednoduché začlenění do výrobního procesu
- Ekonomická výhodnost
- Minimální údržba zařízení

Na druhou stranu má laserový popis i své stinné stránky. Jsou to hlavně vysoké pořizovací náklady a odlišná kvalita označení různých materiálů.

5.1.2 Maskovací metoda [1], [9]

Pro značení se používá dvou rozdílných metod, metody maskovací a metody vychylování svazku.

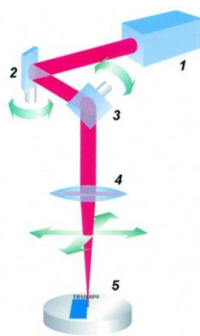
Maskovací metoda je metodou kopírovací. Maska, ve které je proražena nebo vyřezána kopie odpovídajícího znaku nebo kódu se prosvítí laserovým paprskem a tento se poté promítne přes spojnou čočku na povrch značeného objektu. Tato metoda popisu je rychlá a velmi produktivní. Ovšem flexibilita je poněkud horší, protože se změnou symbolu se musí vyrobit nová maska. Základním parametrem ovlivňujícím kvalitu popisu je hustota energie dopadající na povrch značkováného objektu. Zvýšení hustoty energie se dosáhne zmenšením čočkou promítaného obrazu oproti původní velikosti obrazu hned za maskou.



Obr. 3 Schéma popisu maskovací metodou [9]

5.1.3 Metoda vychylování svazku [1], [9]

V tomto případě je paprsek veden pomocí dvou galvanometrických zrcadel, která se pohybují v osách x a y a přenáší se optickou soustavou na popisovaný povrch. Tato metoda je velice flexibilní a proti maskovací metodě může nabídnout mnohem větší popisovací prostor.



Obr. 4 Schéma popisu metodou vychylování svazku [9]

5.2 Laserové gravírování

Velmi podobnou technologií jako je laserové popisování je laserové gravírování. Laserové gravírování je dnes velice uplatňovaná technologie určená k vytváření různých popisů, log, ornamentů atp. Při gravírování (někdy také mikrofrézování), stejně jako při laserovém popisu, dochází k odtavení materiálu v místě dopadu laserového paprsku. V tomto případě se tak ale děje do větší hloubky.

Velkou výhodou gravírování je použitelnost na širokou škálu materiálů. Ať už to jsou oceli, neželezné kovy, plasty, papír, kůže, dřevo a mnoho dalších materiálů je výsledkem nesmazatelný popis s vysokou kvalitou. Stejně jako u laserového popisování je nespornou výhodou rychlost, bezkontaktnost a flexibilita laserového zařízení.

Nejpoužívanějšími v této oblasti jsou CO₂ a Nd:YAG lasery. CO₂ lasery se používají především pro gravírování do dřeva, pryže a plastů. Pro gravírování do kovů, keramiky, textilu atp. je vhodné použít Nd:YAG laser [9]. Někdy lze také použít lasery diodové, které jsou vhodné zvláště pro materiál s vysokou hustotou. Aplikace těchto laserů ovšem vyžaduje gravírování v ochranné komoře, z důvodu bezpečnosti obsluhy. [10] Výkony gravírovacích laserů se pohybují, stejně jako při popisování v rozmezí od 10 do 100W.

Laserové gravírování je nejrozšířenější ve výrobě reklamních předmětů, razítkových štočků, výrobních štítků, dveřních tabulek a mnoho dalšího.

6. ŘEZÁNÍ LASEREM

Řezání laserem je nejnovější vyvinutá metoda dělení materiálu. Jedná se o tepelný způsob dělení, jímž lze obrábět celou řadu jak kovových tak i nekovových (dřevo, kůže, plast, papír) materiálů. Tato technologie je velmi přesná (0,1 mm), rychlá, čistá a vysoce produktivní metoda obrábění plechů s velmi vysokou kvalitou obrobku. Tloušťka plechu je omezena výkonem laseru, maximálně však lze řezat plechy do tloušťky 25 mm. [11] Velkou výhodou řezacích laserů je, že se jimi dají dělit i speciální, jinak neobrobitelné (resp. těžko obrobitelné) materiály. Tato technologie našla své uplatnění hlavně ve vyřezávání složitých tvarů, kde lze dosáhnout velmi vysoké přesnosti pouze použitím laseru.

Dělení materiálu laserem je možné díky zfokusovanému paprsku s velmi vysokou koncentrací výkonu. Díky úzké stopě laseru je dosahováno minimálního prořezu a velmi malé tepelně ovlivněné oblasti materiálu.

Pro své výhodné vlastnosti, jako jsou flexibilita, opakovatelnost procesu, bezkontaktní působení nástroje (laseru) a materiálu, možnost vytváření i 3D křivek, nebo již výše popsané přednosti, je laserové řezání nasazováno v mnoha aplikacích. Používají ho např. výrobci prototypů, praček, chladniček, mrazniček a mnozí další.

Proti jiným způsobům dělení materiálu je však pořizovací cena řezacího laserového zařízení značně vysoká. K dalším nevýhodám patří neschopnost přesného umístění výřezů v již opracovaných polotovarech a omezení hustoty řezů popř. otvorů kvůli tavení polotovaru a deformacím. [11]

6.1 Základní parametry laserového řezání [9]

I když je základních parametrů velké množství, jsou pro uživatele laserového zařízení důležité jen některé. Jelikož veličiny jako vlnová délka, divergence, polarizace, průměr laserového paprsku, mód (rozdělení hustoty energie v příčném průřezu paprsku) atp. jsou nastaveny přímo od výrobce zařízení, nejsou pro uživatele tak potřebné. K těm důležitějším parametrům patří:

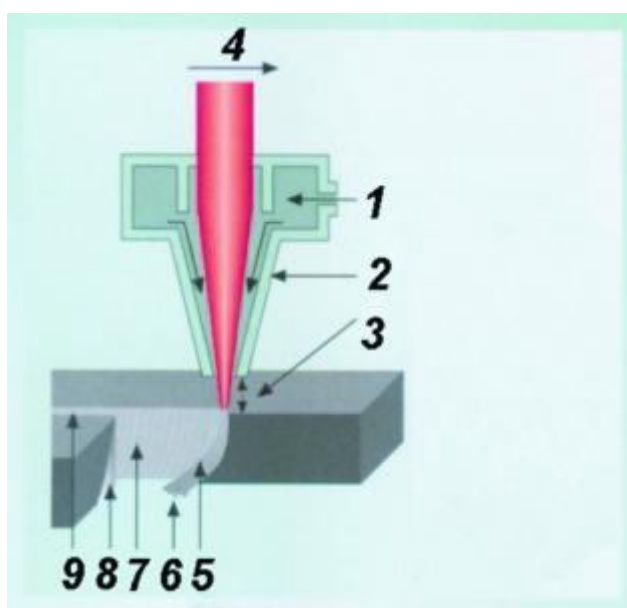
- Rychlost řezání
- Kvalita řezu
- Výkon laserového paprsku
- Ohnisková vzdálenost optiky
- Šířka řezné stopy laseru (0,02 – 0,2 mm)
- Velikost tepelně ovlivněné oblasti

V dnešní době se v oblasti laserového řezání používají výhradně CO₂ a Nd:YAG lasery dosahující výkonů 50 W až 5 kW, špičkově až 15 kW. [9]

6.2 Způsoby řezání laserem

Rozeznáváme tři různé způsoby řezání laserem. Ty se od sebe liší především způsobem odstranění materiálu z místa řezu. Jsou to metody:

- Tavná
- Sublimační
- Pálením (někdy označována také jako oxidační)



Obr. 5 Princip metody řezání laserem [9]

1 - asistenční plyn, 2 - řezací tryska, 3 - pracovní vzdálenost trysky, 4 - rychlost, 5 - tavenina, 6 - odtavený materiál, 7 - stopy po paprsku laseru, 8 - tepelně ovlivněná oblast, 9 - šířka řezu

6.2.1 Tavná metoda [9], [12]

U této metody dochází k lokálnímu natavení řezaného materiálu. Takto vzniklá tavenina je pak z místa řezu odstraňována asistenčním řezným plynem. Tavným řezáním lze efektivně dělit jak kovové materiály (měď, hliník, mosaz, pozinkovaný plech, nerezové oceli), tak nekovové materiály (plast, textil, dřevo, keramika, sklo, papír). Oproti ostatním metodám je však tento způsob řezání poněkud pomalejší. K docílení vyšší řezné rychlosti je zapotřebí použít laser s vyšším výkonem. Další omezení řezné rychlosti nastává s rostoucí teplotou materiálu a jeho tloušťkou.

6.2.2 Sublimační metoda [9], [12]

Při sublimačním řezání se materiál z místa řezu odpařuje. K tomu je nutná velmi vysoká hustota energie v místě dopadu paprsku a proto se tato metoda v dnešní době používá už jen minimálně. Použití této metody je silně omezeno především tloušťkou materiálu. Ta nesmí přesahovat průměr paprsku, aby nedošlo k opětovnému svaření řezu. Toto omezení platí pouze pro materiály, u kterých dochází ke vzniku tekuté fáze.

6.2.3 Oxidační metoda (pálením) [9], [12]

Oxidační metoda využívá k odstranění materiálu z místa řezu exotermické reakce. Materiál se paprskem ohřeje na zápalnou teplotu a po přivedení řezného plynu (kyslík) dojde k jeho shoření. Při tomto způsobu řezání se dosahuje vysokých řezných rychlostí, které jsou ovšem omezeny výkonem laseru. Oxidačně lze řezat např. nerezové oceli, oceli s nízkým obsahem uhlíku, konstrukční oceli nebo titan. Je však potřeba pamatovat na horší kvalitu řezu s vyšší drsností a větší tepelně ovlivněnou oblastí.

6.3 Plyny pro řezání laserem

Řezné plyny neslouží pouze k vyfukování taveniny z místa řezu u tavné metody, ale používají se u všech metod řezání pro ochranu laserového paprsku a bezprostředního okolí místa řezu. Použití různých druhů plynů je dáno řezaným materiálem a požadovanou kvalitou řezu.

6.3.1 Dusík

Dusík se používá hlavně proto, že nereaguje s řezaným materiálem. Mohou s ním ale reagovat nečistoty obsažené v dusíku a proto jsou kladeny velmi vysoké nároky na jeho čistotu. Jeho neschopnost reakce s řezaným materiálem dusík prakticky vylučuje pro použití v sublimační metodě řezání. Dusíku se používá výhradně pro řezání hliníku, jeho slitin a vysoce legovaných ocelí včetně korozivzdorných ocelí. Díky absenci oxidace materiálu při řezání si materiály mohou ponechat své vlastnosti (korozivzdornost – nedochází k vypálení Cr). Výsledkem řezání laserem při použití dusíku jako asistenčního plynu jsou kvalitní lesklé řezné plochy bez otřepů, s malou drsností a bez nutnosti finálních úprav. Nevýhodou však je, že tlak dusíku při řezání musí být mnohem vyšší, než tlak kyslíku. [13]

6.3.2 Kyslík

Protože kyslík reaguje s řezaným materiálem a dochází k chemickému ovlivnění ve velké oblasti kolem řezné hrany, je nevhodný pro použití při řezání vysoko legovaných ocelí. Na druhou stranu má schopnost exotermické reakce kyslíku a řezaného materiálu za důsledek zvýšení řezné rychlosti. Kyslík se používá výhradně pro řezání nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Jeho použití má za následek horší kvalitu řezné hrany (vysoká drsnost, okuje, zoxidovaná řezná hrana). [13]

6.3.3 Argon

Argon se používá pro řezání vysoce reaktivních materiálů, jako jsou zirkon nebo titan. Je potřeba zcela zabránit reakcím těchto materiálů s okolním vzduchem. K tomu se velmi často používá komory s ochrannou argonovou atmosférou, ve které samotný řezný proces probíhá. [13]

6.3.4 Směsné plyny

Směsi plynů se používají především pro kvalitativní zlepšení řezného procesu. Například směs dusík/kyslík se používá pro zvýšení řezné rychlosti a zvýšení kvality řezné hrany při řezání hliníku. Pro nižší drsnost řezné plochy při řezání eloxovaných hliníkových slitin se používá směs dusík/vodík. Pro řezání titanu a zirkonu se někdy používá směs argon/helium. [13]

7. PŘEHLED A ROZBOR VHODNÝCH LASEROVÝCH ZAŘÍZENÍ

V této kapitole je uveden výběr z vyráběných laserových zařízení. Je zde zastoupen sortiment několika firem, jako jsou např. Lasag, Medicom, Rofin nebo Trumpf.

7.1 Lasag Industrial Lasers

Firma Lasag patří do světové špičky mezi výrobci laserů. Je to Švýcarská společnost s dceřinými závody v Německu, Itálii, USA, a v Japonsku. Byla založena v roce 1972 a jejím hlavním cílem bylo vyvinutí laserové technologie pro zpracování materiálu (vrtání, řezání, svařování). Již od roku 1988 se Lasag zabývá problematikou přívodu laserového paprsku pomocí optických vláken. Za zmínku také stojí fakt, že v roce 1990 obdržela firma Lasag, jako první výrobce laserových zařízení na celém světě, certifikát kvality dle ISO 9001.

Lasag má v nabídce jak laserové zdroje, tak i celé laserové stanice. Laserové zdroje jsou podle jednotlivých výkonů a vhodnosti použití rozděleny do několika sérii. Např. výrobky série s označením KLS jemné obrábění a gravírování dosahují průměrných výkonů maximálně 250 W a špičkových výkonů maximálně 5,5 kW. Dále je to níže popsaná série FLS a z další např. série SLS pro svařování nebo SLAB pro řezání a vrtání. [14]

7.1.1 FLS [15]

FLS lasery jsou pulzní Nd:YAG lasery určené k integraci do výroby s výkony dosahujícími hodnot od 300 do 600 W, navrženými pro řezání, popisování, sváření a vrtání. Lze s nimi obrábět širokou škálu materiálů od ocelí (včetně nerezových) přes slitiny hliníku, niklu, kobaltu až po neželezné kovy, diamant, keramiku a kompozity. Vynikají výbornou kvalitou laserového paprsku a možností nastavení laserového rezonátoru, což vždy zaručuje optimální výsledky obrábění.

Tato skupina laserových zařízení umožňuje 3 způsoby rozvodu laserového paprsku od zdroje až k místu obrábění. Rozvod může být proveden buď běžným způsobem, kdy je rezonátor součástí členu připevněného přímo na stroji, což znamená vyšší kvalitu paprsku, díky jeho kratší dráze. Nebo může být rozvod paprsku realizován pomocí optického vlákna, které může mít délku až 80 m pro lepší integraci zařízení do

výroby. Střední průměr vlákna se pohybuje od 100 do 600 μm . Tento způsob rozvodu paprsku je vhodný zejména pro 3D aplikace u robotů nebo ve výrobních linkách. Poslední možností jak šířit paprsek je kombinace obou předchozích způsobů.

Technické parametry FLS N-série a FLS A-série [P 1, P 2]

Lasery série N pracují s vlnovou délkou 1064 nm. Energie jednoho pulzu dosahuje 60 – 150 J s výkonem 5 – 50 kW a dobou trvání pulzu 0,1 – 20 ms. Maximální průměrný výstupní výkon pak je 300 – 600 W. Zařízení jsou napájena z třífázové elektrické sítě s frekvencí 50 nebo 60 Hz, napětím 208 V, 230 V, 360 V, 400 V, 440 V nebo 480 V. Chlazení je zajištěno externím oběhem vody.

7.2 Medicom

Medicom je česká firma, která se zabývá vývojem a výrobou laserových zařízení. Společnost byla založena před 18 lety a dnes dodává lasery jak pro průmyslové použití, tak pro použití v medicíně.

V průmyslovém využití se Medicom zaměřil zejména na popisování, gravírování, řezání a svařování. K tomu využívá hlavně lasery vláknové, Nd:YAG, Nd:YVO₄ a CO₂ ve výkonové řadě od 0 do 400 W. [16]

7.2.1 LDI 10 [17]

LDI 10 je diodový laser určený k integraci do výrobních linek, který se vyznačuje svou kompaktností, nízkou energetickou náročností a minimálními nároky na údržbu. Laser je určen především pro popisování a kvůli tomu bývá osazen vychylovací hlavou, jejíž konfigurace optiky určuje velikost pole popisu. Po připevnění na rameno robota nebo na CNC stroj se však z LDI 10 stává díky svému výkonu 1,3 kW/mm² nástroj i pro jiné použití. Laser je přímo chlazen vzduchem a tak odpadá nutnost použití chladicího média. Laser je ještě možno doplnit o další příslušenství, jako je např. dynamické zaměřování (samofokusace).



Obr. 6 LDI laser s vychylovací hlavou otočnou v ose laseru [17]

7.3 IPG

Společnost IPG je přední americký výrobce, specializující se především na vývoj a výrobu vláknových laserů. Od svého založení v roce 1990 expandovala firma takřka do celého světa, ať už to jsou výrobní závody v USA, Itálii, Rusku a Německu nebo regionální obchodní zastoupení ve Velké Británii, Indii, Japonsku a Koreji. [18]

7.3.1 YLR 500 SM [19]

Je to druh vláknového laseru, jehož Ytterbiové vlákno je čerpáno diodou. Díky dlouhé životnosti diody (více než 100 000 hodin) se i celé zařízení vyznačuje dlouhou životností a vysokou spolehlivostí. Zařízení je kompaktní, má velmi vysokou kvalitu paprsku a je určeno pro snadnou integraci do výrobních linek, robotů nebo na CNC stroj. Všechny produkty typu YLR jsou prakticky bezúdržbové. Další předností je možnost práce laseru ihned po zapnutí, tzv. studený start (odpadá nutnost zahřátí zařízení před zahájením práce).

Již výkon kolem 50 – 100 W umožňuje jemné gravírování nebo vrtání. Zákazník se může rozhodnout mezi dvěma provedeními jednotky. Ta může být buď s kolimátory pro vedení paprsku optickým vláknem, nebo může být opatřena plug and play konektory, které slouží pro připojení k běžnému konvenčnímu rozvodu paprsku. Při obrábění tímto laserem se dosahuje velmi malé tepelně ovlivněné oblasti a díky tomu je možné řezat i velmi jemné kontury.

Laser YLR-500-SM pracuje v infračervené oblasti s vlnovou délkou 1070 nm a s výstupním výkonem 500 W. Napájení je střídavým proudem a napětím 190 – 250 V. Chlazení je provedeno vodou. [P 4]

7.3.2 YLS xxxx, YLS xxxx CL [37]

Typ YLS, ať už v běžném provedení nebo v provedení CL, je typ vysokovýkonného vláknového laseru s buzením prováděným diodou, určené pro svařování, řezání a vrtání. Jednotky jsou dodávány spolu s optickým vláknem s tím, že zákazník si může vybrat z různých druhů vláken, průměrů a délek (až 100 m). Stejně jako typ YLR jsou tyto lasery snadno integrovatelné.

7.4 GSI Lasers

GSI Lasers je součástí světové společnosti GSI Group. Divize laserů se zaměřuje na vývoj a výrobu velké škály laserů, vhodných pro použití v průmyslu, ve zdravotnictví, v letectví a elektronice. Průmyslové lasery se především používají při laserovém řezání, sváření a vrtání. Ve výrobním programu GSI Lasers se nacházejí lasery vláknové, CO₂ lasery, Nd:Yag lasery pulzní i kontinuální a další. [20]

7.4.1 JK Fiber Lasers

JK Fiber laser je vláknový laser, který se používá nejčastěji pro přesné řezání, jemné svařování a vrtání. Je to Ytterbium dopovaný laser s možností volby mezi kontinuálním a pulzním provozem. Laserový paprsek je do místa pracovního procesu dodáván pomocí optického vlákna, vybaveného speciálním patentovaným řešením ochrany proti zpětnému odrazu laserového paprsku. Předností JK Fiber laserů je takřka bezúdržbový provoz a vysoká preciznost procesu. Zařízení je velmi dobře zabudovatelné do jakéhokoliv výrobního stroje. Nicméně u typů s vyšším výkonem je při integraci nutno počítat s externím nezávislým oběhem chladicí kapaliny. [21]

Technické parametry

Dle typu se jmenovité výkony pohybují v rozmezí od 50 W do 400 W. Vyzařovaná vlnová délka je 1080 nm s tolerancí ± 10 nm. Optická vlákna pro dodávku laserového paprsku do místa obrábění se používají v délkách 2 m, 5 m a 10 m. Další technické údaje jsou uvedené v příloze 7. [P 7]

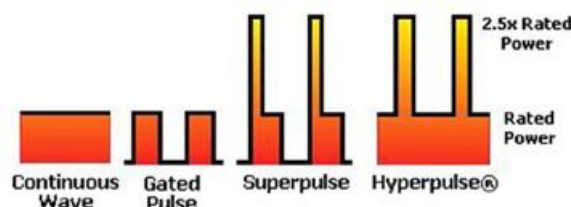
7.5 PRC Laser Corp.

PRC Laser Corp. je americká společnost, která vyvíjí a vyrábí vysoce výkonné průmyslové lasery. Již přes 20 let patří k předním výrobcům průmyslových CO₂ laserů s mnoha způsoby využití. Výrobky této firmy, která má mimo USA ještě obchodní zastoupení v Belgii a Číně, dosahují výkonů 1000 až 8000 W a vyznačují se dlouhou životností. [22]

7.5.1 GL 1000 [23]

GL 1000 je typ plynového CO₂ laseru, který se snadno začlení do řezaček, a to jak s pohyblivým obrobkem a pevnou hlavou, tak s pohyblivou hlavou a pevným obrobkem. Laser je kompaktní a díky použití kompresoru TurboFlow, patentovaného firmou PRC Laser, disponuje i vysokou životností a prakticky bezúdržbovým provozem. Jeho účinnost se pohybuje někde kolem 25%.

Zařízení GL 1000 umožňuje pracovat ve čtyřech různých režimech (obr. 7), jednom kontinuálním a třech pulzních. Přepínání mezi nimi se používá pro zlepšení výsledků obrábění různých materiálů. Vedle klasického pulzního režimu je ještě tzv. superpulzní a hyperpulzní režim.



Obr. 7 Pracovní režimy laseru GL 1000 [22]

GL 1000 běžně generuje laserový paprsek s vlnovou délkou 1060 nm a je navržen na výkon 1 kW. Výkon jednoho pulzu při pulzním režimu pak dosahuje až 2,5 kW. Díky použité technologii PRC GEM se dosahuje nízké spotřeby plynu (5 – 10 l/hod). Další technické parametry jsou uvedeny v příloze 8. [P 8]

7.6 Rofin

Rofin se zabývá výrobou laserových zařízení pro širokou škálu aplikací. Tato německá společnost s pětaticetiletou tradicí si vybuodovala síť obchodních a servisních míst takřka po celém světě. Zastoupení má ve více než 40 zemích.

Z výrobního programu, do kterého patří CO₂ lasery, vláknové lasery, diodové lasery, lasery s ultrakrátkým pulzem, lasery pro značení a další, vyplývá, že se Rofin snaží o vysokou univerzálnost svých produktů. [24]

7.6.1 FL xx, FL xx S [25]

Lasery Rofin řady FL jsou diodou buzené vláknové lasery s vysokým jasem určené pro použití v mnoha aplikacích. Lze jimi provádět všechny operace, jako s běžnými pevnolátkovými lasery, jako jsou např. sváření, řezání, gravírování a

popisování. Řada FL se vyznačuje výbornou kvalitou laserového paprsku a vysokou efektivitou. Mohou být dodávány s přepínačem paprsku a moduly pro sdílení energie, což umožňuje až 4 pracovní buňky provozované s jedním laserem.

Technické parametry [P 9]

Tato řada laserů disponuje výkony od 500 W do 4 kW. Vlnová délka vyzařovaného paprsku je 1060 nm a optické vlákno může nabývat průměrů od 20 μm do 600 μm .

7.7 Trumpf

Německá firma Trumpf, která má mimo jiné zastoupení i v České Republice, se zabývá především výrobou průmyslových CO₂ laserů s výkony od 700 W do 20 kW. Dále vyrábí kontinuální Nd:YAG lasery do 6 kW výkonu a pulzní Nd:YAG lasery se středním výkonem až 650 W. [26]

7.7.1 TruFlow 700

Řada laserů TruFlow patří do skupiny CO₂ laserů od firmy Trumpf. Ty se vyznačují kompaktní a přitom robustní stavbou a lze je snadno integrovat do stávajících zařízení a výrobních linek. Lasery řady TruFlow se používají nejčastěji k řezání, svařování a povrchovým úpravám a jejich použití je velmi jednoduché a přesné. Použití turbodmychadla a vysokofrekvenčního buzení dělá z TruFlow 700 velmi efektivní zařízení. [27]

Laser TruFlow 700 generuje paprsek v infračervené oblasti s vlnovou délkou 1060 nm a dosahuje výkonu 700 W. Spotřeba elektrické energie je 23 kW při 100% vytížení. Spotřeba laserových plynů se pohybuje kolem 13 l/hod helia, 6 l/hod dusíku a 1 l/hod oxidu uhličitého. [P 10]

7.7.2 TruCoax 1000

Lasery typu TruCoax jsou difúzně chlazené CO₂ lasery, určené především pro svařování a řezání tenkých plechů a pro nekovové materiály. Nízká hmotnost těchto zařízení zaručuje snadnou integraci i na robotické rameno. Kompaktnost a nízká hmotnost jsou možné díky konstrukci rezonátoru. Ten se skládá ze dvou koaxiálních, do

sebe zasunutých kovových trubek, které slouží současně jako nosná struktura, vysokofrekvenční elektroda a zároveň ještě jako chladicí elementy. [28]

Technické parametry jsou uvedeny v příloze 11.

7.7.3 HL cw lasery (HL 383 D, HL 703 D)

Tento typ zařízení pracuje s pevnolátkovými, diodami čerpanými lasery s vedením paprsku optickým vláknem. HL cw lasery jsou snadno integrovatelné do výroby a lze je kombinovat i s průmyslovými roboty. Používají se především pro sváření, řezání, kalení a pájení. Přičemž zařízení s jakostí paprsku 12 mm x mrad bývají nasazována nejčastěji při řezání a zařízení s jakostí paprsku 25 mm x mrad při sváření. Předností jistě je možnost regulace výkonu a vysoká kvalita laserového paprsku. Modulární stavba má za následek snadnou údržbu a servis. Zařízení umožňuje adaptaci na všechny běžné řídicí systémy. [29]

Technické parametry

Uvažovaná zařízení HL 383 D a HL 703 D dosahují maximálního výstupního výkonu 500 W resp. 1000 W. Regulovaný výkon na nástroji však už je pouze 380 W resp. 700 W. Pro oba typy je průměr jádra optického kabelu 300 μm . Obě zařízení jsou chlazená vodou se spotřebou 1,5 m^3/hod pro HL 383 D a 1,1 m^3/hod pro HL 703 D. Jmenovitý výkon je pro HL 383 D 14 kW a pro HL 703 D 32 kW. [P 12]

7.7.4 TruPulse 556

TruPulse lasery jsou pevnolátkové pulzní lasery s vedením paprsku optickým vláknem. Vyznačují se vysokoenergetickými krátkými pulzy s vysokým špičkovým výkonem. To je předurčuje k použití při řezání a svařování. Tato zařízení vynikají vysokou pulzní stabilitou a jsou vysoce účinná a spolehlivá. Použití tohoto zařízení umožňuje řezání velmi jemných kontur. Vzhledem k modulární stavbě jsou lasery TruPulse vysoce flexibilní. Chlazení je prováděno oběhem vody. [30]

Technické parametry

TruPulse 556 disponuje výkonem 530 W, přičemž maximální výkon jednoho pulzu dosahuje až 10 kW s energií 100 J. Doba trvání jednoho pulzu je nastavitelná od 0,3 ms do 50 ms. Minimální průměr optického kabelu je 600 μm a spotřeba chladicí kapaliny při počáteční teplotě 15 $^{\circ}\text{C}$ je 0,7 m^3/hod . [P 13]

8. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ

Výrobce	Produkt	Typ laseru	Výkon	Chlazení
Lasag	FLS-N	Nd:YAG	300 W – 600 W	vodou
	FLS-A	Nd:YAG	300 W – 600 W	vodou
Medicom	LDI 10	Nd:YAG diodový	1,3 kW/mm ² (/*)	vzduchem
IPG	YLR 500 SM	vláknový	500 W	vodou
	YLS	vláknový	500 W – 2 kW	vzduchem
	YLS-CL	vláknový	500 W – 2 kW	vzduchem
GSI Lasers	JK Fiber	vláknový (Ytterbiem dopovaný)	50 W – 400 W	vodou, vzduchem
PRC	GL 1000	CO ₂	1 kW	vodou
Rofin	FL x75	vláknový	750 W	nezjištěno
	FL x75 S	vláknový	750 W	nezjištěno
Trumpf	TruFlow 700	CO ₂	700 W	nezjištěno
	TruCoax 1000	CO ₂	1000 W	nezjištěno
	HL 383 D	pevnolátkový	500/380 W	vodou
	HL 703 D	pevnolátkový	1000/700 W	vodou
	TruPulse 556	pevnolátkový	530 W	vodou

/* Hustota výkonu – Výkon laseru vztážený na jednotku plochy, na kterou je zaostřen paprsek

Tab. 2 Porovnání vybraných laserových zařízení

9. NÁVRH NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ

V následujících řádcích jsou blíže specifikované požadavky na laserové zařízení a shrnuty získané informace. Dále je uveden nástin výběru vhodného laserového zařízení.

9.1 Shrnutí výchozích informací

Před započítáním této diplomové práce, byly definovány požadavky, kterým by mělo laserové zařízení vyhovět. Jak se ukáže dále, nemohly být tyto požadavky splněny stoprocentně. Požadován byl návrh a zprovoznění laserového zařízení, které by umělo popisovat, gravírovat a řezat plechy z nerezové oceli s tloušťkou 4 mm, přičemž by se mělo jednat o vláknový laser s dodávkou laserového paprsku do místa procesu pomocí optického vlákna. Z výše uvedeného přehledu a z informací od výrobců laserových zdrojů vyplývá, že pro laserové vyřezávání z plechů z nerezové oceli o tloušťce 4 mm, což je v tomto případě na výkon nejnáročnější operace, je dostačující výkon kolem 400 až 500 W.

9.2 Návrh nejvhodnějšího laserového zařízení

Z výčtu vyráběných laserových zařízení uvedeného v kapitole 7 je vidět, že laser, který by kombinoval popisování, gravírování a řezání neexistuje, neboť nároky na výkon při popisování nejsou tak vysoké, jako při řezání laserem. U některých laserových zařízení se sice naskýtá možnost nastavit nižší výkon tak, aby nedošlo k průpalu materiálu v celé jeho tloušťce, čímž by vznikla pouze vypálená drážka a tím vlastně popis, ale výsledky z hlediska kvality by jistě byly velmi špatné. Proto se z požadavků slevilo a bylo navrhováno pouze řezací zařízení.

Dle požadovaných parametrů byly z tabulky 2 vybrány 4 nejvhodnější zařízení. Je to od firmy IPG vláknový laser s označením YLR 500 SM, od firmy GSI Lasers produkt JK Fiber laser a od firmy Rofin to jsou FL x75 a FL x75 S. Pokud bychom měli z řady JK Fiber laserů od GSI Lasers vybrat jeden konkrétní typ, byl by to model JK 400 FL. Všechna tato zařízení jsou vláknové lasery, které se svým výkonem pohybují poblíž oblasti 400 až 500 W. Ovšem lasery od firmy Rofin jsou s výkonem 750 W proti zbývajícím dvěma zařízením už dosti daleko od této oblasti a proto s nimi už nebude dále počítáno.

Jak je vidět z tabulky 3, tak obě zbývající uvažovaná zařízení mají takřka stejné parametry. Při volbě jednoho nebo druhého zařízení bylo tedy nutné vyjít pouze z detailů, v kterých se oba produkty liší.

	YLR 500 SM	JK 400 FL
Typ laseru	Vláknový - Ytterbiové vlákno je čerpáno diodou	Ytterbium dopovaný vláknový laser s aktivním prostředím Yb:glass
Výkon laseru	500 W	400 W
Pracovní režim	Kontinuální nebo modulovatelný	Kontinuální nebo modulovatelný
Vlnová délka	1070 - 1080 nm	1070 - 1090 nm
Polarizace	Libovolně - na vyžádání je k dispozici lineární polarizace	Nepolarizovaný
Modulační frekvence	0 - 5 kHz	0 - 50 kHz
Stabilita výkonu	± 2%	max ± 3% (typicky ± 1,5 %)
Kvalita svazku	< 1,1 M ²	< 1,3 M ²
Šířka laserového paprku	< 4 nm	max 5 nm (typicky < 2 nm)
Průměr vlákna	50, 100, 200 nebo 300 μm Single mode	25 μm Single mode
Rozhraní	Digitální I/O, analogové RS - 232 připojení	Digitální I/O, analogové RS - 232 připojení
Účinnost	> 30%	> 25%
Zahřívací doba	0 min.	5 min
Chlazení	vodou	vodou
Počáteční teplota chladicí kapaliny	20 - 30 °C	18 - 28 °C
Elektrické připojení	190 - 250 V AC	100 - 240 V AC
Příkon	2000 W	1600 W
Rozměr	6 U 19" Rack (266x448x650 mm)	5U 19" Rack (222x433x450 mm)
Hmotnost	50 kg	35 kg
Vlastnosti	- Dlouhá životnost - Vysoká spolehlivost - Snadná integrace do výrobních linek, robotů nebo na CNC stroj - Bezúdržbový provoz	- Vysoká preciznost - Snadná integrace - Bezúdržbový provoz

Tab. 3 Porovnání JK Fiber laseru a YLR 500 SM laseru

Pro YLR 500 SM hovoří vyšší kvalita paprsku, vyšší účinnost a možnost tzv. studeného startu, to znamená, že při zapnutí stroje není nutno čekat na zahřátí, ale lze hned začít zařízení provozovat. Naproti tomu laser JK 400 FL nabízí vyšší modulační frekvenci, nižší příkon, menší velikost a nižší hmotnost. Na základě těchto parametrů, hlavně pak rozhoduje modulační frekvence až 50 kHz, se jako nejvhodnější řešení jeví JK 400 FL.

10. VYBRANÉ LASEROVÉ ZAŘÍZENÍ

Na základě výše uvedených informací bylo Technickou univerzitou v Liberci, vypsáno výběrové řízení na dodavatele laseru. Do toho se se svým produktem přihlásila pouze pražská firma Lao, která v České republice zastupuje, mimo jiné, i anglického výrobce laserových zařízení GSI Group – Divize laserů.

10.1 Popis zařízení

Vybraný model JK 400 FL je typem vláknového laseru, určeného především pro řezání, ale lze s ním i svařovat a vrtat. Jedná se o ytterbium dopovaný, kontinuální laser s možností časové modulace výkonu. Čerpání aktivního prostředí je prováděno pomocí laserových diod. Produkt je chlazen vodou a ke svému provozu potřebuje vnější oběh chladicí kapaliny. Laserový paprsek, do místa řezu dodávaný optickým vláknem, je na obrobek zaostřen fokusační hlavou. Součástí ukončení vlákna na straně řezací hlavy je také speciálně řešená ochrana proti zpětnému odrazu laserového paprsku. Ta při zpětné reflexi zabraňuje poškození vlákna a součástí laseru. Pokud se jedná o řezací hlavu, tak ta je vyrobena z nerezové oceli a umožňuje připojení asistenčních plynů, potřebných k procesu laserového řezání. Zaostření paprsku je řešeno manuálně. S tím souvisí možnost připojit k procesní hlavě kameru.



Obr. 8 Laserový modul a řezací fokusační hlava [31]

10.2 Technické údaje

JK 400 FL je průmyslový laser třídy 4. Jeho nominální výkon dosahuje 400 W a tuto hodnotu lze časově regulovat s maximální modulační frekvencí 50 kHz. Vyzařovaná vlnová délka je 1070 nm až 1090 nm a paprsek je nepolarizovaný. Dle zaostření laserového paprsku umožňuje fokusační hlava nastavit řeznou stopu na obrobku na 8 μm až 60 μm . Účinnost zařízení se pohybuje kolem 25% (pokud se nezapočítává chlazení).

Pro připojení k elektrickému napájení je používáno jednofázové napětí 100 V až 240 V s frekvencí 47 Hz až 63 Hz. Pro model JK 400 FL se požaduje maximální hodnota napájení 2000 VA a maximální příkon laseru je 1600 W.

Výše už bylo zmíněno, že u tohoto modelu je chlazení provedeno pomocí chladicí kapaliny s externím chladícím obvodem. K tomu je nutné zajistit čistou vodu, jejíž minimální průtok by měl činit 6 l/min. Voda by měla mít vstupní teplotu 18 °C až 28 °C, pH od 6,5 do 8,8 a měly by být dodrženy takové podmínky, aby nedocházelo ke kondenzaci. Výkon chlazení u modelu JK 400 FL dosahuje 1200 W.

Hmotnost laserového zdroje je 35 kg a rozměry 222 mm x 433 mm x 450 mm (v x š x h). Hmotnost samotné procesní hlavy se pak pohybuje kolem 2,1 kg.

11. BEZPEČNOST LASEROVÉHO PRACOVISTĚ

Při projektování laserového pracoviště je jednou z nejdůležitějších záležitostí, kterými je třeba se zabývat, právě bezpečnost. Laserový paprsek je z hlediska zdraví velmi nebezpečný. Při zasažení očí, hrozí těžké poškození zraku a v obzvláště těžkých případech i slepota. Pokud se paprsek dostane na pokožku, může způsobit těžké popálení a pořezání. Při řezání laserem dochází ke spalování materiálu a tím i ke vzniku zplodin, které mohou představovat potencionální nebezpečí. Další riziko vzniká, pokud se laserový paprsek dostane do kontaktu s hořlavinami. V tom případě hrozí vznícení. Obzvláště nebezpečné je zpracovávání vysoce reflexivních materiálů, protože odražený paprsek se může dostat i do míst, která nejsou bezprostředně zapojena do laserového procesu (např. únik oknem v laboratoři). Aby se zabránilo těmto případům, jsou ustaveny normy, které se přísně věnují laserové bezpečnosti. V následujících kapitolách jsou uvedeny pokyny ohledně bezpečnosti práce. Ať už jde o osobní ochranu personálu, který se přímo účastní procesu (brýle,...) nebo o výše zmiňovaný případ odraženého paprsku (zakrytování stroje,...).

11.1 Osobní bezpečnost obsluhujícího personálu

Na tuto část je nutné klást velmi silný důraz, neboť ochrana zdraví je vždy prvořadá. V této kapitole, je nejprve uveden soupis pravidel, které by se měli dodržovat při práci s laserovým zařízením a v následující části je výběr vhodných ochranných brýlí.

11.1.1 Základní bezpečnostní pravidla při práci s laserem

Pro práci s laserem platí následující základní bezpečnostní pravidla:

- Práci na laserovém zařízení smí vykonávat pouze zaškolený odborný personál. Obsluha je povinna se před započítím práce seznámit s bezpečnostními pokyny uvedenými v dokumentaci od výrobce. Tyto pokyny je zavázána dodržovat.
- Při práci s laserovým zařízením je nutné nosit vhodné ochranné pomůcky. To jsou zejména ochranné brýle a vhodný pracovní oděv, příp. rouška přes ústa a nos, aby se zabránilo vdechnutí zplodin laserového obrábění, které mohou obsahovat kovové částičky.

- Nikdy se nevystavovat přímému záření laserového paprsku. To platí jak pro přímý pohled do laserového paprsku (ani v případě použití ochranných brýlí), tak pro nastavování různých částí těla do dráhy laserového paprsku.
- Nikdy se nedívat do laserového paprsku přes optické přístroje.
- Zdrojem možného rizika při práci s laserem se mohou stát i šperky, jako jsou prstýnky, řetízky, náušnice apod. nebo kovové náramky hodinek.
- Před zapnutím laseru je nutné se přesvědčit, že paprsek, který vyjde po zapnutí laseru, nesměřuje přímo k oknům nebo ke vchodu do místnosti.

11.1.2 Návrh vhodných ochranných brýlí

Už z výše uvedených pravidel je jasné, že každý, kdo pracuje s laserovým zařízením, je povinen nosit ochranné laserové brýle. Ty musejí odpovídat normám EN 207 a EN 208. Je nutné, aby brýle byly účinné pro parametry (vlnovou délku a typ laseru), které laserové zařízení vykazuje a proto je výběru vhodného typu brýlí nutné věnovat zvýšenou pozornost. Pro laser JK 400 FL jsou to tyto parametry:

- vlnová délka: 1070 – 1090 nm
- typ laseru: vláknový, dopovaný ytterbiem
- provoz: kontinuální i pulzní
- výkon laseru: 400 W.

Na základě těchto parametrů se jako nejvhodnější jeví brýle od společnosti Lintech s označením filtrů OP20EPYG3 s ochranou 1070 – 1090/DIR/L5. Tyto filtry jsou vhodné pro Nd:YAG laser jak kontinuální (D), tak pulzní (I, R) s ochranou proti vlnové délce 1070 – 1090 nm, což je v tomto případě rozhodující. [P 14]

Alternativou pro tyto brýle jsou brýle od společnosti Polytechnika, spol. s r.o. s označením Vision L-05/L-05K se stupněm ochrany DIR L9 315 – 1400 nm. [P 15]

Nakonec byly dodavatelem laserového zařízení, firmou Lao, doporučeny a následně i objednány ochranné brýle od společnosti Univet s označením 559L.00.00.100. Tyto brýle jsou osazeny skleněnými filtry s označením UL-3001 a nabízejí stupeň ochrany DL8 IRM L9 1025–1100 nm. [P16]

11.1.3 Zakrytování pracovního prostoru

Aby se zabránilo úniku laserového paprsku z pracovního prostoru stroje a vystavení nebezpečí obsluhy, měl by být tento prostor zakrytován. Na CNC stroji umístěném v laboratořích KVS použijeme plechový kryt navržený v rámci jiné Diplomové práce. Tento plechový kryt je doplněn o průhledná plastová dvířka. Ta budou opatřena ochrannou fólií, aby splňovala požadavky na ochranu proti laserovému záření. Takovou fólii nabízí např. firma Lao.

11.2 Zabezpečení okolí pracoviště

Je nutné vhodně zabezpečit laserové pracoviště a zabránit tomu, aby došlo k poškození zdraví lidí, kteří se nepodílejí přímo na laserovém procesu. To se může velmi snadno stát, pokud do místnosti, kde právě probíhá laserová operace, vejde neoprávněná osoba. Proto se musí místnost zabezpečit proti vniknutí osob, které nejsou dostatečně vybavené bezpečnostními pomůckami a je nutné je informovat o tom, že uvnitř místnosti je v provozu laserové zařízení.

11.2.1 Aplikace ochranných prvků v laboratořích KVS

Nejvhodnějším řešením z hlediska bezpečnosti by byla uzamykatelná místnost bez oken, určená pouze pro laserové zařízení. Taková místnost se plánuje do nových laboratoří KVS. V těch stávajících je tedy nutno provést úpravy.

Při zavádění bezpečnostních prvků je základním krokem rozvěšení výstražných tabulek s informací, že se jedná o laserové pracoviště (obr. 9). Tuto tabulku je možné sehnat a objednat přes internetové obchody. Jejich ceny nejsou nijak vysoké. Plastovou tabulku o velikosti papíru A4 lze pořídit za přibližně 20 Kč.



Obr. 9 Výstražná tabulka – POZOR, laserové pracoviště

Dalším krokem by mělo být zajištění dveří proti vniknutí do místnosti neoprávněnou osobou. Toho se dá dosáhnout zamčením dveří nebo použitím kování, které má vně místnosti kouli místo obyčejné kliky. To však neřeší tento problém pro osoby, které mají od dveří klíče. Proto je ještě nutné vybavit vchody do místnosti světly s nápisem nevstupovat, které obsluha laseru rozsvítí před začátkem práce na laserovém zařízení.



Obr. 10 Světlo s nápisem NEVSTUPOVAT

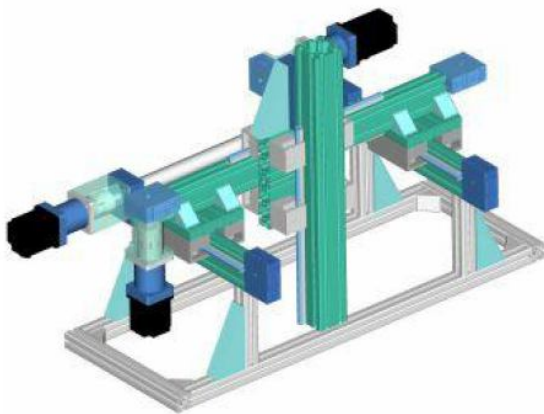
Pokud není laserové pracoviště umístěno samostatně v místnosti a je součástí dílny jako v laboratořích KVS, je potřeba ho od okolních pracovišť oddělit. K tomu slouží různé ochranné rolety, závěsy a zástěny. Velký výběr těchto bezpečnostních prvků nabízí např. firma Lao [38] a mnohé další.

12. POTŘEBNÉ ÚPRAVY NA CNC STROJI

Před prvním spuštěním laserového zařízení, bylo třeba na CNC stroji provést několik úprav. Ty souvisely s upnutím laserové řezací hlavy, vedením optického vlákna a polohováním a upnutím obráběných plechů. Tyto úpravy lze rozdělit do dvou různých oblastí. Těmi jsou strana nástroje a strana obrobku. V oblasti nástroje bude řešeno připevnění řezací hlavy na CNC stroj a způsob vedení optického vlákna od laseru k procesní hlavě. V druhé části je uveden návrh přípravku pro založení a následné upnutí plechů.

12.1 Uvažovaný CNC stroj

Víceúčelový CNC stroj, na kterém bude laserové zařízení používáno, byl navržen a sestaven v rámci disertační práce, jejímž autorem je Ing. Petr Zelený, Ph.D. Jedná se o stroj s portálovou konstrukcí, sestavený z hliníkových profilů ITEM. Lineární pohyb portálu zajišťují lineární moduly s ozubenými řemeny. Maximální pracovní prostor je 400 x 390 x 140 mm (šířka x hloubka x výška). Maximální zdvih os však tento prostor omezuje na 200 x 200 x 150 mm. Pro více informací o tomto CNC stroji viz disertační práce [32].



a) Návrh v programu ProEngineer



b) Sestavený stroj

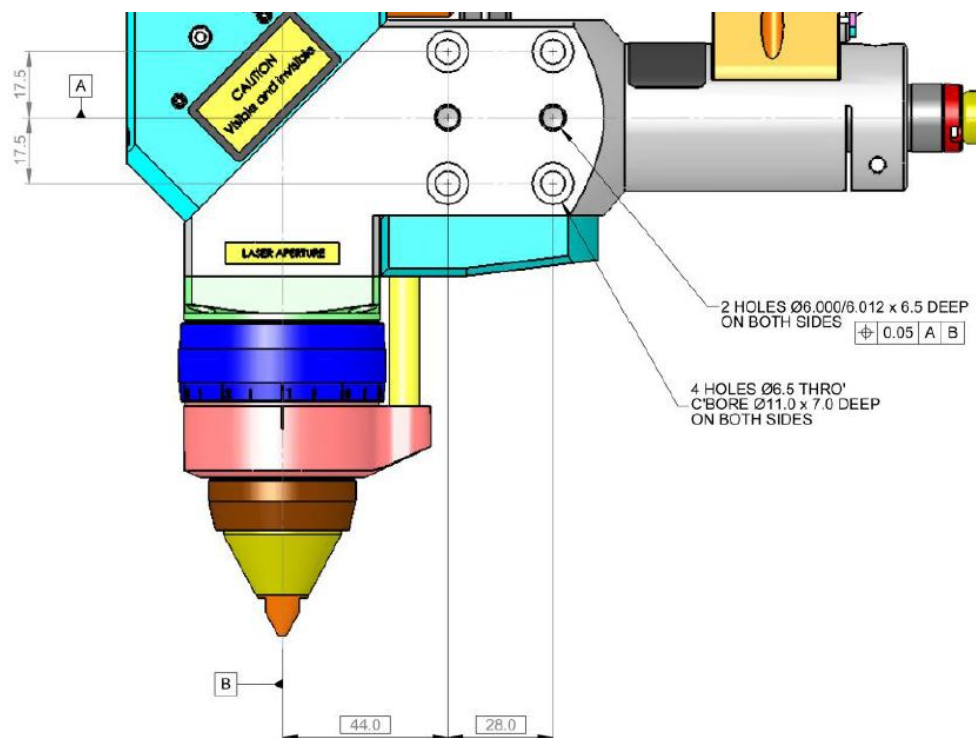
Obr. 11 Uvažovaný prototyp CNC stroje [32]

12.2 Strana nástroje

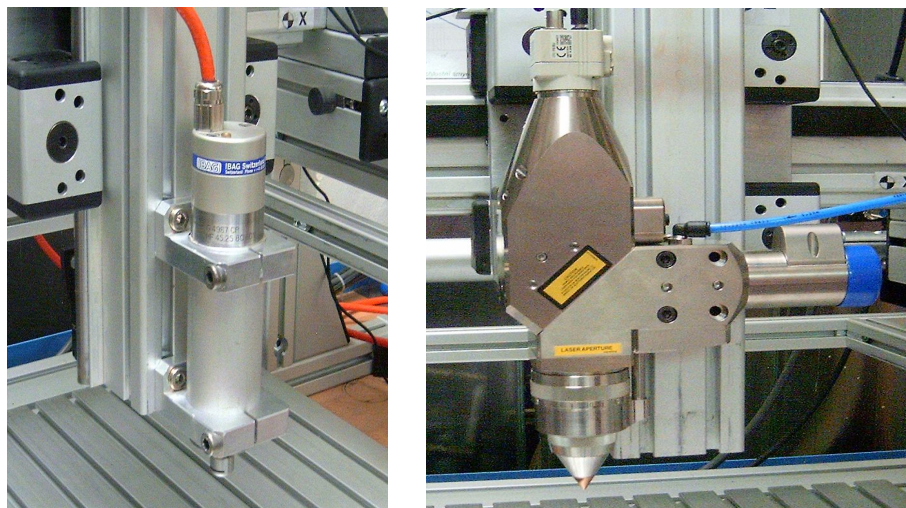
Aby bylo možné aplikovat laser na CNC stroji, bylo nejprve nutno odstranit obráběcí vřeteno a místo něj nainstalovat procesní hlavu. Dále bylo potřeba vyřešit vedení optického vlákna. Vzhledem k jeho křehkosti je nutné zvolit vhodný způsob vedení.

12.2.1 Připevnění procesní hlavy

Před připevněním laserové hlavy se nejprve muselo z CNC stroje demontovat obráběcí vřeteno. Žádné další úpravy nebyly třeba a hlava se tak mohla jednoduše přišroubovat do hliníkového profilu pomocí dvou šroubů. Zajímavé by do budoucna mohlo být vyřešit upnutí řezací hlavy tak, aby byla snadno a rychle vyměnitelná za obráběcí vřeteno a naopak.



Obr. 12 Připojovací obrazec řezací hlavy [33]



Obr. 13 Upnutí obráběcího vřetene(vlevo) a laserové řezací hlavy

12.2.2 Způsob vedení optického vlákna

Optické vlákno samo o sobě je velmi křehké, a i když je obaleno několika ochrannými vrstvami, zůstává snadno poškoditelné. Protože náklady na jeho pořízení jsou poměrně vysoké, je důležitá snaha o snížení pravděpodobnosti jeho poškození. Toho lze dosáhnout pomocí vhodného způsobu vedení. Po celé délce vlákna je nutno zabezpečit, aby nebyla překročena minimální hodnota poloměru ohybu, která v tomto případě činí 75 mm. I z tohoto důvodu je výrobcem laseru předepsána minimální hodnota volného prostoru za laserovým zdrojem, tedy v místě výstupu optického vlákna ze zdroje. Tato hodnota je stanovena na 100 mm.

Jsou dána základní pravidla, která by při návrhu způsobu vedení vlákna měla být respektována. V tomto případě, kdy se fokusační hlava a s ní i optické vlákno pohybují, to jsou tyto [31]:

- optické vlákno by mělo být po celé své délce podepřeno a nemělo by ležet na podlaze,
- vlákno se nesmí v žádném místě odírat,
- zrychlení posuvů manipulačního stroje by mělo být omezeno.

V laboratořích KVS bylo vedení optického vlákna prozatím řešeno způsobem, který je uveden na obrázku 14. Vlákno vycházející z laserového zdroje je volně vedeno ke stropu místnosti, kde je zavěšeno na dvou drátových háčích s roztečí asi 500 mm a následně je spuštěno dolů k řezací hlavě. Tento způsob vedení vlákna není optimální, ale z důvodu časové náročnosti nebyl v této práci řešen.



Obr. 14 Způsob vedení optického vlákna

12.3 Strana obrobku – upínač plechů

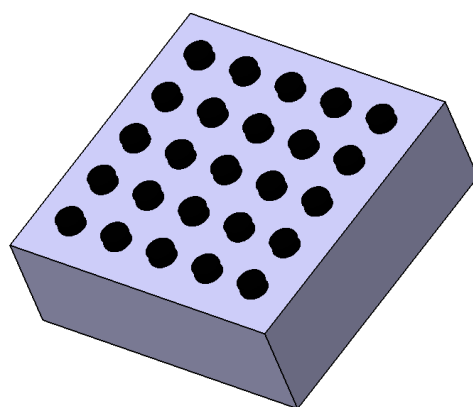
Díky portálové konstrukci stroje a vyvedení optického vlákna z procesní hlavy bokem, se vyskytl problém s omezením zdvihu v ose Z. Z obrázku 15, který znázorňuje situaci při maximálním vyjetí v ose Z, je vidět, jak silně je zdvih řezací hlavy omezen. Lze snadno nahlédnout, že odjetí z této polohy, může činit maximálně 10 až 20 mm. Poté dojde ke kolizi mezi optickým vláknem a portálem stroje. Proto bylo nutné navrhnout upínač, který bude v dostatečné výšce. Dalším požadavkem byla rychlá, snadná a nenákladná výměna prvků pro ustavení plechů, pro případy, kdy by došlo k jejich poškození laserovým paprskem nebo odlétávající taveninou.



Obr. 15 Situace při maximálním vyjetí v ose Z

12.3.1 Varianta 1

V první variantě zakladače plechů bylo počítáno s ocelovou deskou, která by byla pomocí upínek připevněna ke stolu stroje. V desce jsou otvory, do kterých jsou nalisovány opěrné čepy (Obr. 16).

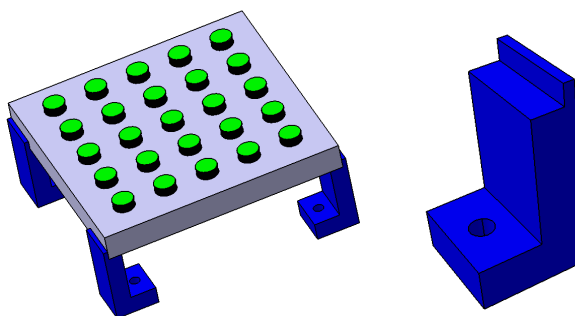


Obr. 16 Zakladač plechů s opěrnými čepy

Od tohoto způsobu zakládání bylo ustoupeno hned z několika důvodů. Jedním z nich byl výše vyslovený požadavek na rychlou a snadnou výměnu prvků pro ustavení plechů. Je zřejmé, že zalisované opěrné čepy budou jen těžko vyměnitelné. Dalším důvodem je možnost malého zdvihu v ose Z. Při použití opěrných čepů od firmy Kipp (dle DIN 6321) s výškou maximálně 25 mm (viz příloha 17), by ocelová kostka s dírami pro zalisování musela být vysoká asi 100 mm, což je velmi nepraktické. Hmotnost této kostky by byla velká a nároky na výrobu vysoké. Řešením by bylo použití jiných (delších) čepů nebo ustavení desky na podstavce. Místo opěrných čepů, by se mohlo použít výškových dorazů dle ČSN 22 6374 (viz příloha 18). Ty nejsou určeny pro nalisování, ale mají závit M10 a výšku do 50 mm.

12.3.2 Varianta 2

V této variantě je použita deska s opěrnými čepy z předchozího zakladače a jsou k ní přidány čtyři podstavce pro zvednutí desky až do potřebné výšky. Podstavce jsou pomocí šroubů připevněny do drážek stolu CNC stroje a jsou vybaveny osazením, které zabraňuje pohybu desky.

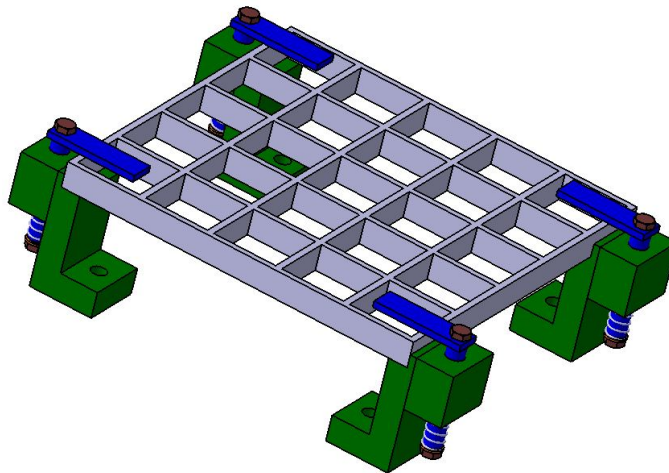


Obr. 17 Deska s opěrnými čepy na podstavcích a detail podstavce

Tato varianta zakladače sice vyřešila problém s nedostatečným zdvihem laserové hlavy v ose Z, ale zůstal problém s rychlou a snadnou výměnou prvků pro ustavení plechů. Zůstává i problém s náročností výroby desky a přibyla výroba podstavců. Navíc koncept desky s čepy nevyhovuje požadavku dostatečného podepření plechu s co nejmenší kontaktní plochou. Ta je důležitá pro snadný odvod taveniny z řezné spáry. Z těchto důvodů bylo upuštěno i od tohoto způsobu zakládání.

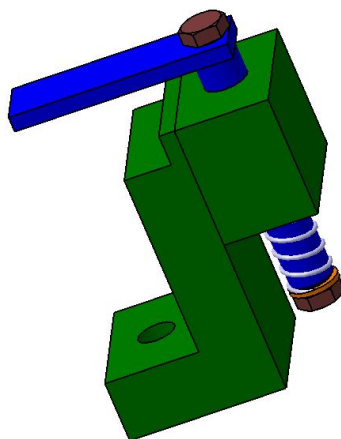
12.3.3 Varianta 3A

Aby se dosáhlo zrychlení a zjednodušení výměny ustavujících prvků, byla úplně zavrhnuta varianta s deskou a opěrnými čepy a nahradil ji ocelový mřížový rošt. Rošt se opět, jako deska s čepy, ustaví na čtyři podstavce. K těm ještě přibyla možnost upnutí plechu.



Obr. 18 Varianta zakladače plechů s roštem

Upínání plechů je v tomto případě řešeno způsobem, který vyplývá z obrázku 19. V kostce, která je připevněna k podstavci je kluzně uložen dřík. K tomu je přišroubován ocelový pás, jenž zajišťuje kontakt s upínaným plechem. Upínací síla je vyvozena pomocí tlačné pružiny. Pro vykonání zdvihu se musí zdola zatlačit na dřík, čímž dojde ke stlačení pružiny. Po zandání plechu je dřík uvolněn a pružina se rozepne. To zabezpečí upnutí plechu.

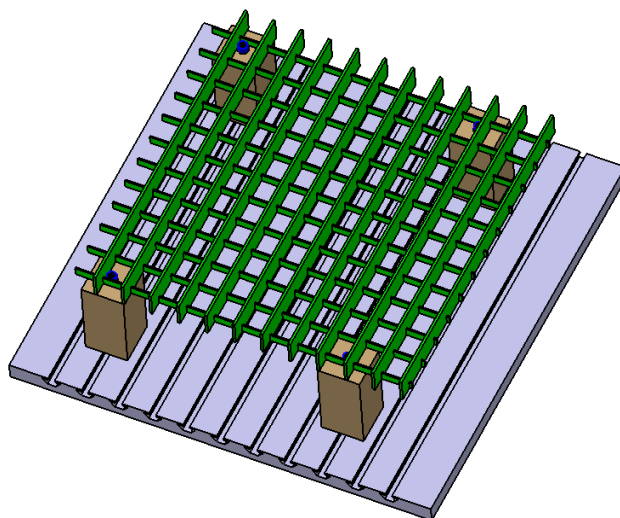


Obr. 19 Podstavec s upínáním

Ani tento způsob zakládání a upínání plechů však není optimální a vyžaduje další úpravy. Mřížový rošt je sice naproti ocelové desce s opěrnými čepy snadno vyměnitelný, ale zase přibyla otázka jeho přesnosti a rovinnosti. Zůstal také problém náročné výroby podstavců a prvků upínání. Zejména problematické je, z hlediska materiálu, kluzné uložení, musely by být voleny materiály odolné proti otěru.

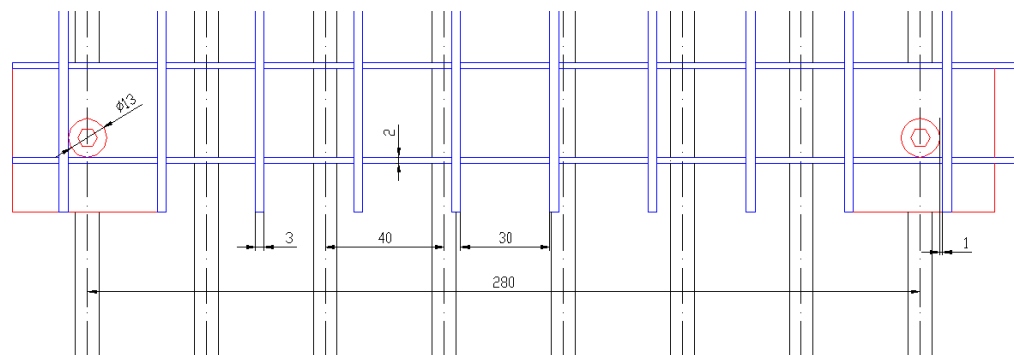
12.3.4 Varianta 3B

Tento způsob zakládání a upínání plechů je vlastně pouze zjednodušením předchozí varianty. Koncepce přípravku zůstala stejná. I v tomto případě se jedná o rošt ustavený na podstavcích pro dosažení potřebné výšky, ve které má být řezaný plech upnut. Došlo však k výraznému zjednodušení podstavců. Ty nyní mají tvar kvádrů s jedním otvorem, který slouží k upnutí do drážky stolu stroje.

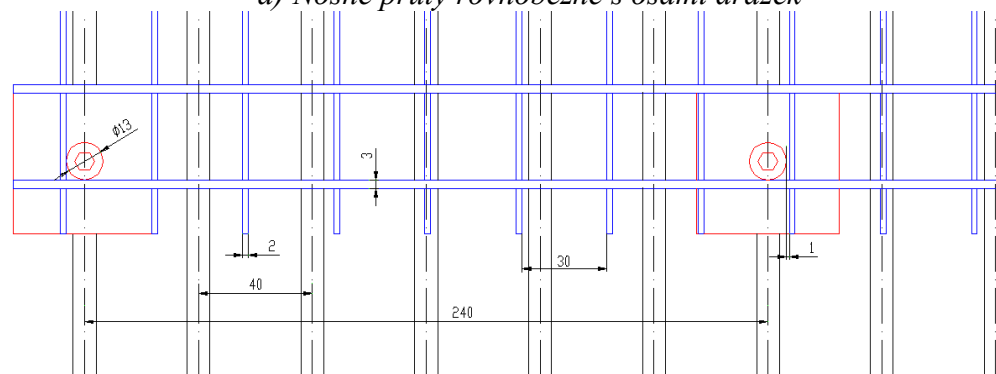


Obr. 20 Zjednodušená varianta zakladače plechů s roštem

Princip tohoto zakladače plechů spočívá v tom, že se obrobené kvádry pomocí imbusových šroubů a matic připevní k desce pracovního stolu stroje a na takto připravené podstavce se položí ocelový rošt. Po založení roštu dojde k uvolnění podstavců a jejich posunu v drážkách stolu tak, že hlavy imbusových šroubů slouží jako opěrné plochy pro rošt a zamezují tak jeho posuvu ve směru os drážek. Pro zamezení pohybu roštu ve směru příčném k drážkám stolu je nutné najít optimální vzdálenost podstavců tak, aby došlo k zafixování polohy roštu. V tomto případě je nutné provést rozměrovou analýzu (Obr. 21). Jsou dány rozteče drážek v desce stolu (40 mm), velikost ok roštu (30 x 30 mm) a šířka pásů roštu (3 mm nosný prut, 2 mm nenosný prut). Na obrázku 21a) je vidět, že neoptimálnější vzdálenost podpěr pro rošt je sedm roztečí drážek, tzn. 280 mm. Na druhém obrázku 21b) je znázorněna rozměrová analýza pro rošt pootočený o 90°. V tomto případě vychází neoptimálnější vzdálenost podpěr na šest roztečí, tj. 240 mm. V obou případech se ukazuje, že mezi hlavou šroubu a roštem vzniká mezera 1 mm. Tato mezera však nebude vždy stejná z toho důvodu, že v této analýze je počítáno pouze s ideálními rozměry. Ve skutečnosti se však rozměry mohou měnit v rámci tolerancí. Kompenzaci této mezery lze dosáhnout např. omotáním hlavy šroubu izolační lepicí páskou.



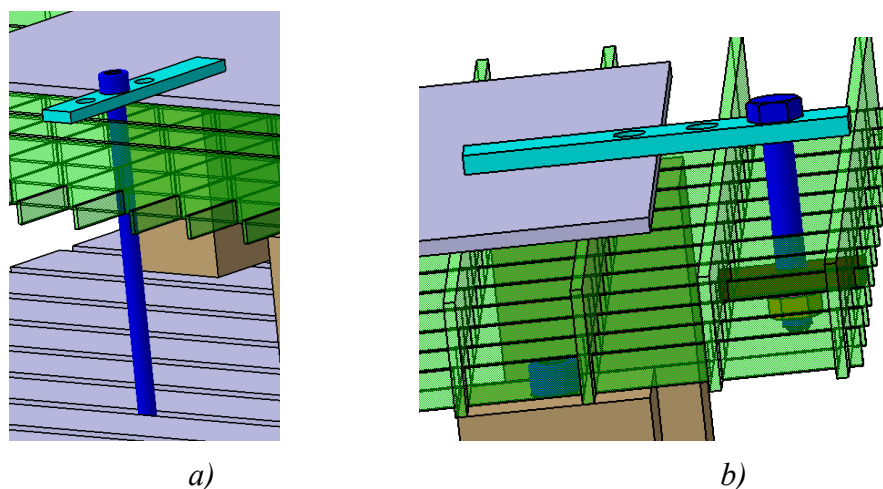
a) Nosné pruty rovnoběžné s osami drážek



b) Nosné pruty kolmé na osy drážek

Obr. 21 Rozměrová analýza připevnění upínače plechů k desce stolu CNC stroje

Tato varianta zakladače umožňuje několik způsobů upnutí plechu. Nejjednodušší a nejméně náročný způsob je použití ocelového pásu a šroubu. Toto řešení lze rozdělit do dvou variant. Obě jsou znázorněny na obrázku 22.



Obr. 22 Možnosti upnutí plechů

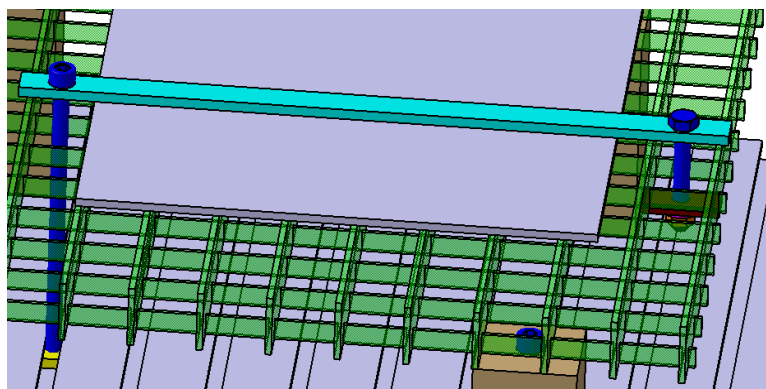
Na obrázku 22a) je ukázána varianta s upnutím plechu pomocí ocelového pásu, který na jedné straně drží plech, na druhé straně je opřen o rošt a pomocí šroubu je dotažen do drážky pracovního stolu. Tento způsob je rychlý a jednoduchý, ovšem vyskytují se dva problémy. Jedním z nich je možná absence drážky pod okem roštu, ve kterém je potřeba provést upnutí. Z obrázku 21 vyplývá, že ne pod všemi oky roštu jsou k dispozici drážky stolu. Druhý problém představuje příliš velké utažení šroubu, které by mohlo vést k prohnutí roštu.

Druhá varianta upnutí (Obr. 22b)) je podobná první, s tím rozdílem, že k utažení je použit kratší šroub. Tím je ocelový pás dotažen proti druhému pásu, který se nachází zespod roštu. Použití tohoto způsobu není omezeno přítomností drážky stolu a s ním proto upínat v jakémkoliv oku roštu. Odpadá i problém s prohnutím roštu, neboť při přílišném utažení šroubu dojde maximálně k ohybu ocelových pásů. Nevýhodou tohoto systému je složitější utahování šroubu. K utažení je třeba dostatek místa pod roštem a použití dvou klíčů.

Aby byl u těchto dvou způsobů zajištěn dostatečný kontakt mezi upínacím ocelovým pásem a upínaným plechem, je v horní části upínače vyvrtáno několik otvorů. Použitím těchto otvorů lze nastavit délku upínacího pásu. Zajímavým řešením, by také mohlo být nahrazení těchto otvorů drážkou. Při změně délky pásu nad plechem by se pak nemusel vyšroubovávat celý šroub, který by se následně musel zasunout do jiného

otvoru dle požadované délky pásu a znovu zašroubovat, ale stačilo by šroub povolít a nastavit potřebnou délku.

Modifikací obou výše zmíněných variant upínání by mohl být pás dlouhý, který by byl přes celý upínaný plech a na každé straně by byl utažen jedním šroubem (Obr. 23). Do tohoto řešení lze aplikovat oba výše zmíněné způsoby dotažení. V tomto případě přibude k výše popsaným nevýhodám ještě jedna. Tou je zasažení upínacího pásu do rozsáhlé oblasti nad plechem. Při upínání plechů by se pak musela věnovat vyšší pozornost tomu, kde se bude na plechu provádět laserová operace.



Obr. 23 Modifikace upínání plechů

12.3.5 Specifikace roštu [34]

Pro účely zakládání a upínání plechů byl vybrán lisovaný rošt od firmy Mea. Jedná se o průmyslový mřížový rošt, vyrobený ze žárově pozinkovaných profilů, které jsou do sebe vzájemně zalisovány. Při výrobě jsou nenosné profily vysokým tlakem nalisovány do nosných profilů. To zaručuje pevnost a odolnost proti zkroucení. Zatížitelnost roštu je dána maximálním povoleným průhybem, který činí 1/200 vzdálenosti podpěr.

Vybraný rošt je vysoký 30 mm a velikost oka je 30 x 30 mm. Výška nosného profilu je 30 mm a jeho tloušťka 3 mm. Pro výplňový profil platí rozměry: výška 10 mm a tloušťka 2 mm. Nosnost takového roštu činí 30,85 kg/m². Nejmenší velikost roštu ve výrobním programu firmy Mea je 1000 x 500 mm. Rošt proto bude potřeba na požadované rozměry 390 x 400 mm zmenšit např. úhlovou bruskou.

Protože firma Mea neuvádí v podkladech k tomuto roštu jeho rovinnost, je nejprve třeba jeho vhodnost pro použití v zakladači plechů prověřit. To lze provést např. zakoupením jednoho testovacího kusu a rovinnost proměřit na souřadnicovém měřicím stroji umístěném v laboratořích KVS.

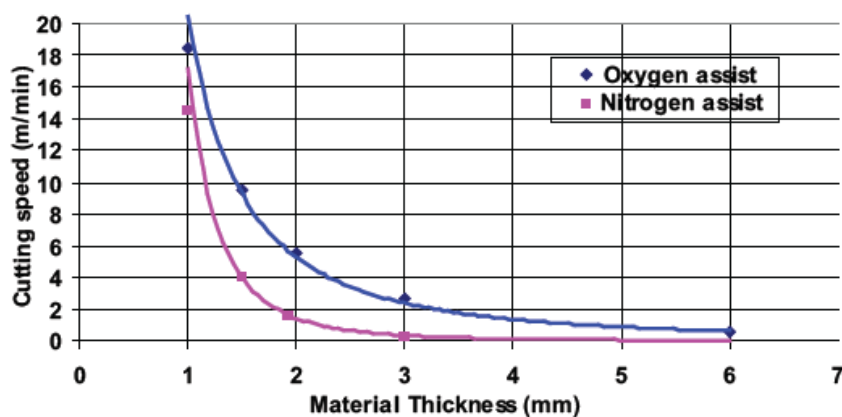
13. TESTOVACÍ ŘEZY

Před samotným započítím testovacích řezů je nejprve třeba se podívat na parametry, kterými se dá ovlivnit kvalita a rychlost řezání. Tyto parametry je nutno nastavit tak, aby se pro různé materiály a různé tloušťky dosáhlo optimální kvality řezu. Jsou to především rychlost posuvu a tlak a druh asistenčního plynu.

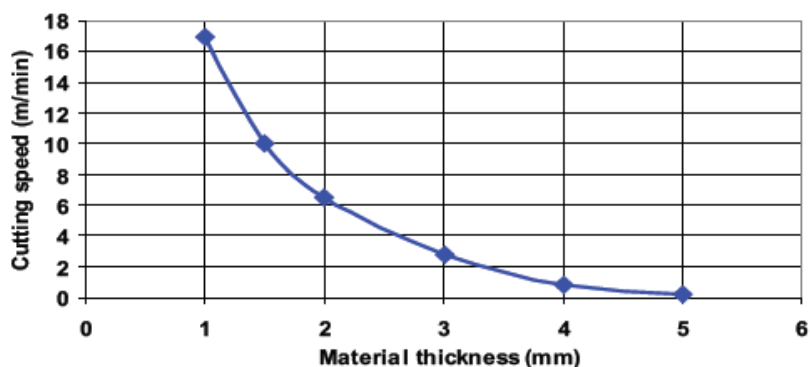
Pro řezání korozivzdorné oceli by se měl nejčastěji jako asistenční plyn používat dusík. Při použití dusíku nedochází k oxidaci na řezné ploše. Alternativou je použití stlačeného vzduchu, který obsahuje 78% dusíku. Tlak plynu by měl být dost vysoký na to, aby zajistil úplné vyfouknutí taveniny z řezné spáry a tím její vyčištění. Pokud bude tlak plynu příliš malý, nedojde k dostatečnému vyfouknutí taveniny a ta se nashromáždí na spodní straně řezné hrany ve formě okují.

Pro rychlost řezání platí, že se musí snižovat s rostoucí tloušťkou řezaného plechu, aby byla zachována dostatečná jakost povrchu řezné plochy. Nejvyšší rychlost řezu lze volit při řezání plechů z konstrukční oceli, o něco nižší při řezání nerezových materiálů a nejnižší při řezání hliníkových slitin. To ovšem neplatí pro velmi malé tloušťky plechu. Tam je situace opačná a pro řezání plechů z hliníkových slitin lze volit vyšší řeznou rychlost než pro řezání korozivzdorné oceli.

Optimální řeznou rychlost pro vláknový laser JK 400 FL udává výrobce v grafu uvedeném na obrázku 24. Rychlost řezání je zde uvedena v závislosti na tloušťce plechu a druhu asistenčního plynu.



a) Korozivzdorná ocel



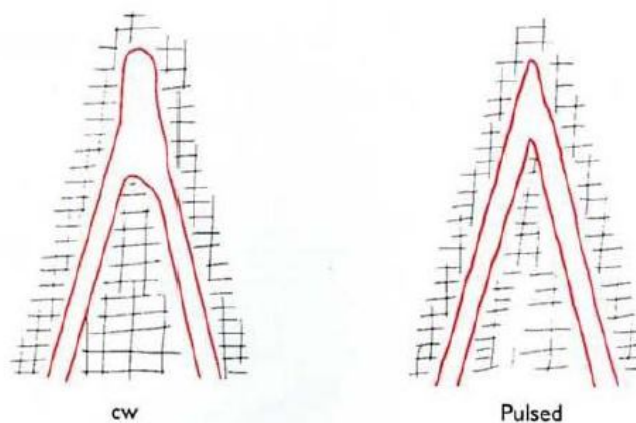
b) Nízkouhlíková ocel – asistenční plyn: kyslík

Obr. 24 Rychlost řezání v závislosti na tloušťce plechu [35]

13.1 Varianty nastavení laseru pro testovací řezy

Pomocí programu FiberView lze laser nastavit tak, aby vyhověl požadavkům kvalitního řezu, a to pro různé materiály a rozličné tloušťky plechů. Tento software umožňuje, ke čtyřem výchozím, nastavit a uložit do paměti dalších až 50 uživatelských konfigurací sady parametrů, podle kterých poté laser pracuje. Tyto jednotlivé sady se poté volí dle zpracovávaného materiálu a jeho tloušťky.

Aby vůbec došlo k průpalu materiálu laserovým paprskem, je třeba nastavit výkon odpovídající dané tloušťce. Na druhou stranu ovšem nesmí být výkon příliš vysoký, aby byla zajištěna dostatečná jakost řezné plochy. Pro použití různých pracovních režimů (kontinuální x pulzní) platí pravidlo, že je dáno tím, jak je potřeba řídit velikost výkonu potřebnou přivést do aktuálního místa řezu [39]. To platí především pro ostré přechody tvarů, jako jsou rohy atd. Na obrázku 25 je vidět rozdíl mezi použitím pulzního a kontinuálního režimu.



Obr. 25 Přechod tvaru při použití kontinuálního a pulzního režimu [40]

I když se provede správné nastavení výkonu a pracovního režimu, musí se ještě pro dodržení požadované jakosti řezu nastavit odpovídající rychlost posuvu. To se provede dle grafů v obrázku 24. V příloze 19 jsou následně uvedeny možnosti nastavení pro testovací řezy. Tyto testovací řezy bohužel nebylo možné provést z důvodu zpoždění dodávky ochranných brýlí.

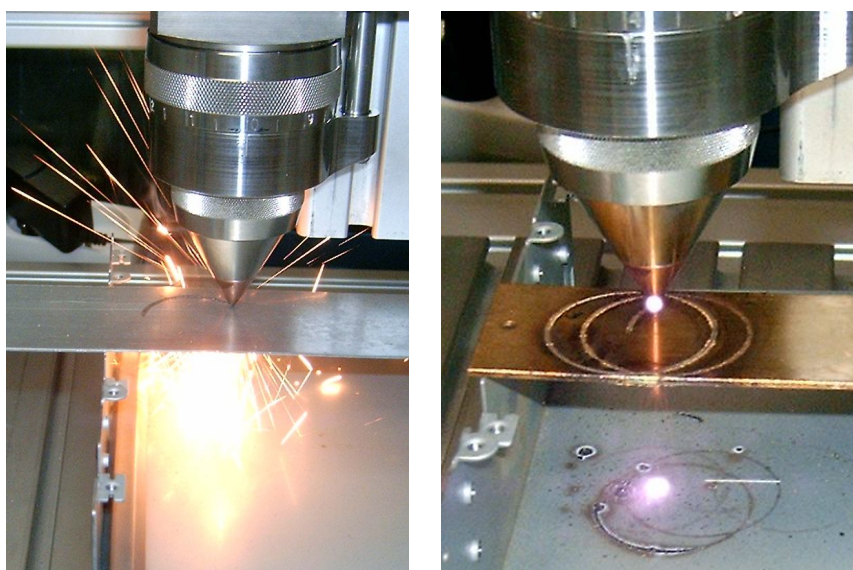
Pro ukázkou funkčnosti zařízení bylo provedeno a vyhodnoceno několik řezů. Ty jsou popsány v následující tabulce 4.

Vzorek	Material*	Tloušťka materiálu [mm]	Provozní režim**	Výkon [W]	Špičkový výkon [W]	Délka trvání pulsu [ms]	Modulační frekvence [kHz]	Rychlost řezu [mm/min]	Asistenční plyn	Schopnost řezu	Jakost řezu
1	HOP	0,8	CW	400	-	-	-	1600	Kyslík	Ano	Dobrá
2	HOP	0,8	SSP	400	-	0,1	4	1600	Kyslík	Ano	Velmi dobrá
3	HOP	0,8	Sine	200	400	-	4	1600	Kyslík	Ano	Velmi dobrá
4	MP	1,6	CW	400	-	-	-	1600	Kyslík	Ne	-
5	MP	1,6	CW	400	-	-	-	800	Kyslík	Ne	-
6	MP	1,6	SSP	400	-	0,1	4	800	Kyslík	Ne	-
7	MP	1,6	SSP	400	-	0,2	4	800	Kyslík	Ne	-
8	MP	1,6	CW	400	-	-	-	400	Kyslík	Ano	Špatná

* HOP – Hlubokotažný ocelový plech
MP – Mosazný plech

** CW – Kontinuální
SSP – Single sector pulse
Sine – Sinusový průběh

Tab. 4 Přehled provedených řezů



Obr. 26 Ukázky řezání ocelového plechu (vlevo) a mosazného plechu

14. MOŽNOST PROPOJENÍ LASERU S ŘÍDÍCÍM SYSTÉMEM STROJE

V této kapitole bude řešeno možné dálkové řízení laseru JK 400 FL, rozbor a popis jeho konektorů a možnosti připojení k řídicímu systému CNC stroje Acramatic.

Hned na začátku je třeba připomenout, že řízení laseru může být prováděno ve dvou různých režimech. Režim lokálního řízení umožňuje řídit laser pomocí připojeného PC s ovládacím programem FiberView vyvinutým firmou GSI. Druhý, dálkový režim ovládání dovoluje k řízení laseru použít řídicí software, který slouží k řízení stroje, do něhož je laser zapracován. V tomto případě je to řídicí systém Acramatic 2100.

14.1 Konektory laseru JK 400 FL

Přehled konektorů na zadní straně laserového zdroje je uveden na obrázku 27. V tabulce 5 je pak uveden jejich popis. Tyto konektory je nutné správně zapojit, aby byl zajištěn bezproblémový provoz laseru. V současnosti jsou obsazeny pouze konektory pro základní funkčnost laseru. Základním zapojením se rozumí připojení chladicí jednotky, síťového napájení, konektoru SK104, v němž je zapojeno optické vlákno, jež vede laserový paprsek do řezací hlavy a konektor PL1, který slouží k ovládání laseru.



Obr. 27 Přehled konektorů JK 400 FL laseru [31]

ID konektoru	Popis
SK101	TTL Trigger / Gate - externí start
PL5	Strojové rozhraní
PL1	Sériový port
PL9	Vyhrazeno pro budoucí využití
SK3	USB port - vyhrazeno pro budoucí využití
SK2	Ethernet port - vyhrazeno pro budoucí využití
SK11	Bezpečnostní spínače stroje
SK10	Externí kontrolní box - vyhrazeno pro budoucí využití
SK104	Připojení optického vlákna

Tab. 5 Popis jednotlivých konektorů (upraveno dle[31])

14.1.1 SK101 – TTL Trigger / Gate

Připojení je provedeno přes 50 Ω BNC přípojku. Tento konektor umožňuje volbu dvou spouštěcích módů. Jsou to módy Trigger nebo Gated. Podle režimu se liší funkce výstupu. TTL Trigger / Gate je zdrojem signálu pro spuštění výstupu laseru. Pokud je tento vstup neaktivní, nebude na výstupu z laseru provedena žádná činnost. Když ale bude aktivní, tak v režimu Gated bude laser emitovat záření až do doby, kdy bude vstup znovu neaktivní. V režimu Trigger bude při aktivním vstupu SK 101 vykonán na výstupu jeden puls dle aktivní sady parametrů. Tento puls bude vždy opakovan při náběžné hraně řídicího signálu na vstupu SK 101.

14.1.2 PL1 – Sériový port

Tento port by měl být spojen s řídicím systémem. Ať už je to řídicí počítač se softwarem FiberView nebo systémový kontrolér stroje. Konektor je devítipinový typu D s RS 232 specifikací. To znamená, že pin 2 slouží jako vstup pro příjem dat, pin 3 jako výstup pro odesílání dat a pin 5 jako společné uzemnění pro piny 2 a 3.

14.1.3 SK11 - Bezpečnostní spínače

Patnáctipinový konektor typu D umožňuje připojit vnější interlocky do bezpečnostního obvodu laseru. Lze připojit dva interlocky uživatelské, tj. z externího bezpečnostního obvodu, dva interlocky pracovní stanice (externí manipulační zařízení) a interlock chladiče. Pokud bude jeden z těchto bezpečnostních spínačů hlásit závadu, bude znemožněno laser spustit.

14.1.4 PL5 – Strojové M / C rozhraní

V řízení laseru hraje největší roli port PL5. Jedná se o konektor typu D s 25 piny. Konektor obsahuje sedm vstupů (IN0 až IN6) a sedm výstupů (OUT0 až OUT6), kterým lze přiřadit funkci tak, aby konfigurace plně vyhovovala zamýšlenému použití laseru. Na portu je od výrobce nastavena výchozí konfigurace, která by měla být vhodná pro většinu aplikací. Pro funkčnost vstupů a výstupů je třeba připojit externí 24V napájení mezi piny PEXT a GNDEXT. V konektoru jsou tyto piny zastoupeny: PEXT dvojicí pinů a GNDEXT trojicí pinů. Jednotlivé piny jsou mezi sebou ve dvojici, resp. trojici vnitřně propojeny, takže k připojení napětí lze použít pouze jeden pár. V následující tabulce 6 je uvedena výchozí konfigurace pinů na strojovém M / C rozhraní PL5.

PIN #	Název pinu	Funkce
1	PEXT	Externí 24 V DC
2	PEXT	Externí 24 V DC
3	IN0	Laser Start
4	IN1	Laser ON / Start procesního cyklu
5	IN3	Nepoužitý
6	IN5	Nepoužitý
7	OUT1	Laser ON / Procesní cyklus aktivní
8	OUT3	Alarm status
9	OUT5	Nepoužitý
10	AOUT	Analogová zpětná vazba výkonu laseru
11	AIN +	Požadavek analogového vstupu +
12	-	-
13	COMMON	Společná zem pro digitální vstupy
14	GNDEXT	Externí 0 V DC
15	GNDEXT	Externí 0 V DC
16	IN6	Vstup pro externí start / Vstupní Trigger
17	IN2	Krok procesního cyklu
18	IN4	Reset alarmu
19	OUT0	Laser v pohotovostním režimu
20	OUT2	Dálkový režim
21	OUT4	Výstraha
22	OUT6	Čekání procesního cyklu
23	GNDEXT	Externí 0 V DC
24	AIN-	Analogový vstup -
25	-	-

Tab. 6 Výchozí konfigurace pinů na PL5 (upraveno dle [31])

Funkce na pinech 4 – Laser ON / Start procesního cyklu, 7 – Laser ON / Pracovní cyklus aktivní a 16 – Vstup pro externí start / Vstupní Trigger jsou multiplexní. To znamená, že výstup z této funkce se mění v závislosti na nastaveném módu (mód sady parametrů nebo mód procesního cyklu).

14.2 Možnosti řízení laseru

Možnosti řízení laseru souvisí s funkcemi vstupů IN0 až IN6 ve strojovém rozhraní PL5. Ve výchozí konfiguraci (viz tabulka 6) jsou na pěti pinech definovány vstupní funkce. Na nepoužité piny (vstupy IN3 a IN5) lze přidat další dvě funkce. Každá z těchto sedmi funkcí může být libovolně přiřazena každému ze sedmi vstupů.

Laser Start

- Výchozí konfigurace: pin 3 – vstup IN0
- Funkce je dostupná pouze v režimu dálkového ovládání (Remote control).
- Pokud bude vstup této funkce 1 (aktivní vstup, ON), přepne laser do pohotovostního stavu.
- Pokud bude vstup této funkce 0 (neaktivní vstup, OFF), přepne laser do stavu OFF.

Laser ON / Start procesního cyklu

- Výchozí konfigurace: pin 4 – vstup IN1
- Funkce je dostupná pouze v režimu dálkového ovládání.
- Pokud bude vstup této funkce 1, přepne laser z pohotovostního stavu do stavu ON / spustí procesní cyklus.
- Pokud bude vstup této funkce 0, přepne laser ze stavu ON do pohotovostního stavu / zastaví procesní cyklus.

Trigger / Gate

- Výchozí konfigurace: pin 16 – vstup IN6
- Funkce je dostupná jak v režimu lokálního, tak dálkového ovládání.
- Vysílá signál pro start vyzařování paprsku a lze pomocí něj řídit výstup laseru.
- Funkce totožná s TTL Trigger / Gate na konektoru SK101.

- Pokud bude na vstupu této funkce 0, nedojde k vyzáření laserového paprsku.
- Pokud bude na vstupu této funkce I, bude v režimu Gate emitován paprsek. V režimu Trigger, dojde vždy při náběžné hraně řídicího signálu k emisi pulsu.
- Současně by měl být použit vždy jen jeden z dvojice nakonfigurovaného Triggeru (PL5, pin 16) a TTL Triggeru (SK101), aby nedošlo ke sporu mezi oběma.
- Stejně jako všechny ostatní funkce může být přiřazena libovolnému ze vstupů, ovšem výrobce doporučuje využít pin č. 16 z toho důvodu, že tento pin má optimalizovanou elektroniku právě pro účely Triggeru.

Výběr zdroje Triggeru

- Výchozí konfigurace: není ve výchozí konfiguraci
- Pokud je na vstupu této funkce 0, tak je laser používán v pulsním režim dle interních parametrů.
- Pokud je na vstupu této funkce I, bude laser pracovat dle řídicího signálu na vstupu Trigger / Gate.

Krok procesního cyklu

- Výchozí konfigurace: pin 17 – vstup IN2
- Funkce je dostupná pouze v režimu dálkového ovládní a v módu procesního cyklu.
- Úkolem je postoupit na další krok pracovního cyklu.

Reset alarmu

- Výchozí konfigurace: pin 18 – vstup IN4
- Funkce je dostupná pouze v režimu dálkového ovládní.
- Úkolem je při náběžné hraně řídicího signálu resetovat alarm. Nejprve ale musí dojít k odstranění příčiny alarmu.
- Při aktivaci tohoto vstupu dojde k vypnutí laseru.

Načtení dat

- Výchozí konfigurace: není ve výchozí konfiguraci
- Jedná se o multiplexní funkci.
- Úkolem je načíst sadu parametrů / data procesního cyklu.

Z tohoto přehledu je vidět, že laser lze plně řídit i v režimu dálkového ovládní. Je ovšem potřeba do stávajícího řídicího softwaru procesní stanice zapracovat pomocné DLL knihovny, které slouží k řízení laseru. Tyto knihovny používá i program FiberView a jsou k dispozici i ve formě samostatného instalačního balíčku na instalačním CD. Více informací o těchto knihovnách viz literatura [36].

15. ZÁVĚR

V této práci bylo snahou zmapovat trh s výrobci laserových zařízení, vybrat jeden produkt odpovídající zadaným požadavkům a ten aplikovat na prototypu víceúčelového CNC stroje.

Nejprve byl tedy sestaven seznam a popis vhodných laserových zdrojů, použitelných pro použití k popisování, gravírování a laserovému řezání. Poté bylo provedeno porovnání těchto zařízení a vybrán jeden nejvhodnější model. Z tohoto porovnání vyšel jako vítěz vláknový laser od společnosti GSI Group s označením JK 400 FL. Tento typ disponuje výkonem 400 W a umožňuje tak i řezání nerezové oceli do tloušťky 4 mm.

S aplikací toho laserového zařízení souvisí řada úprav na uvažovaném prototypu CNC stroje. Ať už se jedná o připevnění řezací hlavy nebo způsob vedení optického vlákna, které dodává laserový paprsek od zdroje do řezací hlavy.

Dále bylo potřeba vyřešit zakládání a upínání plechů. K tomuto účelu byl navrhnout přípravek složený ze čtyř podstavců, které jsou, každý jedním šroubem, připevněny k pracovní desce stolu CNC stroje a z lisovaného mřížového roštu. Ten je na podstavcích ustaven tak, že hlavy upínacích šroubů slouží jako opěrné plochy, které zamezují pohybu roštu. Upínání plechů bylo řešeno pomocí dvou ocelových pásů utahených šroubem.

V práci také bylo potřeba vyřešit bezpečnost práce na laserovém pracovišti. Byly objednány ochranné brýle a navrhuta ochranná opatření, aby bezpečnost laserového pracoviště odpovídala normám.

V práci jsou také shrnuty informace ohledně vhodného nastavení pro řezání různých druhů materiálů a různých tloušťek a navrženy řezné podmínky pro testovací řezy.

Nakonec byla řešena možnost řízení laseru a jeho propojení s řídicím systémem CNC stroje. Tato kapitola se omezila pouze na popis konektorů na JK 400 FL a možnosti jeho řízení. Přímou návrh propojení by asi byla otázka spíše na specialistu z oboru mechatroniky.

Nicméně hlavním cílem této práce bylo uvést první představu řešení aplikace laseru u prototypu CNC stroje. Některá řešení navržená v rámci této diplomové práce se mohou používáním v praxi ukázat jako nevyhovující a budou se muset optimalizovat. Ať už to je otázka bezpečnosti práce, vhodnosti uvedeného CNC stroje (z hlediska

přesnosti polohování) pro aplikaci s laserovým zařízením, příp. návrh nového stroje, optimalizace provedených úprav na stroji (upínač, vedení optického vlákna) nebo nastavení optimálních parametrů pro řezání laserem. Většina z těchto témat se bude muset ještě řešit, což dává vzniknout námětům pro případné následující práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bc. DOSEDĚLOVÁ, P. Výzkum procesu laserového popisování polymerních materiálů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Technologická fakulta, 2005
- [2] MAŇKOVÁ, I. Progresívne technológie. Košice: Strojnícka fakulta TU Košice, Katedra technológií a materiálův, Vienaľa, 2000. ISBN 80-7099-430-4
- [3] Anon. Laser. Quido Magazín [online]. [vid. 2010-3-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.quido.cz/Ojevy/laser.htm>>
- [4] Ing. ŠMÍD, J. Lasery pro průmysl. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, č.7 [vid. 2010-3-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-pro-prumysl>>
- [5] VRBOVÁ, M. Lasery a moderní optika. Praha: Prométheus, 1994. ISBN 80-85849-56-9
- [6] Wikipedie: Laser [online]. [vid. 2010-4-15]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>
- [7] Laserový popis [online]. Olomouc - Holice: Laserový popis. [vid. 2010-4-16]. Dostupné na WWW: <<http://www.laser-popis.cz/tech.htm>>
- [8] Laserový popisovací a řezací systém Pilsen Tools [online]. Plzeň: Pilsen Tools. [vid. 2010-4-16]. Dostupné na WWW: <<http://www.pilsentools.cz/sluzby/slulaser.htm>>
- [9] Ing. ŘASA, J., CSc., Ing. KEREČANINOVÁ, Z., Ph.D. Nekonenční metody obrábění – 5. díl. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, č. 5 [vid. 2010-4-17]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenčni-metody-obrabeni-5-dil>>
- [10] Doležal, I. Laserové gravírování reklamních předmětů. Reklamní produkce [online]. 2009, č. 1 [vid. 2010-4-19]. Dostupné na WWW: <http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=5096&buxus_svetlisku=f3f3>

- [11] Příklady vhodných a nevhodných aplikací laserového řezání [online]. Chomutov: CHPS s.r.o. [vid. 2010-4-23]. Dostupné na WWW: <<http://www.chps.cz/rezani-laserem/priklady-aplikaci.html>>
- [12] Laserové dělení materiálu [online]. [vid. 2010-4-24]. Dostupné na WWW: <<http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>>
- [13] Plyny pro řezání laserem [online]. [vid. 2010-4-30]. Dostupné na WWW: <http://www.linde-gas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/docbyalias/ind_laser2>
- [14] Lasag Industrial Lasers [online]. Thun: Lasaga a Rofin company [vid. 2010-5-5]. Dostupné na WWW: <<http://www.lasag.com/>>
- [15] FLS, N-Series, Pulsed Nd:YAG Lasers [online]. Thun: Lasag a Rofin company, [vid. 2010-5-6]. Dostupné na WWW: <http://www.lasag.com/images/stories/brochures/brochure_fl_s_n_e.pdf>
- [16] MediCom a.s. [online]. Praha: MediCom a.s. [vid. 2010-5-10]. Dostupné na WWW: <<http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove>>
- [17] LASERdiode LDI-S diodový popisovací laser [online]. Praha: MedoCom a.s. [vid. 2010-5-10]. Dostupné na WWW: <<http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove,produkty,popisoem,ldi15s>>
- [18] IPG Photonics [online]. Oxford: IPG Photonics Corporation [vid. 2010-5-13]. Dostupné na WWW: <http://www.ipgphotonics.com/company_overview.htm>
- [19] Single Mode Fiber Lasers for Industrial and Scientific Application [online]. Oxford: IPG Photonics, [vid. 2010-5-14]. Dostupné na WWW: <http://www.ipgphotonics.com/Collateral/Documents/English-US/SM_IPGBrochure.pdf>
- [20] GSI Group – Division Lasers [online]. Rugby: GSI Group – Division Lasers [vid. 2010-5-17]. Dostupné na WWW: <<http://www.gsiglasers.com/>>
- [21] Fiber Lasers [online]. Rugby: GSI Group – Division Lasers [vid. 2010-5-18]. Dostupné na WWW: <<http://www.gsiglasers.com/LaserProducts.aspx?page=11>>

- [22] PRC Products [online]. New Jersey: PRC Laser Corporation [vid. 2010-5-21]. Dostupné na WWW: <<http://www.prclaser.com/products.shtml#turboII>>
- [23] GL Series Lasers: Available up to 2000 Watts [online]. New Jersey: PRC Laser Corporation [vid. 2010-5-22]. Dostupné na WWW: <http://www.prclaser.com/gl_series.shtml>
- [24] We think laser [online]. Hamburg: Rofin Laser [vid. 2010-5-25]. Dostupné na WWW: <<http://www.rofin.com/en/company>>
- [25] Rofin FL series [online]. Hamburg: Rofin Laser [vid. 2010-5-26]. Dostupné na WWW: <http://www.rofin.com/en/products/fiber_lasers/fl_series/#c2110>
- [26] TRUMPF lasers and laser systems [online]. Ditzingen: Trumpf [vid. 2010-6-1]. Dostupné na WWW: <<http://www.trumpf-laser.com/en/products.html>>
- [27] TruFlow Laser bis 10000 Watt [online]. Ditzingen: Trumpf [vid. 2010-6-3]. Dostupné na WWW: <<http://www.trumpf-laser.com/produkte/cosub2sub-laser/laengsgestroemte-laser/truflow-10000-w.html>>
- [28] TruCoax lasers [online]. Ditzingen: Trumpf [vid. 2010-6-5]. Dostupné na WWW: <<http://www.trumpf-laser.com/en/products/cosub2sub-lasers/diffusion-cooled-lasers/trucoax.html>>
- [29] HL cw lasers [online]. Ditzingen: Trumpf [vid. 2010-6-10]. Dostupné na WWW: <<http://www.trumpf-laser.com/en/products/solid-state-lasers/rod-lasers/hl-cw.html>>
- [30] TruPulse lasers [online]. Ditzingen: Trumpf [vid. 2010-6-14]. Dostupné na WWW: <<http://www.trumpf-laser.com/en/products/solid-state-lasers/pulsed-lasers/trupulse.html>>
- [31] JK FIBER LASER Instalační a operační manuál. Rugby: GSI Group, 2010
- [32] Ing. ZELENÝ, P. Návrh a konstrukce prototypu víceúčelového CNC stroje. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Katedra výrobních systémů, 2006

- [33] JK FIBER LASER Cutting Head: User Manual and Focus Adjustment Instructions. Rugby: GSI Group, 2010
- [34] Mřížové rošty [online]. Plzeň: MEA Metal Applications [vid. 2011-4-10].
Dostupné na WWW:
<<http://rosty.mea.cz/component.php?cocode=section&seid=98> >
- [35] JK FIBER LASER Applications Note [online]. Rugby: GSI Group, [vid. 2011-5-2]. Dostupné na WWW:
<<http://www.gsiglasers.com/UserFiles/Documents/Apps%20Note.pdf> >
- [36] GSI GROUP: LASER DIVISION Fiber Laser Serial Communications Architecture. Rugby: GSI Group
- [37] IPG PHOTONICS High Power Fiber Laser for Industrial Applications [online]. Oxford: IPG Photonics Corporation, 2010 [vid. 2010-5-14]. Dostupné na WWW:
<http://www.ipgphotonics.com/Collateral/Documents/English-US/HP_Brochure.pdf >
- [38] Laserová ochrana a bezpečnost [online]. Praha: Lao – průmyslové systémy s.r.o., 2010 [vid. 2011-3-26]. Dostupné na WWW: <http://www.lao.cz/download/lao-laserove_ochranne_prvky_2010_cz.pdf >
- [39] KRAMOLIŠ, L. Laserové řezání s podporou vzduchu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [40] Prof. KUJANPÄÄ, V., Prof. OLSEN, F., Doc. SALMINEN, A. Laser Cutting of austenitic stainless Steel with a high Quality Laser Beam. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology, Department of Mechanical Engineering, 2006

SEZNAM OBRÁZKŮ

	Strana
Obrázek 1	Schéma rezonátoru [1] 15
Obrázek 2	Přehled laserů a jejich vlnové délky [1] 15
Obrázek 3	Schéma popisu maskovací metodou [9] 20
Obrázek 4	Schéma popisu metodou vychylování svazku [9] 20
Obrázek 5	Princip metody řezání laserem [9] 23
Obrázek 6	LDI laser s vychylovací hlavou otočnou v ose laseru [17] 27
Obrázek 7	Pracovní režimy laseru GL 1000 [22] 30
Obrázek 8	Laserový modul a řezací fokusační hlava [31] 36
Obrázek 9	Výstražná tabulka – POZOR, laserové pracoviště 40
Obrázek 10	Světlo s nápisem NEVSTUPOVAT 41
Obrázek 11	Uvažovaný prototyp CNC stroje [32] 42
Obrázek 12	Přípojovací obrazec řezací hlavy [33] 43
Obrázek 13	Upnutí obráběcího vřetene (vlevo) a laserové řezací hlavy 44
Obrázek 14	Způsob vedení optického vlákna 45
Obrázek 15	Situace při maximálním vyjetí v ose Z 45
Obrázek 16	Zakladač plechů s opěrnými čepy 46
Obrázek 17	Deska s opěrnými čepy na podstavcích a detail podstavce 46
Obrázek 18	Varianta zakladače plechů s roštem 47
Obrázek 19	Podstavec s upínáním 48
Obrázek 20	Zjednodušená varianta zakladače plechů s roštem 48
Obrázek 21	Rozměrová analýza připevnění upínače plechů k desce stolu CNC stroje 49
Obrázek 22	Možnosti upnutí plechů 50
Obrázek 23	Modifikace upínání plechů 51
Obrázek 24	Rychlost řezání v závislosti na tloušťce plechu [35] 53
Obrázek 25	Přechod tvaru při použití kontinuálního a pulzního režimu [40] 53
Obrázek 26	Ukázky řezání ocelového plechu (vlevo) a mosazného plechu 54
Obrázek 27	Přehled konektorů JK 400 FL laseru [31] 55

SEZNAM TABULEK

	Strana	
Tabulka 1	Shrnutí jednotlivých druhů laserů (upraveno dle [6])	18
Tabulka 2	Porovnání vybraných laserových zařízení	33
Tabulka 3	Porovnání JK Fiber laseru a YLR 500 SM laseru	35
Tabulka 4	Přehled provedených řezů	54
Tabulka 5	Popis jednotlivých konektorů (upraveno dle [31])	56
Tabulka 6	Výchozí konfigurace pinů na PL5 (upraveno dle [31])	57

SEZNAM PŘÍLOH

		Počet listů
Příloha 1	Technické parametry – FLS N	1
Příloha 2	Technické parametry – FLS A	1
Příloha 3	Technické parametry – LDI 10	1
Příloha 4	Technické parametry – YLR 500 SM	1
Příloha 5	Technické parametry – YLS	1
Příloha 6	Technické parametry – YLS CL	1
Příloha 7	Technické parametry – JK Fiber Laser	1
Příloha 8	Technické parametry – GL 1000	1
Příloha 9	Technické parametry – Rofin FL	1
Příloha 10	Technické parametry – TruFlow 700	1
Příloha 11	Technické parametry – TruCoax 1000	1
Příloha 12	Technické parametry HL cw laserů	1
Příloha 13	Technické parametry – TruPulse 556	1
Příloha 14	Katalog ochranných brýlí Lintech	1
Příloha 15	Ochranné brýle od Polytechnika spol. s r.o.	1
Příloha 16	Ochranné filtry Univet UL-3001	1
Příloha 17	Opěrné čepy Kipp dle DIN 6321	1
Příloha 18	Výškové dorazy dolní dle ČSN 22 6374	1
Příloha 19	Možné nastavení podmínek pro testovací řezy	4

Specifications

Sources available in series **FLS 342N, 352N, 542N, 552N, 652N**

Laser type	Pulsed Nd:YAG-solid-state laser
Wavelength	1064 nm
Pulse length	0.1 - 20 ms
Pulse repetition rate	0.1 - 1000 Hz
Pulse energy	60 - 150 J
Peak power at 1 ms max. ¹⁾	5 - 50 kW
Average power max. ¹⁾	300 - 600 W

¹⁾ measured without beam delivery with new flash lamp

Fiber optic beam delivery

Number of outputs	1 - 6 ports
Modes	Energy-sharing, time-sharing or combined
Fiber core diameter	400 / 600 μm (100 / 200 μm optional)
Fiber length	standard 3/5/10 m, max. 80 m

Line power

Configuration	3-phase + ground, $\pm 10\%$
multitap transformer for	3x208 V ²⁾ , 230 V ²⁾ , 360 V, 400 V, 440 V ²⁾ , 480 V ²⁾
Power consumption	14 - 28 kVA
Line frequency	50 Hz or 60 Hz

²⁾ only FLS 342N, 352N

Cooling water connection

Water inlet max.	20° C / 8 bar
Pressure drop to outlet, min.	4 bar
Cooling power max.	10 - 19 kW, depending on laser output

Weight

Laser unit, incl. optical system	600 - 850 kg, depending on type
----------------------------------	---------------------------------

Ambient conditions

Ambient temperature	10 - 35°C
Relative humidity max.	80 %

Emissions

Heat dissipation approx.	0.4 kW + laser beam power
Noise at 1 m, idle	65 dBA

Compliance with standards

CE compliant, EN 60825-1, EN 60204-1, EN 207, EN 61000-6-4, EN 61000-6-2
IEC 825-1, FDA-CDRH: U.S. 21 CFR 1040.10, ISO 11553

Subject to change

Specifications

Sources available in series	352A, 552A, 652A
Laser type	Pulsed Nd:YAG-solid-state laser
Wavelength	1064 nm
Pulse length	0.1 - 20 ms
Pulse repetition rate	0.1 - 1000 Hz
Pulse energy	60 - 150 J
Peak power at 1 ms max. ¹⁾	5 - 50 kW
Average power max. ¹⁾	300 - 600 W

¹⁾ measured without beam delivery with new flash lamp

Fiber optic beam delivery

Number of outputs	1 - 6 ports
Modes	Energy-sharing, time-sharing or combined
Fiber core diameter	400 / 600 μm (100 / 200 μm optional)
Fiber length	standard 3/5/10 m, max. 80 m

Line power

Configuration	3-phase + ground, $\pm 10\%$
multitap transformer for	3x208 V ²⁾ , 230 V ²⁾ , 360 V, 400 V, 440 V ²⁾ , 480 V ²⁾
Power consumption	14 - 28 kVA
Line frequency	50 Hz or 60 Hz

²⁾ only FLS 342N, 352N

Cooling water connection

Water inlet max.	20° C / 8 bar
Pressure drop to outlet, min.	4 bar
Cooling power max.	10 - 19 kW, depending on laser output

Weight

Laser unit, incl. optical system	600 - 850 kg, depending on type
----------------------------------	---------------------------------

Ambient conditions

Ambient temperature	10 - 35°C
Relative humidity max.	80 %

Emissions

Heat dissipation approx.	0.4 kW + laser beam power
Noise at 1 m, idle	65 dBA

Compliance with standards

CE compliant, EN 60825-1, EN 60204-1, EN 207, EN 61000-6-4, EN 61000-6-2 IEC 825-1, FDA-CDRH: U.S. 21 CFR 1040.10, ISO 11553

Subject to change

Příloha 3 *Technické parametry – LDI 10*

TECHNICKÉ PARAMETRY LASERU:			
Laser Typ: Vlnová délka: Způsob čerpání: Výkon: Spínání laseru: Frekvence:	Nd:YAG, kontinuální 1.06 μm zadní čerpání diodou LDI10 – 1.3kW/mm ² LDI15 – 2.5kW/mm ² akustooptický modulátor programovatelná 0.5 – 60kHz	Fokusační optika Pracovní pole: Expandér svazku: Šířka stopy:	65x65mm* 105x105mm 160x160mm* 250x250mm* 4x fixní motorizovaný* s dynamickým přestříváním typicky 0.06mm dle konfigurace optiky a nastavení expandéru 0.040 ÷ 0.100mm
Vychylovací hlava Princip: Typ: Rychlost popisu: Rozlišení: Opakovatelná přesnost:	galvanometrické vychylování svazku v ose X a Y rychlé vychylovače 0 – 4000mm/s 2μm 25μm	Chlazení Vnitřní okruh:	přímé aktivní vzduchové chlazení (neobsahuje chladicí médium)
TECHNICKÉ PARAMETRY LASERdiode LDI-s:			
Řízení systému Interní: Hlavní řídicí počítač: Monitor: Síť:	řídicí systém kontroluje a nastavuje veškeré provozní parametry laseru PC, Pentium > 2.6GHz, 256MB RAM, floppy, HDD > 100GB, DVD-ROM LCD displej, 15" Ethernet 10/100	Laser a hlava Krytí: Laser rozměry, hmotnost: Vychyl. hlava rozměry: Délka hrdla: Pracovní poloha: Délka přívodu: Provedení el. přívodu: Mechanické připojení:	IP56 346x155x202 [dxvxš], 14kg 162x190x160 [dxvxš] 50mm, 75 – 200mm* horizontální nebo vertikální 3m*, 5m, 10m* Polyamid, ocelový kord* industrial konektor Harting definované připojovací rozhraní laseru pomocí kolíků
Software Operační systém: Návrhový SW: Řídicí SW:	WindowsXP Corel Draw CZ Wmark – řídicí program pro popis, Windows prostředí, nastavování parametrů popisu, komplexní soubor příkazů a funkcí	Kabinet Napájení: Příkon: Krytí: Rozměry: Hmotnost: Provozní podmínky:	230V, 50Hz 600W IP54 600x750x600mm [vxšxh] 80kg teplota 15° ÷ 35°C nekondenzující vlhkost
VYBRANÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ*:			
Připojení Logické: Sériové: Řízené osy:	galvanicky izolované vstupní a výstupní signály pro externí spouštění a ovládání RS232, komunikační protokol, laser je plně řízen a kontrolován nadřazeným systémem krokové motory, dc motory s optickým odečítáním pozice	Odsávání Odsavač Typ1: Odsavač Typ2: Ostatní příslušenství	180m ³ /h, regulace odtahu 230V, 1.3kW 300m ³ /h, bez regulace 380V, 3.4kW viz. příslušné prospekty a technická data

* alternativní nebo volitelné provedení

Příloha 4 *Technické parametry – YLR 500 SM*

Optical Parameters

	Unit	YLR-50	YLR-100	YLR-200	YLR-500-SM	YLR-1000-SM
Nominal Output Power	W	50	100	200	500	1000*
Mode of Operation			CW or directly modulated			
Beam Quality	M ²	<1.05	<1.05	<1.1	<1.1	<1.15
Linewidth	nm	<2	<3	<3	<4	<5
Polarization		random**	random**	random**	random**	random
Output Power Stability	%	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2

Electrical Parameters

	Unit	YLR-50	YLR-100	YLR-200	YLR-500-SM	YLR-1000-SM
Electrical Requirements	V AC	110-230	110-230	110-230	190-250	360-520
Typical Power Consumption	W	200	400	800	2000	4000
Standard Interfaces			Digital I/O, Analog			
Direct Modulation	kHz	0-50	0-50	0-50	0-5	0-5

General Parameters

	Unit	YLR-50	YLR-100	YLR-200	YLR-500-SM	YLR-1000-SM
Cooling Method ***	V AC	air or water	air or water	air or water	water	water
Cooling Water Temperature Range	°C	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
Dimensions (W x H x D)	cm	3RU 19"	3RU 19"	4RU 19"	6RU 19"	60x80x60
Weight	kg	25	30	40	50	150

* Output power up to 2KW available on request with single mode (TEM₀₀) output. Please contact IFG Photonics with your requirements.

** Linear polarization is available on request for up to 500W output power.

*** Customer can select cooling method.



Příloha 5 Technické parametry – YLS



YLS-XXXX	YLS-XXXX	YLS-XXXX
Basic kW Ytterbium Fiber Laser System	kW Class Ytterbium Fiber Laser System	kW Class Ytterbium Fiber Laser System
CW, QCW, SM	CW, QCW, SM	CW, QCW, SM
Random	Random	Random
500 Watts - 2 kW	500 Watts - 4 kW	3kW - 10kW
1070-1080 nm	1070-1080 nm	1070-1080 nm
Available in single mode, 50, 100, 200 or 300 μm diameter	Available in single mode, 50, 100, 200 or 300 μm diameter	Available in 100, 200 or 300 μm diameter
>30%	>30%	>30%
QBH-Type (HLC-8). LCA, QD compatible	QBH-Type (HLC-8). LCA, QD compatible	QBH-Type (HLC-8). LCA, QD compatible
Options Available: External coupler, External 1x2, 1x4 or 1x6 beam switch, or External 50:50 beam splitter.	Options Available: Internal coupler, Internal 1x2 beam switch, Internal 50:50 beam splitter, External 1x4 or 1x6 beam switch.	Options Available: Internal coupler, Internal 1x2 beam switch, Internal 50:50 beam splitter, External 1x4 or 1x6 beam switch.
Standard	Standard	Standard
Standard: LaserNet, Digital I/O, Analog Control	Standard: LaserNet, Digital I/O, Analog Control	Standard: LaserNet, Digital I/O, Analog Control
Additional Options: DeviceNet or Profibus	Additional Options: DeviceNet or Profibus	Additional Options: DeviceNet or Profibus
12U Standalone NEMA 12 Enclosure (HxWxD, mm) 558x790x815	25U Standalone NEMA 12 Enclosure (HxWxD, mm) 1106x856x806	31U Standalone NEMA 12 Enclosure (HxWxD, mm) 1400x856x806
Yes, Maximum 2 kW Upgrade	Yes, Maximum 4 kW Upgrade	Yes, Maximum 10 kW Upgrade
Not Available	Available option <3 kW, Standard on 3 kW+	Standard

*Product designation is relative based on desired wattage and configuration. If a 3 kW system with an internal coupler is desired, the part # designation will be "YLS-3000-C". Likewise the addition of an internal 1x2 switch will have the "-S21" or "-S2" notation depending on the location of the switch on the cabinet.
 - Please consult IPC Sales for information regarding >10 kW lasers.

Příloha 6 Technické parametry – YLS CL

	YLR Series	YLS-CL Series
		
Product Designation¹	YLR-XXXX	YLS-XXXX-CL
Description	Rackmount Ytterbium Fiber Laser Module	Cladding Ytterbium Fiber Laser System
Available Operating Modes	CW, QCW, SM	CW, QCW
Polarization	Random	Random
Available Output Power	10 Watts - 1 kW	500 Watts - 2 kW
Emission Wavelength	1070-1080 nm	1070-1080 nm
Feed Fiber Diameter²	Available in single mode, 50,100,200 or 300 µm diameter	300 µm diameter
Wall Plug Efficiency	>30%	>30%
Output Termination Options	QBH-Type (HLC-8). LCA, QD compatible	QBH-Type (HLC-8). LCA, QD compatible
Ancillary Options	Direct feed to termination only	Internal coupler standard, option to upgrade to 1x2 switch
Air Conditioner	Not Available	Available Option
Interface	RS-232, Digital I/O, Analog Control	Ethernet, Analog & Digital I/O interfaces
Cabinet Style/ Dimensions	6U Rackmount Enclosure ¹ (HxWxD, mm) 266x448x650	25U Standalone NEMA 12 Enclosure (HxWxD, mm) 1106x856x806
Upgradeable	No	No
Redundant Module	Not Available	Not Available

¹ 6U rackmount chassis based on 500 - 1 kW power. <500 Watts housed in either 3U or 4U rackmount design.

Příloha 7 *Technické parametry – JK Fiber Laser*

Performance Data					
Model	JK50FL	JK100FL	JK200FL	JK300FL	JK400FL
Average Output Power (W)	50	100	200	300	400
Operating Modes	CW, Modulated and Peak power enhancement		CW and Modulated		
Output power range	20 - 100%	10 - 100%			
Long term Output power stability	+/- 1.5% typical (+/- 3% specified)				
Wavelength (nm)	1080 +/- 10				
Linewidth (nm)	<2				
Polarisation	Un-Polarised				
Modulation Capability	Unlimited Pulse Shapes, Ramping, Process Cycle				
Min. Rise / Fall Time (µs)	5				
Max. Modulation Frequency (kHz)	50				
Max. Peak Power (W)	100	200	200	300	400
Fiber Optic Beam Delivery					
Output Fiber Type	Single Mode				
Beam Quality	TEM ₀₀ M ² <1.1				
General					
Electrical					
Electrical Supply (Hz)	100 - 264 VAC / 47 - 63				
Power consumption*(W)	250	400	800	1200	1600
Physical					
Height - Air cooled	6U	6U	6U	7U	-
Height - Water Cooled	4U	4U	4U	5U	5U
Environment / Cooling					
Ambient Temperature - Air Cooled (°C)	5 - 35		5 - 25		-
Water Temperature range / Pressure	18 - 28 °C / 6 Bar				
Max. Humidity	85% RH @ 20°C, 50% RH @ 40°C, non-condensing				
Interface					
Standard Interfaces	Serial - RS232, Parallel - Machine Interface				

*Water cooled. Add 30W for air cooled version

Příloha 8 *Technické parametry – GL 1000*

	GL 1000	GL 1500	GL 2000
Rated Power (CW)	1000 Watts	1500 Watts	2000 Watts
Peak Power (Pulse)	2500 Watts	3750 Watts	5000 Watts
Operating Costs	\$2.55/hr	\$2.72/hr	\$2.90/hr
Gas Consumption	10L/hr (China 25L/hr)		
Beam Mode	TEM 00 or D Mode		D Mode
Beam Quality (M ²)	1.3 or 2.0		2.0
Heat Load	54,454 BTU/hr	80,250 BTU/hr	86,700 BTU/hr
Coolant Flow	10GPM / 38LPM		18GPM / 68LPM
Pulse Frequency			
Gated Pulse	CW - 5kHz		
Superpulse	CW - 1kHz		
Hyperpulse	CW - 1kHz		
Electrical			
Volts/Hertz	480V/60Hz, 420V/50/60Hz, 380V/50/60Hz		
KvA (@110% CW Power)	17.6	21.7	22.5
Cut Capacity			
Steel	0.375" / 8mm	0.4375" / 10mm	0.5" / 12mm
Stainless Steel	0.125" / 3mm	0.125" / 3mm	0.25" / 6mm
Aluminum	0.125" / 3mm	0.160 / 4mm	0.200" / 5mm

Příloha 9 Technické parametry – Roфин FL

	ROFIN FL x50	ROFIN FL x75	ROFIN FL 010	ROFIN FL 020
Excitation	Laser diodes	Laser diodes	Laser diodes	Laser diodes
Output power	500 W	750 W	1000 W	2000 W
Beam parameter product (using a 50 µm fiber)	≤ 2,5 mm x mrad	≤ 2,5 mm x mrad	≤ 2,5 mm x mrad	≤ 2,5 mm x mrad
Fiber optic	50 to 600 µm	50 to 600 µm	50 to 600 µm	50 to 600 µm

	ROFIN FL x50 S	ROFIN FL x75 S	ROFIN FL 010 S
Excitation	Laser diodes	Laser diodes	Laser diodes
Output power	500 W	750 W	1000 W
Beam parameter product	≤ 0,4 mm x mrad (single-mode)	≤ 0,4 mm x mrad (single-mode)	≤ 0,4 mm x mrad (single-mode)
Fiber optic	20 µm	20 µm	20 µm

Příloha 10 Technické parametry – TruFlow 700

	TruFlow 700	TruFlow 1200	TruFlow 1500	TruFlow 2000	TruFlow 2700	TruFlow 3200	TruFlow 4000	TruFlow 5000	TruFlow 6000
Jmenovitý výkon [W]	700	1200	1500	2000	2700	3200	4000	5000	6000
Rozložení výkonu ¹	TEM00						TEM01		
Kvalita paprsku ² K (M ²)	0,6 (1,67)						0,5 (2,0)	0,55 (1,82)	
Spotřeba el.energie ³ při 100% výkonu [kW]	23			27	34	36	42	60	64
Rozměry rezonátoru: délka x šířka x výška [mm]	1185 x 1150 x 650								
Hmotnost rezonátoru [kg]	400						430	450	460
Rozměry skříně: šířka x hloubka ⁴ x výška [mm]	1420 x 800 x 2000						2000 x 800 x 2000		
Hmotnost skříně [kg]	970				1020	1040	1060	1380	1400
Vlnová délka	10,6 μm								
Stabilita výkonu vřtažená ke jmen.výkonu	±2%								
Rozsah nastavení výkonu (modulační provoz), závislý na frekvenci pulzů	5% - 100% jmen. výkonu								
Frekvence pulzů (HF)	100 Hz - 100 kHz								
Šířka pulzů	10 μs - cw								
Potřeba laserových plynů [l/h]: He, N ₂ , CO ₂	13, 6, 1								

Příloha 11 Technické parametry – TruCoax 1000

	TruCoax 1000	TruCoax 2000
Wavelength	10.6 μm	10.6 μm
Laser power	1000 W	2000 W
Beam quality K	0.9	0.9
Beam quality M²	1.1	1.1
Power stability at nominal power	$\pm 2 \%$	$\pm 2 \%$
Cooling water temperature range	5 °C - 21 °C	5 °C - 21 °C
Dimensions beam source		
■ Length	1300 mm	1840 mm
■ Width	430 mm	500 mm
■ Height	320 mm	540 mm

Příloha 12 Technické parametry HL cw laserů

Typ	HL 383 D	HL 556 D	HL 703 D	HL 1006 D	HL 1003 D	HL 2006 D	HL 3006 D	HL 4006 D
Max. výst. výkon [W]	500	700	1000	1400	1400	2800	4000	5400
Výkon laseru* [W]	380	550	700	1000	1000	2000	3000	4000
Kvalita paprsku [mm•mrad]	12	25	12	25	12	25	25	25
Průměr jádra světlovedného kabelu [μm]	300	600	300	600	300	600	600	600

* na nástroji, regulovaný. Rozdíl mezi max. výst. výkonem a výkonem laseru odpovídá rezervě výkonu pro regulaci.

Příloha 13 *Technické parametry – TruPulse 556*

	TruPulse 156	TruPulse 203	TruPulse 304	TruPulse 556
Mittlere Leistung	150 160 140 W	200 200 W	300 300 W 300 W	530 530 W
Strahlqualität	25 mm·mrad	12 mm·mrad	16 mm·mrad	25 mm·mrad
Minimaler Durchmesser Laserlichtkabel	600 µm	300 µm	400 µm	600 µm
Pulsdauer	0,3 ms - 50 ms	0,3 ms - 50 ms	0,3 ms - 50 ms	0,3 ms - 50 ms
Max. Pulsleistung	6 6 10 kW	6 8 kW	10 10 kW	10 10 kW
Max. Pulsenergie	30 80 120 J	55 90 J	60 90 J	60 100 J
Nennleistungsaufnahme				
■ luftgekühlt	4,8 kW	7,8 kW	10,1 kW	16,7 kW
■ wassergekühlt	4,7 kW	7,8 kW	10,1 kW	16,7 kW
Max. Kühlwasserbedarf bei 15 Grad Zulauftemperatur	0,2 m ³ /h	0,4 m ³ /h	0,5 m ³ /h	0,7 m ³ /h
Kühlwasser Temperaturbereich	6 °C - 28 °C	6 °C - 28 °C	6 °C - 28 °C	6 °C - 28 °C
Bauform	B B/C C	D	D/D+	D/D+

OCHRANNÉ BRÝLE PRO LASERY					
Typy provedení brýlí					
STY1LG	STY1SM	STY1UN	STY2UN	STY3UN	
					
Technická data filtrů					
Typ laseru	% VLT	Vlnová délka			
OP20EPECO	ECO UV/IR	93% průhledné	190-315/D/L5, 315-398/D/L4, 190-398/R/L5, 10800/D/I/L2		
OP20EPARG	Argon	38% oranžové	180-315/D/L7, 180-315/R/L4, >315-532/D/L4, >315-532/I/R/L6, 450-532/D/L5, 450-532/I/R/L6		
OP20EPDI4	Diode 4	12% modré	625-830/D/R/L4, 830-850/D/I/R/L3, 625-670/I/L4, 800-830/I/L4, 870-800/I/L5		
OP20EPALX	Alexandrité	25% růžové	720-820/D/L5, 720-820/I/L7, 720-820/R/L6,		
OP20EPDI6	Diode 6	33% zelené	670-690/D/I/R/L3, 820-1050/D/I/R/L3		
OP20EPYG2	Nd:YAG Wideband	35% okrové	190-315/D/L6, 190-315/R/L4, >315-400/D/R/L4, 720-1060/M/L5, 720-1075/D/L5, 720-750/I/R/L5, >1064-1075/I/R/L5, 750-1064/I/R/L7		
OP20EPYG3	Nd:YAG	59% zelené	840-950/D/I/R/L5, 840-1060/M/L5, 950-1070/D/L5, 950-1070/I/R/L7, 1070-1090/D/I/R/L5		
OP20EPDBY	DBY UV/INIR	24% okrové	190-315/D/L7, 316-534/D/L4, 190-315/R/L4, 316-534/I/R/L6, 910-1064/D/L4, 910-1064/I/R/L6		
OP20EPYAD	Nd:YAG Harm-Diode	11% okrové	180-315/D/L7, 180-315/R/L3, >315-534/D/L4, >315-534/I/R/L6, 315-532/M/L5, 730-740/D/L4, 730-740/I/R/L5, >740-1064/D/L4, >740-1064/I/R/L6, 730-1064/M/L5, 10800/D/I/L2		
OP20EPIRD	IR Diode	18% zelené	180-315/D/L6, 316-400/D/L4, 180-400/R/L4, 770-820/D/I/R/L2, 821-865/D/I/R/L3, 866-1145/D/I/R/L4, 940-1064/I/R/L5, 1065-1145/I/R/L4, 1146-1400/D/I/R/L3, 1401-1840/D/I/R/L2, 1841-1950/D/I/R/L1		

CE-certifikace vyhovuje mezinárodním bezpečnostním normám, předpisům o laseru ANSI Z136.1-3 a příslušným normám EN207/EN208, Z87.1. Brýle lze použít i přes nasazené vlastní dioptrické brýle.

D - kontinuální laser I, R - pulzní laser L1 - L10 třída ochrany

Ochranné VISION L-05/L-05K

12.12.2008

Nejdůležitější údaje

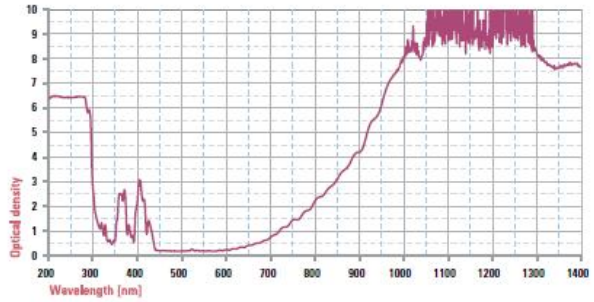
- filtr se základním zakřivením 6 pro dobré pole viditelnosti
- vysoký stupeň ochrany jako DIR L9 315-1400 nm
- absorpční a reflexní skla s filtrem
- absorpční a reflexní plastová skla s filtrem
- standart (L-05) a vynucená verze ((L-05K)
- upínací náhlavní pásek nebo tvárné packy jako varianta



Filter code: UL-3001

Filter	Full protection
Colour	Aqua
Material	Glass
Technology	Interferential filter
VLT	70%
Alignment laser wavelength (T%>10%)	430-720 nm

FILTRI INTERFERENZIALI / INTERFERENTIAL FILTERS



Wavelength		OD	Protection level	559L	559G
				559L.00.00.100	559G.00.00.100
1025	1100	9	D LB8 IRM LB9	D LB8 IRM LB9	D LB8 IRM LB9



Středící a opěrné čepy



DIN 6321 (vydání 1973)

Provedení A
opěrné čepy

Provedení B
středící čepy
válcové

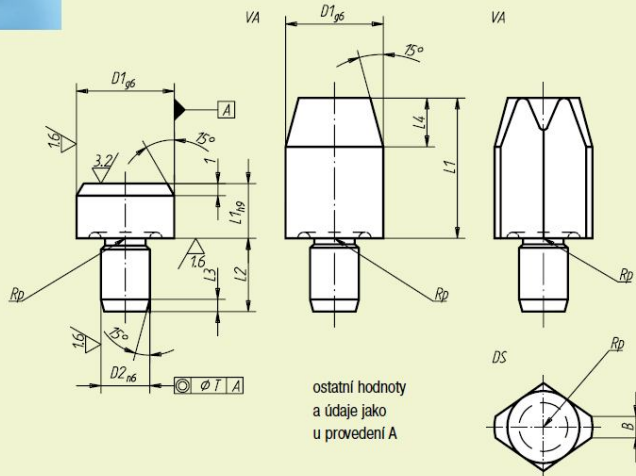
Provedení C
středící čepy
zploštělé

Materiál:
Nástrojová ocel.

Provedení:
Tvrzeno a broušeno,
opěrné plochy bez vystředění.

Pokyny:
Opěrné čepy provedení A slouží jako opěrky obrobků nebo jako podpěry pro zařízení. Středící čepy provedení B slouží k ustavení obrobků do příslušných zalcovaných otvorů. U provedení C se zkosnými stěnami je možné překlenutí tolerančních hodnot u vzdálenosti mezi otvory; toto provedení dále umožňuje upevnit ustavovaný díl jen v jednom směru. Provedení A a B lze použít také jako tvrdé dorazy a jako nožky pro přípravky.

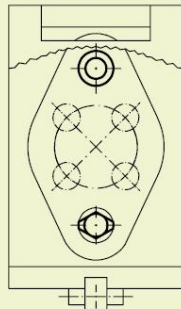
Obdobné čepy viz
Středící čepy KIPP válcové 03120 a
Středící čepy KIPP zkosné 03150.



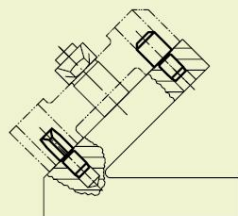
ostatní hodnoty
a údaje jako
u provedení A

Středící a opěrné čepy KIPP

Objednací číslo provedení A	D1 _{g6}	L1 _{H9}	D2 _{n6}	L2	L3	T	Hmotnost ca. g
02020-106	6	5	4	6	1,2	0,02	1,5
02020-110	10	6	6	9	1,6	0,02	5,5
02020-116	16	8	8	12	2	0,04	16,0
02020-125	25	10	12	18	2,5	0,04	50,0



Objednací číslo provedení B										Hmotnost ca. g		
krátké	D1 _{g6}	L1	dlouhé	D1 _{g6}	L1	D2 _{n6}	L2	L3	L4	T	krátké	dlouhé
02020-206	6	7	02020-306	6	12	4	6	1,2	4	0,02	2	3
02020-208	8	10	02020-308	8	16	6	9	1,6	6	0,02	6	8
02020-210	10	10	02020-310	10	18	6	9	1,6	6	0,02	7	10
02020-212	12	10	02020-312	12	18	6	9	1,6	6	0,02	8	12
02020-216	16	13	02020-316	16	22	8	12	2	8	0,04	21	31
02020-220	20	15	02020-320	20	25	12	18	2,5	9	0,04	46	64
02020-225	25	15	02020-325	25	25	12	18	2,5	9	0,04	66	98



Objednací číslo provedení C											Hmotnost ca. g		
krátké	D1 _{g6}	L1	dlouhé	D1 _{g6}	L1	D2 _{n6}	L2	L3	L4	B	T	krátké	dlouhé
02020-406	6	7	02020-506	6	12	4	6	1,2	4	1	0,02	2	3
02020-408	8	10	02020-508	8	16	6	9	1,6	6	1,6	0,02	6	8
02020-410	10	10	02020-510	10	18	6	9	1,6	6	2,5	0,02	7	10
02020-412	12	10	02020-512	12	18	6	9	1,6	6	2,5	0,02	8	12
02020-416	16	13	02020-516	16	22	8	12	2	8	3,5	0,04	21	31
02020-420	20	15	02020-520	20	25	12	18	2,5	9	5	0,04	46	64
02020-425	25	15	02020-525	25	25	12	18	2,5	9	5	0,04	66	98

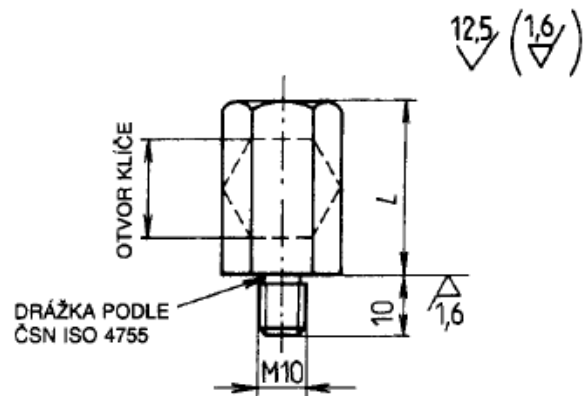
Příklad objednávky: Středící a opěrné čepy KIPP 02020-212



VÝŠKOVÉ DORAZY DOLNÍ

Výběr z ČSN 22 6374
Účinnost od 1. 7. 1961

Rozměry v mm



Obr. 1

Označení výškového dorazu dolního s otvorem klíče 17 mm a s délkou $L = 25$ mm:

DORAZ 17 × 25 ČSN 22 6374

Rozměry v mm

Otvor klíče	L	
17; 27	15	Výška L se upraví na přesnou míru až po dohotovení nástroje
	20	
	25	
	30	
	35	
	40	
	45	
	50	

Materiál je ocel 11 500, tažená šestihranná.

Příloha 19 Možné nastavení podmínek pro testovací řezy

Řez	Materiál	Tloušťka materiálu [mm]	Provozní režim	Výkon [W]	Špičkový výkon [W]	Délka trvání pulsu [ms]	Modulační frekvence [kHz]	Rychlost řezu [m/min]	Asistenční plyn
1	Nízkouhlíková ocel	1	CW	100	-	-	-	10	Kyslík
2	Nízkouhlíková ocel	1	CW	200	-	-	-	10	Kyslík
3	Nízkouhlíková ocel	1	CW	300	-	-	-	10	Kyslík
4	Nízkouhlíková ocel	1	CW	400	-	-	-	10	Kyslík
5	Nízkouhlíková ocel	1	Sine	100	200	Různá	Různá	10	Kyslík
6	Nízkouhlíková ocel	1	Sine	200	300	Různá	Různá	10	Kyslík
7	Nízkouhlíková ocel	1	Sine	200	400	Různá	Různá	10	Kyslík
8	Nízkouhlíková ocel	1	Sine	300	400	Různá	Různá	10	Kyslík
9	Nízkouhlíková ocel	1	SSP	100	-	Různá	Různá	10	Kyslík
10	Nízkouhlíková ocel	1	SSP	200	-	Různá	Různá	10	Kyslík
11	Nízkouhlíková ocel	1	SSP	300	-	Různá	Různá	10	Kyslík
12	Nízkouhlíková ocel	1	SSP	400	-	Různá	Různá	10	Kyslík
13	Nízkouhlíková ocel	2	CW	100	-	-	-	6	Kyslík
14	Nízkouhlíková ocel	2	CW	100	-	-	-	3	Kyslík
15	Nízkouhlíková ocel	2	CW	200	-	-	-	6	Kyslík
16	Nízkouhlíková ocel	2	CW	200	-	-	-	3	Kyslík
17	Nízkouhlíková ocel	2	CW	300	-	-	-	6	Kyslík
18	Nízkouhlíková ocel	2	CW	300	-	-	-	3	Kyslík
19	Nízkouhlíková ocel	2	CW	400	-	-	-	6	Kyslík
20	Nízkouhlíková ocel	2	CW	400	-	-	-	3	Kyslík
21	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	100	200	Různá	Různá	6	Kyslík
22	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	100	200	Různá	Různá	3	Kyslík
23	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	200	300	Různá	Různá	6	Kyslík
24	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	200	300	Různá	Různá	3	Kyslík
25	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	200	400	Různá	Různá	6	Kyslík
26	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	200	400	Různá	Různá	3	Kyslík
27	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	300	400	Různá	Různá	6	Kyslík
28	Nízkouhlíková ocel	2	Sine	300	400	Různá	Různá	3	Kyslík
29	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	100	-	Různá	Různá	6	Kyslík
30	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	100	-	Různá	Různá	3	Kyslík
31	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	200	-	Různá	Různá	6	Kyslík
32	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	200	-	Různá	Různá	3	Kyslík
33	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	300	-	Různá	Různá	6	Kyslík
34	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	300	-	Různá	Různá	3	Kyslík
35	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	400	-	Různá	Různá	6	Kyslík
36	Nízkouhlíková ocel	2	SSP	400	-	Různá	Různá	3	Kyslík
37	Nízkouhlíková ocel	3	CW	100	-	-	-	2,5	Kyslík
38	Nízkouhlíková ocel	3	CW	100	-	-	-	1	Kyslík
39	Nízkouhlíková ocel	3	CW	200	-	-	-	2,5	Kyslík

Řez	Materiál	Tloušťka materiálu [mm]	Provozní režim	Výkon [W]	Špičkový výkon [W]	Délka trvání pulsu [ms]	Modulační frekvence [kHz]	Rychlost řezu [m/min]	Asistenční plyn
40	Nízkouhlíková ocel	3	CW	200	-	-	-	1	Kyslík
41	Nízkouhlíková ocel	3	CW	300	-	-	-	2,5	Kyslík
42	Nízkouhlíková ocel	3	CW	300	-	-	-	1	Kyslík
43	Nízkouhlíková ocel	3	CW	400	-	-	-	2,5	Kyslík
44	Nízkouhlíková ocel	3	CW	400	-	-	-	1	Kyslík
45	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	100	200	Různá	Různá	2,5	Kyslík
46	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	100	200	Různá	Různá	1	Kyslík
47	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	200	300	Různá	Různá	2,5	Kyslík
48	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	200	300	Různá	Různá	1	Kyslík
49	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	200	400	Různá	Různá	2,5	Kyslík
50	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	200	400	Různá	Různá	1	Kyslík
51	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	300	400	Různá	Různá	2,5	Kyslík
52	Nízkouhlíková ocel	3	Sine	300	400	Různá	Různá	1	Kyslík
53	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	100	-	Různá	Různá	2,5	Kyslík
54	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	100	-	Různá	Různá	1	Kyslík
55	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	200	-	Různá	Různá	2,5	Kyslík
56	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	200	-	Různá	Různá	1	Kyslík
57	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	300	-	Různá	Různá	2,5	Kyslík
58	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	300	-	Různá	Různá	1	Kyslík
59	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	400	-	Různá	Různá	2,5	Kyslík
60	Nízkouhlíková ocel	3	SSP	400	-	Různá	Různá	1	Kyslík
61	Nízkouhlíková ocel	4	CW	200	-	-	-	1	Kyslík
62	Nízkouhlíková ocel	4	CW	200	-	-	-	0,5	Kyslík
63	Nízkouhlíková ocel	4	CW	300	-	-	-	1	Kyslík
64	Nízkouhlíková ocel	4	CW	300	-	-	-	0,5	Kyslík
65	Nízkouhlíková ocel	4	CW	400	-	-	-	1	Kyslík
66	Nízkouhlíková ocel	4	CW	400	-	-	-	0,5	Kyslík
67	Nízkouhlíková ocel	4	Sine	200	300	Různá	Různá	1	Kyslík
68	Nízkouhlíková ocel	4	Sine	200	300	Různá	Různá	0,5	Kyslík
69	Nízkouhlíková ocel	4	Sine	200	400	Různá	Různá	1	Kyslík
70	Nízkouhlíková ocel	4	Sine	200	400	Různá	Různá	0,5	Kyslík
71	Nízkouhlíková ocel	4	Sine	300	400	Různá	Různá	1	Kyslík
72	Nízkouhlíková ocel	4	Sine	300	400	Různá	Různá	0,5	Kyslík
73	Nízkouhlíková ocel	4	SSP	200	-	Různá	Různá	1	Kyslík
74	Nízkouhlíková ocel	4	SSP	200	-	Různá	Různá	0,5	Kyslík
75	Nízkouhlíková ocel	4	SSP	300	-	Různá	Různá	1	Kyslík
76	Nízkouhlíková ocel	4	SSP	300	-	Různá	Různá	0,5	Kyslík
77	Nízkouhlíková ocel	4	SSP	400	-	Různá	Různá	1	Kyslík
78	Nízkouhlíková ocel	4	SSP	400	-	Různá	Různá	0,5	Kyslík

Řez	Materiál	Tloušťka materiálu [mm]	Provozní režim	Výkon [W]	Špičkový výkon [W]	Délka trvání pulsu [ms]	Modulační frekvence [kHz]	Rychlost řezu [m/min]	Asistenční plyn
1	Nerezová ocel	1	CW	100	-	-	-	10	Dusík
2	Nerezová ocel	1	CW	100	-	-	-	5	Dusík
3	Nerezová ocel	1	CW	200	-	-	-	10	Dusík
4	Nerezová ocel	1	CW	200	-	-	-	5	Dusík
5	Nerezová ocel	1	CW	300	-	-	-	10	Dusík
6	Nerezová ocel	1	CW	300	-	-	-	5	Dusík
7	Nerezová ocel	1	CW	400	-	-	-	10	Dusík
8	Nerezová ocel	1	CW	400	-	-	-	5	Dusík
9	Nerezová ocel	1	Sine	100	200	Různá	Různá	10	Dusík
10	Nerezová ocel	1	Sine	100	200	Různá	Různá	5	Dusík
11	Nerezová ocel	1	Sine	200	300	Různá	Různá	10	Dusík
12	Nerezová ocel	1	Sine	200	300	Různá	Různá	5	Dusík
13	Nerezová ocel	1	Sine	200	400	Různá	Různá	10	Dusík
14	Nerezová ocel	1	Sine	200	400	Různá	Různá	5	Dusík
15	Nerezová ocel	1	Sine	300	400	Různá	Různá	10	Dusík
16	Nerezová ocel	1	Sine	300	400	Různá	Různá	5	Dusík
17	Nerezová ocel	1	SSP	100	-	Různá	Různá	10	Dusík
18	Nerezová ocel	1	SSP	100	-	Různá	Různá	5	Dusík
19	Nerezová ocel	1	SSP	200	-	Různá	Různá	10	Dusík
20	Nerezová ocel	1	SSP	200	-	Různá	Různá	5	Dusík
21	Nerezová ocel	1	SSP	300	-	Různá	Různá	10	Dusík
22	Nerezová ocel	1	SSP	300	-	Různá	Různá	5	Dusík
23	Nerezová ocel	1	SSP	400	-	Různá	Různá	10	Dusík
24	Nerezová ocel	1	SSP	400	-	Různá	Různá	5	Dusík
25	Nerezová ocel	2	CW	100	-	-	-	1,5	Dusík
26	Nerezová ocel	2	CW	100	-	-	-	0,7	Dusík
27	Nerezová ocel	2	CW	200	-	-	-	1,5	Dusík
28	Nerezová ocel	2	CW	200	-	-	-	0,7	Dusík
29	Nerezová ocel	2	CW	300	-	-	-	1,5	Dusík
30	Nerezová ocel	2	CW	300	-	-	-	0,7	Dusík
31	Nerezová ocel	2	CW	400	-	-	-	1,5	Dusík
32	Nerezová ocel	2	CW	400	-	-	-	0,7	Dusík
33	Nerezová ocel	2	Sine	100	200	Různá	Různá	1,5	Dusík
34	Nerezová ocel	2	Sine	100	200	Různá	Různá	0,7	Dusík
35	Nerezová ocel	2	Sine	200	300	Různá	Různá	1,5	Dusík
36	Nerezová ocel	2	Sine	200	300	Různá	Různá	0,7	Dusík
37	Nerezová ocel	2	Sine	200	400	Různá	Různá	1,5	Dusík
38	Nerezová ocel	2	Sine	200	400	Různá	Různá	0,7	Dusík
39	Nerezová ocel	2	Sine	300	400	Různá	Různá	1,5	Dusík
40	Nerezová ocel	2	Sine	300	400	Různá	Různá	0,7	Dusík
41	Nerezová ocel	2	SSP	100	-	Různá	Různá	1,5	Dusík
42	Nerezová ocel	2	SSP	100	-	Různá	Různá	0,7	Dusík

Řez	Materiál	Tloušťka materiálu [mm]	Provozní režim	Výkon [W]	Špičkový výkon [W]	Délka trvání pulsu [ms]	Modulační frekvence [kHz]	Rychlost řezu [m/min]	Asistenční plyn
43	Nerezová ocel	2	SSP	200	-	Různá	Různá	1,5	Dusík
44	Nerezová ocel	2	SSP	200	-	Různá	Různá	0,7	Dusík
45	Nerezová ocel	2	SSP	300	-	Různá	Různá	1,5	Dusík
46	Nerezová ocel	2	SSP	300	-	Různá	Různá	0,7	Dusík
47	Nerezová ocel	2	SSP	400	-	Různá	Různá	1,5	Dusík
48	Nerezová ocel	2	SSP	400	-	Různá	Různá	0,7	Dusík
49	Nerezová ocel	3	CW	200	-	-	-	0,5	Dusík
50	Nerezová ocel	3	CW	200	-	-	-	0,2	Dusík
51	Nerezová ocel	3	CW	300	-	-	-	0,5	Dusík
52	Nerezová ocel	3	CW	300	-	-	-	0,2	Dusík
53	Nerezová ocel	3	CW	400	-	-	-	0,5	Dusík
54	Nerezová ocel	3	CW	400	-	-	-	0,2	Dusík
55	Nerezová ocel	3	Sine	200	300	Různá	Různá	0,5	Dusík
56	Nerezová ocel	3	Sine	200	300	Různá	Různá	0,2	Dusík
57	Nerezová ocel	3	Sine	200	400	Různá	Různá	0,5	Dusík
58	Nerezová ocel	3	Sine	200	400	Různá	Různá	0,2	Dusík
59	Nerezová ocel	3	Sine	300	400	Různá	Různá	0,5	Dusík
60	Nerezová ocel	3	Sine	300	400	Různá	Různá	0,2	Dusík
61	Nerezová ocel	3	SSP	200	-	Různá	Různá	0,5	Dusík
62	Nerezová ocel	3	SSP	200	-	Různá	Různá	0,2	Dusík
63	Nerezová ocel	3	SSP	300	-	Různá	Různá	0,5	Dusík
64	Nerezová ocel	3	SSP	300	-	Různá	Různá	0,2	Dusík
65	Nerezová ocel	3	SSP	400	-	Různá	Různá	0,5	Dusík
66	Nerezová ocel	3	SSP	400	-	Různá	Různá	0,2	Dusík
67	Nerezová ocel	4	CW	300	-	-	-	0,2	Dusík
68	Nerezová ocel	4	CW	300	-	-	-	0,07	Dusík
69	Nerezová ocel	4	CW	400	-	-	-	0,2	Dusík
70	Nerezová ocel	4	CW	400	-	-	-	0,07	Dusík
71	Nerezová ocel	4	Sine	200	400	Různá	Různá	0,2	Dusík
72	Nerezová ocel	4	Sine	200	400	Různá	Různá	0,07	Dusík
73	Nerezová ocel	4	Sine	300	400	Různá	Různá	0,2	Dusík
74	Nerezová ocel	4	Sine	300	400	Různá	Různá	0,07	Dusík
75	Nerezová ocel	4	SSP	300	-	Různá	Různá	0,2	Dusík
76	Nerezová ocel	4	SSP	300	-	Různá	Různá	0,07	Dusík
77	Nerezová ocel	4	SSP	400	-	Různá	Různá	0,2	Dusík
78	Nerezová ocel	4	SSP	400	-	Různá	Různá	0,07	Dusík

Legenda: CW – Kontinuální
SSP – Single Sector Pulse
Sine – Sinusový průběh