

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**ŠÁRKA
KUTÁLKOVÁ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kutálková** Jméno: **Šárka** Osobní číslo: **490925**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Produktivní značení laserem

Název bakalářské práce anglicky:

Productive laser marking

Pokyny pro vypracování:

1. Druhy laserů a možnosti popisování.
2. Návrh experimentu.
3. Vyhodnocení experimentu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Novák, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.03.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **29.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Pavel Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne:

.....

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Novákovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a cenné rady. Dále bych chtěla paní Ing. Radce Bičíštové za vedení a pomoc především při řešení praktické části této práce. V neposlední řadě bych poděkovala panu Ing. Tomáši Primusovi za pomoc při experimentu. Poděkování také náleží mé rodině za podporu během celého studia.

Anotace

Název práce: Produktivní značení laserem

Autor: Šárka Kutálková

Druh práce: Bakalářská

Vedoucí práce: Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá produktivním značením laserem. V teoretické části této práce jsem se zabývala fungováním laseru, rozdělení podle typů, jeho použití v značení a bezpečností. Dále jsem se zabývala technologiemi značení a jejich srovnáním.

V praktické části jsem testovala 2 lasery pro zjištění vhodných parametrů pro produktivní značení korozivzdorné oceli a vyhodnotila výsledky.

Klíčová slova: laser, značení, laserové značení, paprsek, produktivita

Annotation

Thesis title: Productive laser marking

Author: Šárka Kutálková

Kind of work: Bachelor

Supervisor: Ing. Pavel Novák, Ph.D

Annotation:

This bachelor's thesis deals with productive laser marking. In the theoretical part I deal with function of laser, the overview of the types of lasers, his application in marking and safety factors.

In practical part, I tested 2 lasers for finding the best parameters for productive marking of stainless steel and analysed the outcomes.

Keywords: laser, marking, laser marking, beam, productivity

Obsah

Úvod.....	10
1. Laser.....	11
1.1. Hlavní součásti laseru.....	11
1.2. Princip laseru.....	11
1.3. Typy laserů.....	12
1.3.1. Lasery pro značení	14
2. Technologie značení	15
2.1. Inkoustový tisk	15
2.1.1. Princip technologie InkJet.....	15
2.1.2. Výhody a nevýhody	17
2.2. Mikroúderové značení.....	17
2.2.1. Princip technologie	18
2.2.2. Výhody a nevýhody	18
2.3. Termotransferový tisk	18
2.3.1. Princip technologie	19
2.3.2. Výhody a nevýhody	19
3. Laserové značení.....	20
3.1. Metody značení laserem.....	20
3.1.1. Značení laserem přes masku	20
3.1.2. Značení vychylováním paprsku laseru.....	21
3.2. Způsoby značení laserem	22
3.2.1. Žihání laserem.....	22
3.2.2. Tavení laserem	23

3.2.3.	Gravírování laserem.....	24
3.2.4.	Karbonizace laserem.....	24
3.2.5.	Pěnění laserem	25
3.2.6.	Spojování laserem.....	26
3.3.	Výhody a nevýhody	26
3.4.	Produktivní značení laserem	27
3.5.	Srovnání značících technologií	30
4.	Identifikátory.....	31
4.1.	Čárové kódy	31
4.2.	Dvojměrné kódy.....	32
4.2.1.	QR kód.....	32
4.2.2.	Data Matrix.....	33
4.3.	RFID.....	34
4.4.	Grafiky	35
5.	Bezpečnost.....	36
6.	Experimentální optimalizace laserového značení.....	37
6.1.	Použité zařízení	37
6.1.1.	Laser OMRON MX-AI2030-C.....	37
6.1.2.	Laser SPI Lasers Air – cooled EP-Z Laser	38
6.2.	Zkušební vzorky.....	40
6.3.	Průběh experimentu.....	40
6.3.1.	Laser OMRON.....	40
6.3.2.	Vyhodnocení experimentů značení na laseru OMRON.....	41
6.3.3.	Laser SPI Lasers	42
6.3.4.	Vyhodnocení experimentů značení na laseru SPI Lasers	45

7.	Závěr	47
8.	Citovaná literatura.....	48
9.	Seznam obrázků	52
10.	Seznam tabulek	53

Úvod

Laser je optický kvantový generátor neboli zesilovač světla, který se začal využívat od 60. let 20. století. Od svého objevení se lasery kategorizují do mnoha skupin dle specifických využití.

Ve strojírenství využíváme laser pro trvalé značení součástí. Určité druhy laserů jsou vhodnější pro různé druhy materiálů. V současné době roste tlak na kvalitu povrchu a tvarovou složitost, u kterých je využití laserů nejvhodnější.

Ke značení materiálů se používá několik metod, mezi které nejčastěji patří inkoustový tisk, mikroúderové značení a laserové značení. Laserové značení patří mezi novější technologie, která byla vytvořena z důvodu potřeby přesnějšího, rychlejšího, otěruvzdorného značení součástí. Laser při interakci s povrchem vytváří na povrchu materiálu oxidovanou vrstvu, která odolává chemikáliím, což je výhoda oproti jiným technologiím značení.

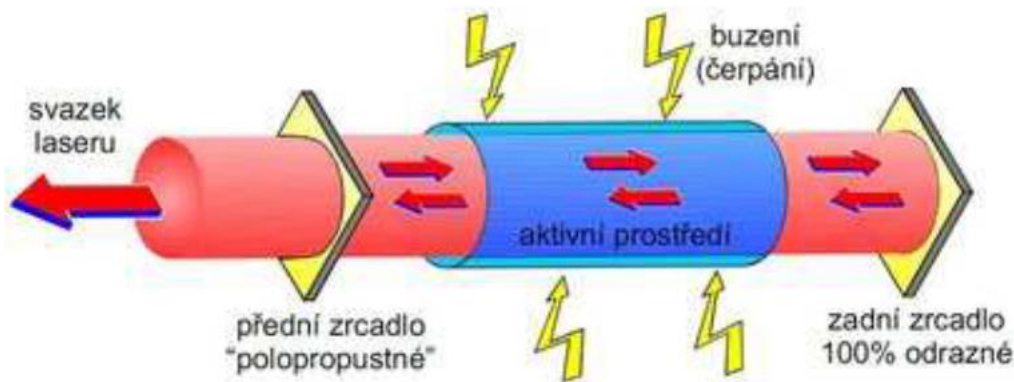
Cílem praktické části této bakalářské práce bylo optimalizovat parametry pro produktivní značení korozi-vzdorné oceli na 2 různých laserech pomocí QR kódů. Experiment byl proveden na oceli CrNi 1.4310.

1. Laser

1.1. Hlavní součásti laseru

Základní částí každého laseru je aktivní prostředí, které je buzeno. Aktivní prostředí může tvořit plyn, pevná látka, kapalina, polovodič nebo plazma. Dále je zapotřebí optický rezonátor (Obrázek 1 Základní schéma laserového rezonátoru), který obsahuje dvě rovnoběžná zrcadla, jedno je odrazivé a druhé polopropustné.

Mezi další příslušenství laseru může patřit: Chladič laseru, měřič výkonu, součásti pro dodávání energie aktivnímu prostředí, kalibrační přístroje a nelineární krystal měřící vlnovou délku [1], [2], [3], [4].



Obrázek 1 Základní schéma laserového rezonátoru [1]

1.2. Princip laseru

Slovo **LASER** je zkratka pro „zesilování světla stimulovanou emisí záření“ z anglického **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation.

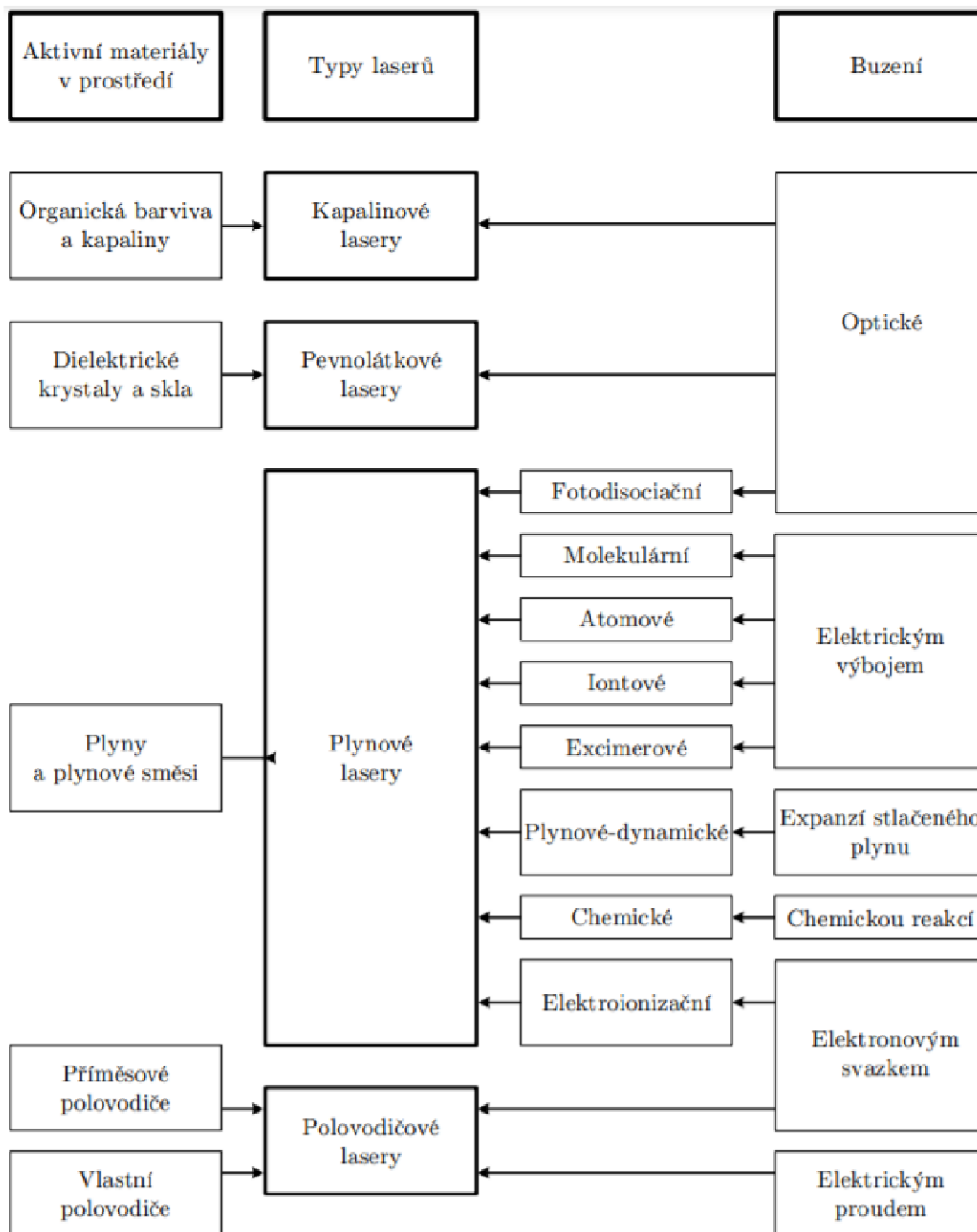
Aktivní prostředí, které určuje délku vlny záření, je buzeno. Způsob buzení je dán aktivním prostředím. Buzením dodáváme do laseru energii, která je potom pomocí stimulované emise vyzářena v podobě laserového paprsku. K vytvoření laserového paprsku je zapotřebí rezonátoru, který umožní zformovat a zesílit záření. Chladičí zařízení odvádí nevyužitou energii, která se nepřemění v záření, ale v tepelnou energii. Nejčastěji se používá chlazení vodou [1], [2], [5].

1.3. Typy laserů

Lasery můžeme dělit podle několika hledisek, např. podle: aktivního prostředí, typu buzení, vlnových délek optického záření, časového režimu provozu laseru, typu kvantových přechodů.

Nejčastější dělení je podle aktivního prostředí (Obrázek 2 Přehled typů laserů):

- Pevnolátkové lasery – Aktivní prostředí je tvořeno monokrystalem.
- Vláknové lasery - Speciální typ pevnolátkových laserů. Aktivní prostředí je složeno z optického vlákna dopovaného nejčastěji atomy erbia (Er) nebo yterbia (Yr).
- Diskové lasery – typ pevnolátkových laserů. Aktivní prostředí je tvořeno tenkým diskem.
- Polovodičové lasery – Aktivním prostředím je elektricky čerpaná polovodičová dioda.
- Plynové lasery – Aktivní prostředí je směs plynů.
- Kapalinové lasery – Aktivním prostředím je vodný nebo alkoholový roztok organického barviva.
- Plazmatické lasery – Aktivní prostředí je tvořeno mnohonásobně nabitými ionty [1], [6], [7].



Obrázek 2 Přehled typů laserů [7]

1.3.1. Lasery pro značení

Pro značení materiálu se používají lasery s nižšími výkony (10 W až 50 W).

Nd:YAG – pevnolátkový laser, který pracuje v pulsním i kontinuálním režimu. Aktivním prostředím je yttriumaluminiový granát s příměsí neodymu. Vlnová délka je 1064 nm a efektivita 3 - 7 %. Je vhodný pro značení kovů, keramiky a plastů.

Nd:YVO₄ – diskový laser. Aktivní prostředí tvoří krystal Nd:YVO₄ – yttrium vanadát obohacený Neodymem (Nd). Vlnová délka laseru je 1063 nm. Je vhodný pro značení kovů a plastů.

Yb:vlákno – vláknový laser, jehož aktivním prostředím je optické vlákno dopované prvkem ytterbia. Vlnová délka je 1064 nm a efektivita 30 %. Je vhodný pro značení kovů, keramiky a plastů.

CO₂ laser – plynový laser s aktivní látkou oxidem uhličitým. Vlnová délka je 10600 nm a efektivita 10 – 25 %. Vhodný pro značení organických materiálů, plastů, látek, kůže, dřeva a laminátů [2], [8], [9], [10].

2. Technologie značení

Podle životnosti můžeme značení rozdělit:

- trvalé – mikroúder, laserové vypalování, gravírovací technologie
- dočasné – inkoustový tisk, tisk etiket termotransferem

2.1. Inkoustový tisk

Inkoustový tisk je technologie bezkontaktního značení dílů, při které se nanáší vrstvy pigmentového nebo nepigmentového inkoustu pomocí tryskové hlavy. Často tuto technologii nazýváme inkjet. Můžeme značit savé či nesavé materiály jako např. papír, sklo, kovy, dřevo atd.

Technologie inkoustového tisku:

- CIJ (Continuous Inkjet) - Tato technologie nejvíce převládá ve výrobním průmyslu.
- LCM (Large Character Marking) - Jedná se o značení pomocí velkých znaků. Dochází k nanášení na povrch výrazně větších kapek, než je tomu u tisku znaků malých.
- DOD (Drop on demand) - U této technologie jsou jednotlivé kapky inkoustu z tryskové hlavy dopravovány jen tehdy, kdy je to k označení třeba.

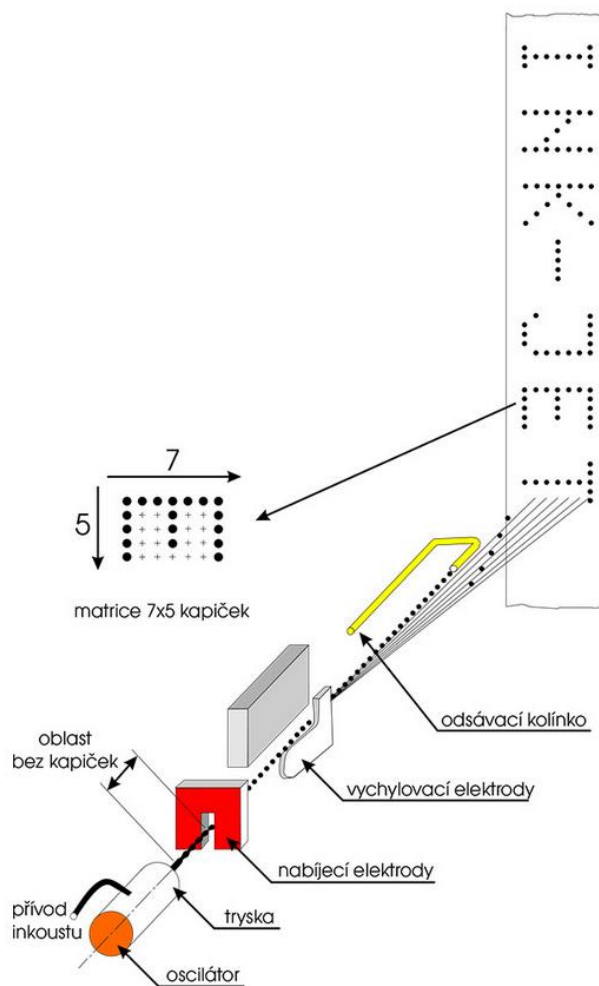
2.1.1. Princip technologie InkJet

Od začátku 70. let se využívá technologie kontinuálního tisku (CIJ - Continuous InkJet), která se v dnešní době využívá v převážné většině InkJet zařízení.

Ze zásobníkové nádoby je inkoust protlačován souvisle skrz trysku o průměru v řádech mikrometrů. Vzadu na domku trysky je umístěn piezoelektrický krystal, který na základě elektrického impulsu změni svůj tvar, čímž působí na inkoust. Ten je následně vlnitě protlačován skrze trysku a vystříknut do prostoru, kde se souvislý proud inkoustu rozpadne na menší kapky.

Kapičky jsou rovnoměrně rozděleny a mají stejnou velikost. Schéma je zobrazeno na obrázku (Obrázek 3 Schéma kontinuálního tisku).

Následně proud kapek prochází systémem elektrod, které vytvářejí elektrické pole a dodávají požadovaným kapičkám náboj podle předem definovaného programu. Kapky dále procházejí soustavou vychylovacích desek, kde jsou tyto nabité kapky vychýleny z dráhy letu na substrát do požadované pozice. Nenabité kapky putují přímo do odsávání. Většina inkoustu je recyklována. Jen malá část je použita pro tisk.



Obrázek 3 Schéma kontinuálního tisku [11]

2.1.2. Výhody a nevýhody

Mezi výhody patří vysoká rychlost inkoustových kapek – přibližně $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tuto technologii můžeme použít na téměř všechny povrchy, savé i nesavé. Také se tento tisk používá při potřebě barevného značení. Vysoká rychlost kapek umožňuje větší vzdálenost mezi tryskou a substrátem.

Mezi hlavní nevýhodu patří nestálost inkoustu na produktu, tedy odolnost na ořez, UV záření a chemická odolnost. Toto negativum může být někdy pozitivem, pokud je značení potřeba odstranit (např. dočasné značení, přeznačení atd.). Další nevýhoda je dodávání inkoustu a některé tiskárny vyžadují i ředidlo, které je potřeba doplňovat stejně často jako inkoust. Dále je potřeba servis stroje každých 6 až 12 měsíců, který zahrnuje výměnu filtrů [11], [12], [13], [14].

2.2. Mikroúderové značení

Mikroúderové značení je kontaktní značení, které je založeno na gravírování povrchu výrobku pomocí přesně umístěnému mikrobodu. Vytváří označení, označení nebo jednodušší grafiku odebráním materiálu (rytím). Jedná se o trvalé značení, které je vysoce odolné a dobře viditelné a může se použít i před povrchovou úpravou nebo barvením materiálu. Umožňuje značení téměř všech druhů materiálů až do tvrdosti 62HRC (kov, dřevo, sklo, plast, atd.).



Obrázek 4 Mikroúderové značení [15]

2.2.1. Princip technologie

Značení probíhá s pomocí hrotu z tvrdé oceli. Hrot se pohybuje pomocí dvou krokových motorů po souřadnicích na osách x a y. Hrot je umístěn nad povrch značeného dílu a je rozkmitáván pomocí tlakového vzduchu nebo elektrické energie. Hrot udeří, krátce před spodní úvratí, do povrchu dílu a tím stlačí, resp. vytlačí materiál a na povrchu dílu se vytvoří bod. Značící nástroj s hrotem z tvrdé oceli je umístěn ve značící hlavě. Je dosahováno hloubky až 0,8 mm. Hrot může být od povrchu vzdálen až o 10 mm a jelikož osciluje, můžeme s ním značit i povrchy s nerovnostmi až 6 mm.

2.2.2. Výhody a nevýhody

Jedná se o spolehlivou a trvalou metodu, kterou můžeme značit velice tvrdé, nerovné, zakřivené povrchy, které díky možnosti přesného nastavení, nejsou deformovány ani nadměrně namáhány. Má dlouhou životnost a bezúdržbový provoz. Není potřeba žádného spotřebního materiálu, pouze dochází k opotřebení hrotu. Je možné nastavit dopad hrotu pod úhlem a jsou dostupné i vícehroté verze pro vyšší rychlost značení. Mikroúderové stroje mají nízkou pořizovací cenu a minimální náklady na provoz a údržbu.

Ražbou můžeme značit díly z materiálů určitého rozsahu tvrdosti. U velmi tvrdých materiálů se hrot velmi rychle ničí a u poddajných materiálů se značení ztrácí kvůli elasticitě materiálu. Mezi další nevýhodu patří hluk, který při značení vzniká [13], [14], [15], [16].

2.3. Termotransferový tisk

Technologie termotransfer je nepřímá metoda tištění, kdy se znaky nejdříve vytisknou na karbonovou, voskovou nebo jinou pásku, která se vlivem teploty tiskové hlavy nahřeje a následně prudce schladí. Tím se uhlík, vosk přenesou na výrobek. Jedná se o dočasnou technologii značení, která se používá na papír, keramiku, kov, porcelán, tkaniny, plastické hmoty atd.

Termotisk je přímý způsob, při kterém se nevyužívá termotransferová páska a tištěný obraz vzniká přímo ve struktuře materiálu. Vyžaduje speciální termocitlivé etikety. Má nižší provozní náklady, ale je citlivý na světlo, teplo a mechanické poškození. Jeho životnost je až o polovinu kratší než u termotransferové tiskárny.

2.3.1. Princip technologie

Tiskárna obsahuje tepelnou tiskovou hlavu, která je umístěna nad přenášecí pásku. Ta se dávkuje ze zásobní role a poté je nad povrchem materiálu, který chceme označit, nahřáta tiskovou hlavou. Tisková hlava nejdříve vytiskne motiv přímo na přenášecí pásku a poté ji nad povrchem materiálu zahřeje na určitou teplotu a v podstatě zalaminuje text na materiál. Využívá se hlavně při aplikování samolepících etiket, ale existuje i možnost značit přímo na výrobek.

Pro přenos vytištěných grafických motivů na finální materiál (nosič) se používají termotransferové lisy. Využívají se dva základní typy těchto lisů, a to deskové a speciální.

2.3.2. Výhody a nevýhody

Termotransferové tiskárny se používají především v automobilovém nebo chemickém průmyslu. Vyznačují se velkou rychlostí tisku, vylepšenou odolností a spolehlivostí i v náročných podmínkách. Pořizovací cena patří mezi nejnižší oproti laseru nebo InkJetu.

Je nutné dodávání spotřebních komponentů, jako je páska nebo etikety. Jejich cena však není vysoká. Termotransferový tisk také nemůže nabídnout trvalé označení ani hladký povrch [13], [14].

3. Laserové značení

Je založeno na místním odpaření materiálu (ablace) nebo změně barvy na povrchu daného elementu. Jedná se o značkování bezkontaktní. Laser vytváří značení stálé, mechanicky odolné, kontrastní. Výška znaku je zlomky až jednotky milimetrů a tloušťka odpařené vrstvy materiálu je v řádu mikrometrů.

Laserem je možné značit všechny materiály, jako kalené i nekalené oceli a litiny, hliník a jeho slitiny, zlato, keramiku, sklo, gumu, papír, kůži atd. Výhodou je, že můžeme značit rovinné, válcové i jinak zakřivené plochy, a to i na málo přístupných místech. Laserové značení zařízení lze snadno zařadit do výrobní linky. Značený povrch může být broušený, pískovaný, lakovaný, černěný, smaltovaný, opatřený povlakem chromu, zinku, keramickým povlakem apod. [5], [7]

3.1. Metody značení laserem

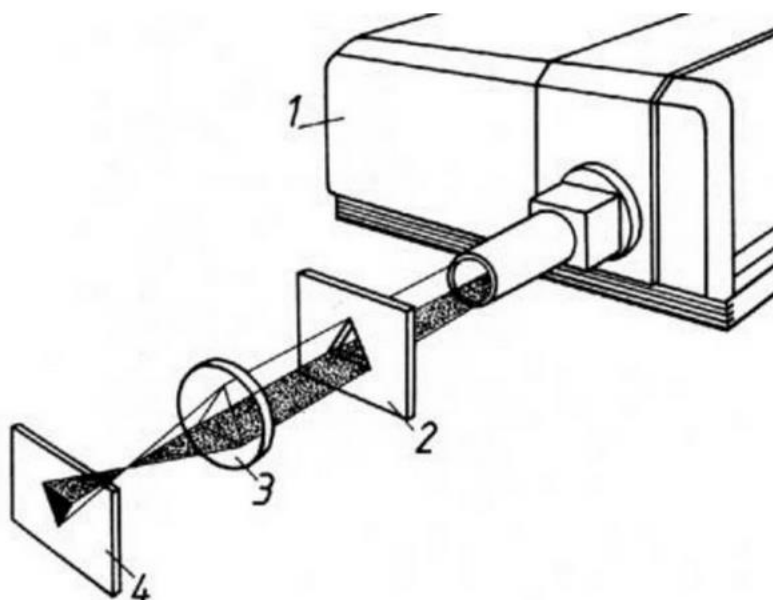
Existují dvě základní metody pro vytváření znaků a značení využívající laser: přes masku a vychylováním paprsku laseru.

3.1.1. Značení laserem přes masku

Při značení laserem přes masku (Obrázek 5 Princip značení součásti přes masku 1 - laser, 2 - maska, 3 - objektiv pro zaostření paprsku, 4 - obrobek) je používaná maska, která je vyrobena z mosazi, bronzu nebo z ušlechtilé oceli, ve které je vyříznut celý text značení. Paprsek laseru osvítí najednou nebo po řádcích masku, a tím je přenesena na výrobek. Místa zakrytá maskou zůstanou nepopsána.

Používají se lasery CO₂, Nd:YAG i excimerové.

Mezi výhody této metody patří vysoká rychlost značení (až 3 000 znaků za minutu), jednoduchý popisovací systém a relativně malé pořizovací náklady. Nevýhodami jsou malé popisovací pole (10 až 40 mm²), malá flexibilita, poměrně horší kvalita značení a vyšší náklady spojené se změnou značení, neboť je nutné vždy vyrobit a vyměnit celou masku. Metoda je vhodná především pro velké série značených součástí.



Obrázek 5 Princip značení součásti přes masku 1 - laser, 2 - maska, 3 - objektiv pro zaostření paprsku, 4 - obrobek [5]

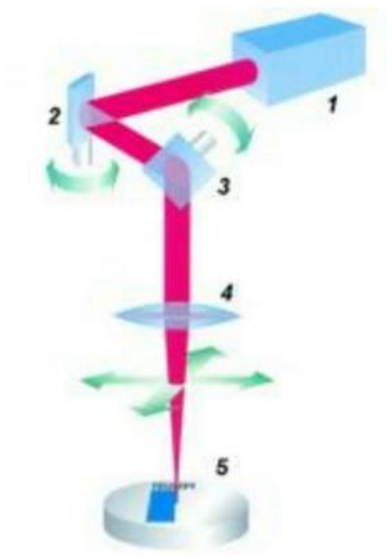
3.1.2. Značení vychylováním paprsku laseru

Při značení vychylováním paprsku laseru (Obrázek 6 Princip značení součástí vychylováním paprsku laseru 1 - laser, 2, 3 - vychylovací zrcátko, 4 - objektiv, 5 - obrobek) je paprsek vycházející z laseru vychylován dvěma vzájemně kolmými zrcadly, jejichž pohyby řídí počítač. Upevnění zrcátek a princip jejich vychylování je stejný jako u galvanoměru.

Používají se Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 10 až 60 W, které mají popisovací pole o velikosti až 260 x 260 mm, rychlost značení je až 4 mm. s⁻¹.

Dále se používají CO₂ lasery o výstupním výkonu 8 až 20 W, které mají popisovací pole většinou o rozměru 60 x 60 mm a rychlost značení je maximálně 1 mm. s⁻¹.

Pro přenos paprsku lze použít vláknovou optiku, což umožňuje značit součásti také na málo přístupných místech. Tato metoda dosahuje vysoké kvality značení s ohledem na jeho dokonalou čitelnost a kontrast. Významnou předností je vysoká operativnost a rychlost změny psaného textu, neboť jde pouze o provedení změny řídicího programu prostřednictvím počítače, čímž odpadá výroba a výměna masky [5], [17], [18].



Obrázek 6 Princip značení součástí vychylováním paprsku laseru 1 - laser, 2, 3 - vychylovací zrcátko, 4 - objektiv, 5 - obrobek [18]

3.2. Způsoby značení laserem

Dalším způsobem, jak rozdělit metody značení laserem jsou podle způsobu značení, které můžeme dělit na:

- Přímé metody značení laserem – zde patří žíhání, tavení, gravírování, karbonizace a pění laserem
- Nepřímé metody značení laserem – zde patří spojování laserem [19]

3.2.1. Žíhání laserem

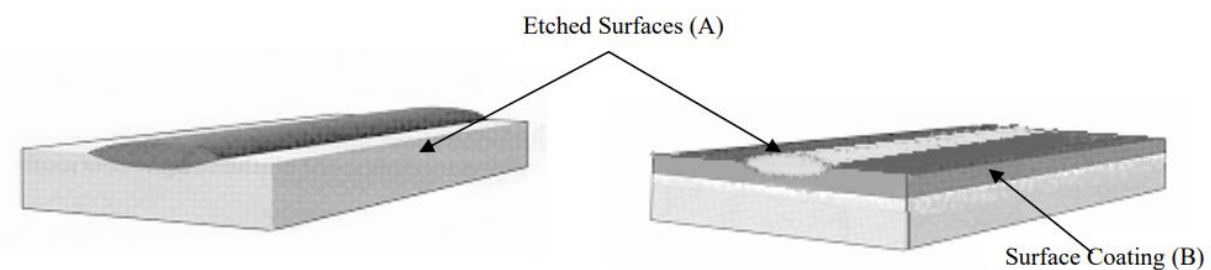
Princip metody spočívá v lokálním ohřevu materiálu laserem, což vede ke změnám v mikrostruktúře a vzniku barevné oxidační vrstvy. Výsledná barva závisí na teplotě a tloušťce oxidační vrstvy. Lze vytvořit žlutou, zelenou, červenou, modrou a černou barvu. Tato metoda se používá pro značení železných kovů a titanu a není vhodná pro značení hliníku, tvrdých a barevných kovů. Při této metodě zůstává povrch zcela neporušený a značení je trvalé, dobře čitelné a odolné proti otěru. I po značení zůstává povrch hladký, čistý a nemá praktický vliv na povrch materiálu. Tato metoda je nejvíce používaná v lékařství [20], [21].



Obrázek 7 Značení pomocí metody žihání [21]

3.2.2. Tavení laserem

Laserové tavení je podobné žihání, ale při této metodě předává paprsek laseru větší teplo než u žihání a v místě interakce paprsku s povrchem dochází k natavení. Výhodou tohoto značení je možnost použití vyšší rychlosti značení. Vzniklé značení vystupuje nad povrch a má větší drsnost. Používá se pro značení kovů [22].



Obrázek 8 Značení pomocí metody tavení laserem [22]

3.2.3. Gravírování laserem

Při této metodě odstraňuje laserový paprsek vrstvy materiálu a vzniká tak prohlubeň (obvykle od 10 do 50 μm) v povrchu. Gravura má tvar U a čím hlouběji se laser zarývá do kovu, tím je užší. Materiál se odebírá pomocí tavení a odpařování. Můžeme tvořit černé struktury, které jsou drsné a bílé struktury, které jsou hladké. Mezi hlavní výhody patří vysoká rychlost značení a otěruvzdorný povrch. Používá se v automobilovém průmyslu a elektromechanice pro značení kovů [20], [21].



Obrázek 9 Značení pomocí metody gravírování laserem - černá struktura [21]

3.2.4. Karbonizace laserem

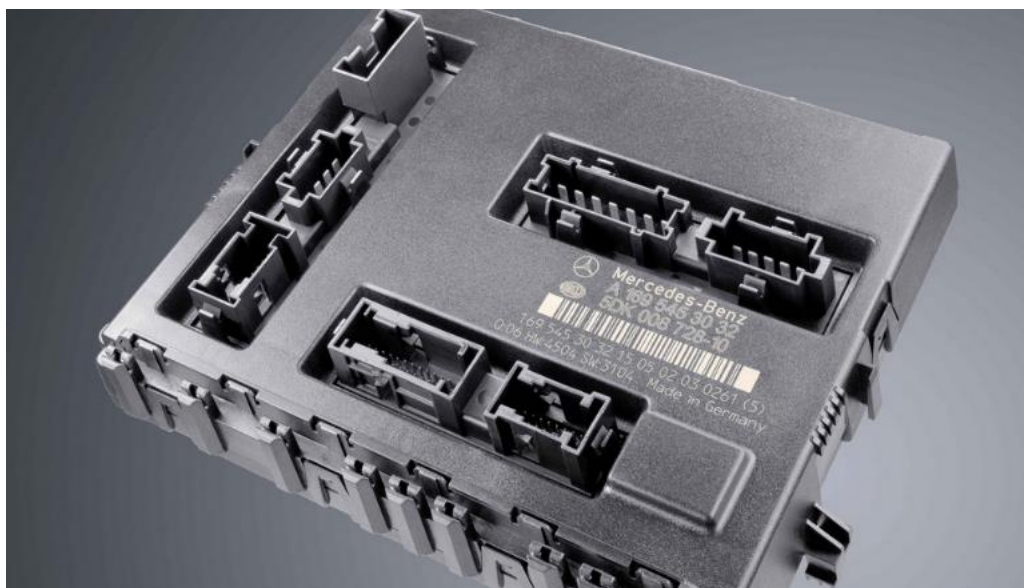
Tato metoda je vhodná pro značení světlých plastů. Princip spočívá v termochemické reakci, která rozkládá uhlíkové sloučeniny a uvolňuje uhlík. Výsledný barevný efekt je od jasného až po tmavý [20], [21].



Obrázek 10 Značení pomocí metody karbonizace laserem [21]

3.2.5. Pěnění laserem

Tato metoda je vhodná pro značení tmavých plastů na bílo. V místě značení laserový paprsek součást lokálně nataví a v tavenině se vytvoří plynové bublinky, které jsou zachyceny při ochlazení. Uzavřené vzduchové bublinky odrážejí difúzně světlo a opracovaný materiál proto působí mnohem světleji než okolní materiál. Vzniklé značení má vyvýšení na výšku cca 20 až 40 μm [20], [21].



Obrázek 11 Značení pomocí metody pěnění laserem [21]

3.2.6. Spojování laserem

Jedná se o nepřímou metodu laserového značení. Princip spočívá ve spojení přídavného materiálu s povrchem značeného předmětu za využití tepla generovaného paprsku laseru. Přídavný materiál použitý v této metodě je komerčně dostupný a obecně obsahuje skleněné frity nebo základní kovy, oxidy smíchané s anorganickým pigmentem a nosnou kapalinou (obvykle voda). Přídavný materiál může být na povrch nanesen štětcem, válečkem, sprejem, sítotiskem nebo formou lepicí pásky. Tato metoda se používá pro značení kovů [22], [23].



Obrázek 12 Značení pomocí metody spojování laserem [23]

3.3. Výhody a nevýhody

Mezi výhody značení laserem patří trvalé a kontrastní značení, který je vždy dobře čitelný a odolný vůči chemickým a tepelným vlivům. Značení probíhá za vysokých rychlostí a je velice přesný. Oproti např. inkoustovému tisku je šetrnější k životnímu prostředí, jelikož nemá náklady na spotřební materiál znečišťující životní prostředí, jako inkoust a další chemikálie. Při značení nedochází k opotřebení nástroje ani materiálu a můžeme s ním značit téměř všechny materiály. Můžeme značit i velké plochy a hůře přístupná místa a odpadají náklady na čištění obrobku nebo leštění povrchů, jelikož laser toto dovede v jednom pracovním kroku. Laser také nabízí snadnou integraci do automatizovaných výrobních procesů a snadnou individualizaci.

Nevýhodou je omezená barevnost označení, vysoké pořizovací náklady laserového zařízení. Také ne všechny materiály lze značit ve stejné kvalitě. S CO_2 laserem nelze značit kovy bez povrchové vrstvy a Nd:YAG laserem nelze značit sklo a transparentní materiály [8], [17], [19], [21].

3.4. Produktivní značení laserem

Kvalita a rychlost značení laserem je závislá na vhodně zvoleném typu laseru a také vhodnými pracovními parametry.

Mezi základní parametry podle typu laseru a jeho optikou patří:

- Vlnová délka [$nm, \mu m$]
- M^2 Parametr [-]
- Ohnisková vzdálenost [mm]
- BPP [$mm.mrad$]
- Tvar výstupního paprsku (stopa paprsku – čtvercová, kruhová, obdélníková...)

Mezi parametry dané laserem patří:

- Průměrný výkon [W]
- Špičkový výkon [W]
- Frekvence [Hz]
- Délka pulsu [s]
- Výkonová hustota [$W.cm^{-2}$]
- Energie pulsu [J]
- Energetická hustota [$J.cm^{-2}$]
- Rychlost pohybu paprsku [$m.min^{-1}$]
- Průměr ohniska [mm]
- Průběh (tvar) zatěžujícího pulsu
- Duty [%] (délka zatěžujícího pulsu vyjádřená v procentech, vzhledem k celkové délce periody)

Každý materiál je schopen absorbovat laserové záření o různé vlnové délce. Podle tohoto kritéria vybíráme pro plasty lasery o vyšší vlnové délce (plynový CO_2 laser) a pro kovové materiály lasery o kratších vlnových délkách (vláknový nebo pevnolátkový laser).

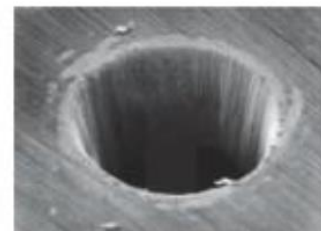
Velikost tepelně ovlivněné oblasti je dána délkou pulzu (Obrázek 13 Porovnání délky pulzu na kvalitě otvoru). Průmyslové lasery pracují při kontinuálním nebo pulsním provozu. Při laserovém značení je pulsní režim výhodnější, jelikož je charakteristický vysokým výkonem.



Puls 3,3 ns a 1 mJ



Puls - 80 ps a 0,9 mJ

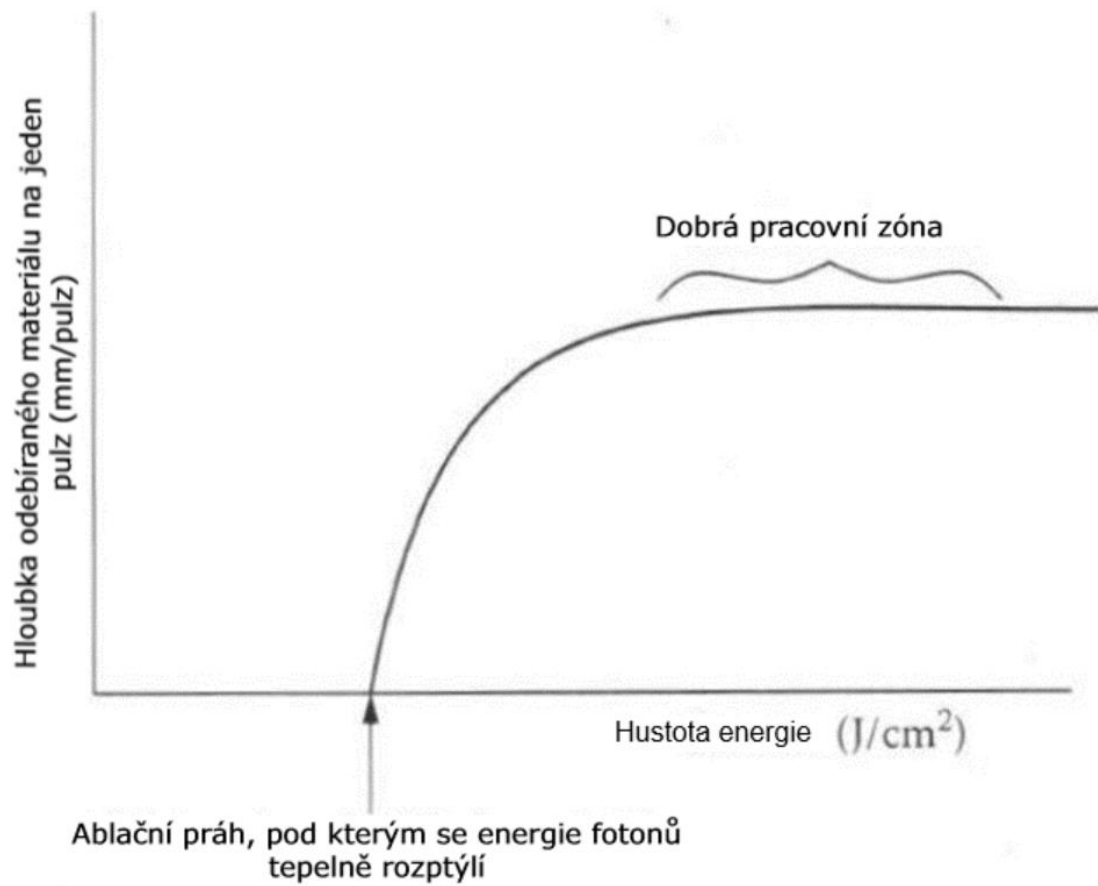


Puls - 200 fs, 0,12mJ

Obrázek 13 Porovnání délky pulzu na kvalitě otvoru [24]

Opakovací frekvence má přímý vliv na rychlost značení. Udává počet pulzů, které je laser schopný vyzářit za jednu sekundu. Každý typ laseru má různý rozsah možné opakovací frekvence (plynový CO_2 laser 0 - 500 kHz, vláknový laser 20 Hz – 1 MHz, Nd:YAG laser 5 – 80 kHz). Také je nutné zohlednit rychlost polohovacího zařízení a vychylovací hlavy, které je značící stroj schopen dosáhnout.

Je vhodné pracovat v oblasti, kdy je hustota energie dostatečná pro překonání ablačního bodu, kde se míra ablace na puls blíží konstantě. V této části křivky (Obrázek 14 Hloubka odebíraného materiálu na jeden puls v závislosti na hustotě energie [24]) při zvyšování hustoty energie již nedochází ke zrychlení procesu [22], [25], [24].



Obrázek 14 Hloubka odebíraného materiálu na jeden puls v závislosti na hustotě energie [24]

3.5. Srovnání značících technologií

Tabulka 1 Srovnání značících technologií [26]

	Laser	Inkoust	Mikroúder	Termotransfer
Kvalita potisku	Excelentní	Průměrná	Slabá	Průměrná
Materiály	Většina materiálů	Většina materiálů	Většina materiálů kromě poddajných materiálů	Většina materiálů
Trvanlivost	Trvalé označení	Dočasné označení	Trvalé označení	Dočasné označení
Rychlost	Rychlý	Rychlý	Pomalý	Střední
Integrace	Flexibilní integrace do provozu	Jednoduchá integrace	Jednoduchá integrace	Jednoduchá integrace
Údržba	Bezúdržbová	Nutná denní údržba	Nutná denní údržba	Nutná denní údržba
Počáteční výdaj	\$\$\$\$	\$\$	\$\$	\$
Cena provozu	\$	\$\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$\$

4. Identifikátory

Výrobky označujeme identifikátory, které obsahují informace důležité pro sledování výrobků v průběhu celého životního cyklu. Mezi takové informace patří sériová čísla, datum spotřeby, čísla dílů atd. Pro označení používáme šifrování, abychom minimalizovali potištěné místo a maximalizovali informaci. K šifrování používáme čárové kódy, dvourozměrné kódy a RFID [13], [14].

4.1. Čárové kódy

Čárový kód, nebo také ID kód, je označování dílů pomocí hrubých a tenkých čar oddělených mezerami, jak je vidět na obrázku (Obrázek 15 Čárový kód). Tloušťka čáry určuje počet jedniček, které obsahuje a bílé mezery zastupuje počet nul. Kód začíná znakem start, poté následuje vlastní informace a končí znakem stop. Před i za synchronizačními čarami musí být ochranné světlé pásmo bez potisku. Nejdůležitější parametry kódu jsou hustota a kontrast. Hustota a druh kódu určují množství zakódované informace na jednotku délky.

Čárové kódy patří do oblasti tzv. „Automatické identifikace“ a jsou strojově čitelné. Pro čtení používáme čtecí zařízení, které může být bezdrátové nebo připojené kabelem.

Existuje velké množství druhů čárových kódů, nepoužívanější je kód EAN, který je užíván pro prodej zboží v obchodní síti. Dále se používají kódy Code 128, Code 93, Codebar atd.

Pro tisk čárového kódu se používá technologie Inkjet, termotransfer i laserové značení [13], [14], [28].



Obrázek 15 Čárový kód [27]

4.2. Dvozměrné kódy

Rozdíl mezi čárovým a dvozměrným kódem (Obrázek 16 Rozdíl mezi 1D a 2D kódem) tkví v tom, že čárový ukládá data pouze v horizontálním směru, zatímco dvozměrný je dokáže ukládat i ve vertikálním. V tomto kódu můžeme ukládat kromě speciálních a alfanumerických znaků také biometrické údaje nebo grafiku. Hlavní výhodou je možnost ukládání dat na velmi malé ploše.



Obrázek 16 Rozdíl mezi 1D a 2D kódem [16]

2D kódy označujeme díly různými metodami, jako například pomocí laserového značení, Inkjetem, etiketami nebo mikroúderem.

Pro čtení 2D kódů používáme ruční čtečky, ruční terminály, stolní čtečky, kamery nebo i mobilní telefony.

Mezi dvozměrné kódy patří QR kód, PDF 417, Data Matrix, Aztec Code, BeeTagg nebo Microsoft Tag.

4.2.1. QR kód

Nejpoužívanější 2D kód je QR kód (Obrázek 17 QR kód), který se sestává z černých a bílých čtverečků, ve kterých je zakódováno až 7 089 znaků, 4296 alfanumerických znaků, 2 953 8-bitových dat nebo 1817 znaků kandži. Také se vyznačuje čtverci ve třech rozích, díky kterým

je kód možný číst pod libovolným úhlem. Může obsahovat číslice, písmena, japonské znaky. Má 40 velikostí, kdy nejmenší má matice 21x21 a největší 177x177 modulů. Pokud potřebujeme zakódovat menší množství dat, tak existuje i Micro QR kód, který má velikost 11x11 až 17x17 a má jen jeden detekční vzor.



Obrázek 17 QR kód [14]

4.2.2. Data Matrix

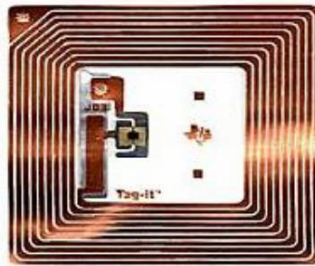
Další nepoužívanější 2D kód je Data Matrix (Obrázek 18 Data Matrix), který se sestává z černých a bílých buněk uspořádaných do čtvercového nebo obdélníkového tvaru. Jako vyhledávací znak slouží charakteristické L, které tvoří dvě hrany matice, díky kterému je možno číst kód pod libovolným úhlem. Lze do něj zapsat až 3116 numerických a 2335 alfanumerických znaků. Zakódované informace mohou být textové nebo číselné. Je vhodný i pro malé součástky, protože jeho velikost může být v řádech mm^2 . Oproti QR kódu existuje ve třiceti velikostech a to od modulů 32x32 až do 144x144 [13], [14], [16], [28].



Obrázek 18 Data Matrix [16]

4.3. RFID

RFID (Radio Frequency Identification – radiofrekvenční identifikace) umožňuje bezdrátově identifikovat objekt pomocí elektromagnetických vln na radiové frekvenci. Data jsou zapsána v RFID tagu, nebo „chytré etiketě“. Pro přečtení dat nevyžaduje přímou viditelnost, což je jeho hlavní výhodou. Mezi další výhody patří vysoká spolehlivost, velmi rychlé čtení, identifikaci objektů na větší vzdálenosti a zapsaná data lze snadno měnit. Využívají se ve velkoobchodě i maloobchodě pro sledování palet, u docházkových systému nebo jako bezpečnostní prvek u dražšího zboží [28], [29].

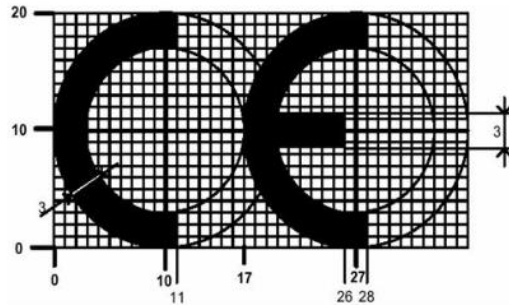


Obrázek 19 RFID čip [28]

4.4. Grafiky

Z důvodu zákonných požadavků, normalizace a ochraně spotřebitele musí prodejce či výrobce informovat o různých vlastnostech výrobku. K tomu slouží různé grafiky, mezinárodní označení a standardy.

Pokud například chceme přijít s výrobkem na trh Evropského hospodářského prostoru, musí být výrobek před uvedením posouzen a splňovat všechny požadavky EU a také všechny základní požadavky jako ochrana životního prostředí apod. Splnění těchto požadavků spotřebitel pozná tím, že je výrobek označen znakem CE (Obrázek 20 Znak CE (Conformity Declaration)) [13].



Obrázek 20 Znak CE (Conformity Declaration) [13]

5. Bezpečnost

Při kontaktu s biologickou tkání může laserové záření vyvolat reakce, které způsobí dočasné nebo i trvalé změny. V krajních případech se může jednat i o oslepnutí nebo smrt. Mezi základní rizika patří poranění očí, poškození kůže, nebezpečí úrazu elektrinou nebo nebezpečí výparů.

Lasery podle bezpečnosti dělíme na 4 základní skupiny:

- Třída I – tyto lasery považujeme za bezpečné pro oči. Nejsou škodlivé na zdraví ani při dlouhodobém vystavení záření a jsou umístěné ve zcela uzavřeném krytu.
- Třída II – tato třída obsahuje lasery, které jsou bezpečné pouze při krátké expozici.
- Třída III – zde existuje riziko zranění při nesprávném použití nekvalifikovaným pracovníkem. V případě krátkodobé expozici není spojena s žádným rizikem. Pracovník musí být obeznámen s rizikem odrazu (v důsledku reflexního povrchu materiálu).
- Třída IV – Pracovníci pracující s lasery v této třídě musí dodržovat přísné předpisy. Existuje zde riziko poranění kůže a očí, nebo zapálení ohně v nebezpečné blízkosti stroje [6], [30], [31].



Obrázek 21 Bezpečnostní označení laseru II a vyšší třídy [30]

6. Experimentální optimalizace laserového značení

Cílem praktické části bakalářské práce bylo nalezení optimálních parametrů laseru pro dosažení produktivního značení korozivzdorné oceli.

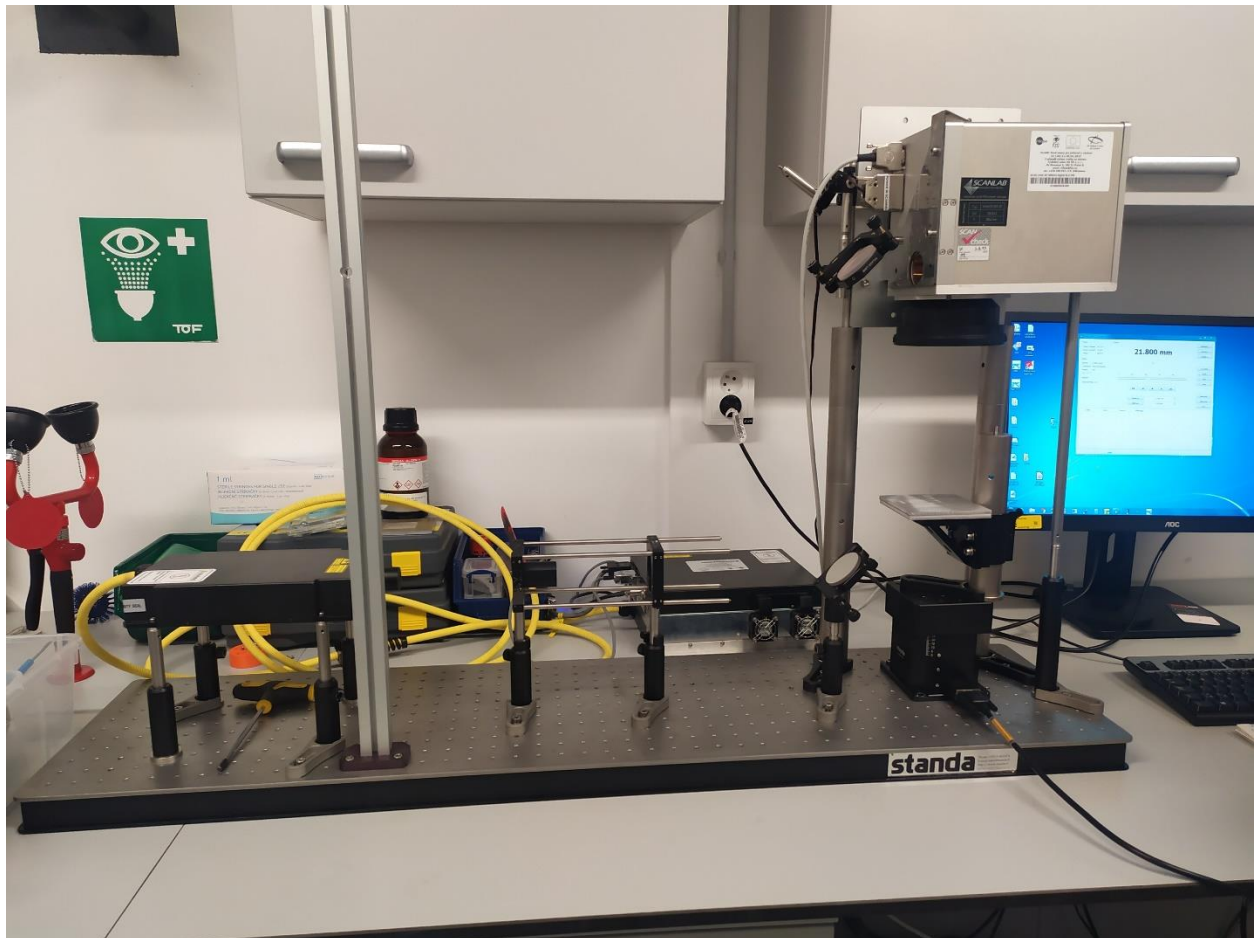
6.1. Použité zařízení

6.1.1. Laser OMRON MX-AI2030-C

Značení probíhalo na vláknovém laseru značky OMRON (Obrázek 22 Laser OMRON). Technické parametry laseru můžeme vidět v tabulce (Tabulka 2 Technické parametry laseru OMRON).

Tabulka 2 Technické parametry laseru OMRON

Model laseru	OMRON MX-AI2030-C
Vlnová délka	1062 nm
Výstupní výkon	20 W
Délka pulzu	3 ns
Frekvence pulzů	10 – 1 000 kHz
Scanner	IntelliSCAN30
Max. rychlost scanneru	700 mm. s ⁻¹
Popisové pole scanneru	40 x 40 mm
Čočka	F-Theta 160 THORLABS
Velikost spotu v ohnisku	40 μm



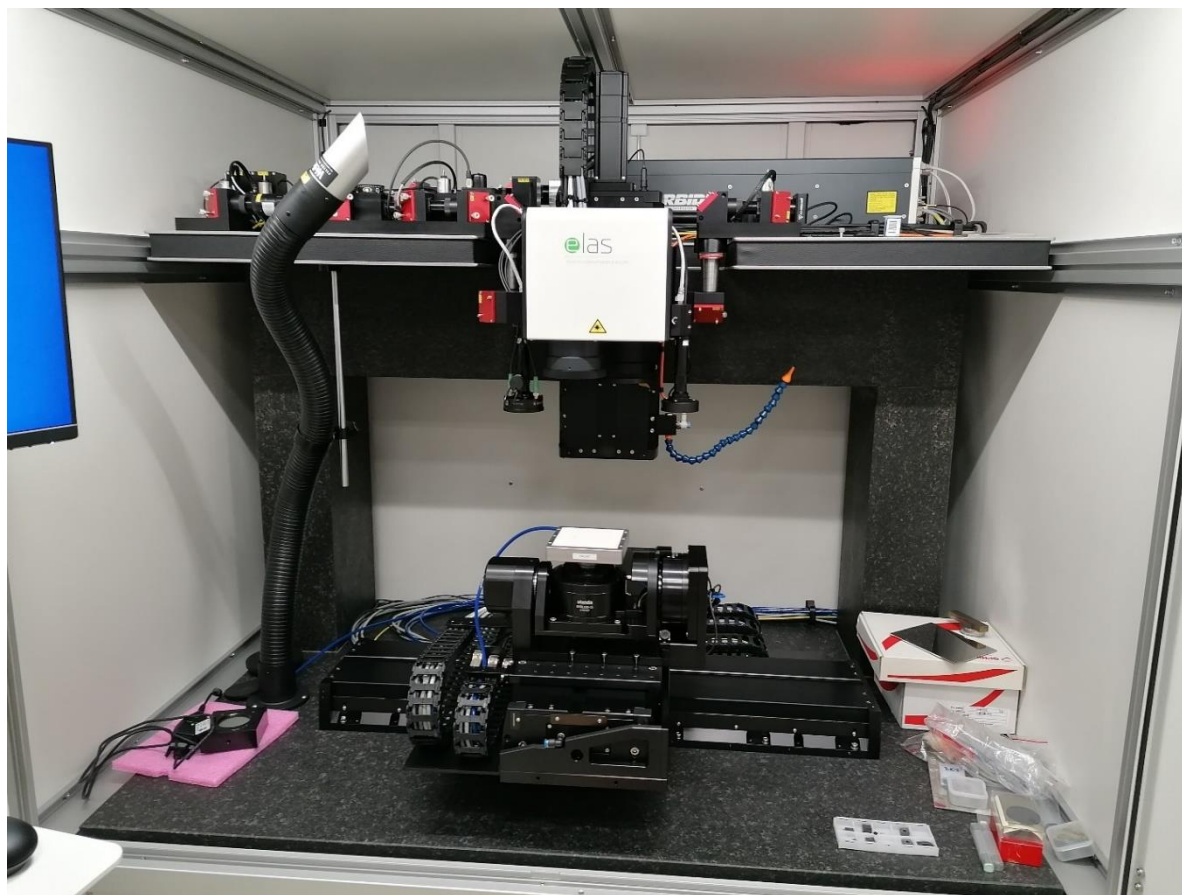
Obrázek 22 Laser OMRON

6.1.2. Laser SPI Lasers Air – cooled EP-Z Laser

V další části experimentu byl značen materiál na laseru značky SPI Lasers (Obrázek 23 Laser SPI Lasers). Technické parametry jsou k nahlédnutí v následující tabulce (Tabulka 3 Technické parametry laseru SPI Lasers).

Tabulka 3 Technické parametry laseru SPI Lasers

Model laseru	SPI Lasers Air – cooled EP-Z Laser
Vlnová délka	1062 nm
Výstupní výkon	200 W
Délka pulzu	260 ns
Frekvence pulzů	200 – 1 000 kHz
Scanner	IntelliSCAN14
Max. rychlost scanneru	5 000 $mm \cdot s^{-1}$
Popisové pole scanneru	50 x 50 mm
Čočka	F-Theta 160 THORLABS
Velikost spotu v ohnisku	125 mm



Obrázek 23 Laser SPI Lasers

6.2. Zkušební vzorky

Zkušební vzorky pro značení byly ve formě čtvercových destiček z korozivzdorné oceli CrNi 1.4310. První vzorek měl rozměry 100 x 100 mm a tloušťku 5 mm a druhý vzorek 50 x 50 mm a tloušťku 5 mm. Oba vzorky byly před značením vyleštěny, odmaštěny a očištěny.

6.3. Průběh experimentu

6.3.1. Laser OMRON

Pomocí PC byla v programu navržena tabulka čtverců o velikosti 2 x 2 mm. Každý čtverec měl rozdílné parametry, na kterých byla sledována rozdílná barva značení v závislosti na rozteči šrafování a směru šrafování. Rozteč šrafování byla nastavena z levé strany na 0,06 mm, 0,05 mm, 0,04 mm, 0,03 mm, 0,02 mm, 0,01 mm, 0,005 mm, 0,001 mm. Směr šrafování byl nastaven v prvním řádku na šrafování křížem a v druhém řádku na šrafování linkováním.

Nejdříve bylo zapotřebí nastavit správnou ohniskovou vzdálenost, která byla nastavena podle tloušťky materiálu.

Rychlost laseru byla nastavena na maximální hodnotu $700 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a výkon byl nastaven na hodnotu 10 W.

V dalším kroku byly měněny parametry pro barevné rozlišení oxidované vrstvy a měnila se frekvence (Tabulka 4 Technické parametry čtverců).

Tabulka 4 Technické parametry čtverců

Číslo	Frekvence [kHz]
1	100
2	200
3	303
4	500
5	806

Posledním krokem bylo značení QR kódů, které byly značeny tak, aby výsledná barva oxidované vrstvy byla zároveň dost tmavá, aby bylo značení co nejrychlejší a zároveň byla sledována schopnost přečíst QR kód pomocí aplikace v telefonu. Byla měněna velikost QR kódů, aby bylo značení rychlejší a byla měřena rychlost značení.

V tabulce můžeme vidět měnící se parametry značení (Tabulka 5 Technické parametry QR kódů).

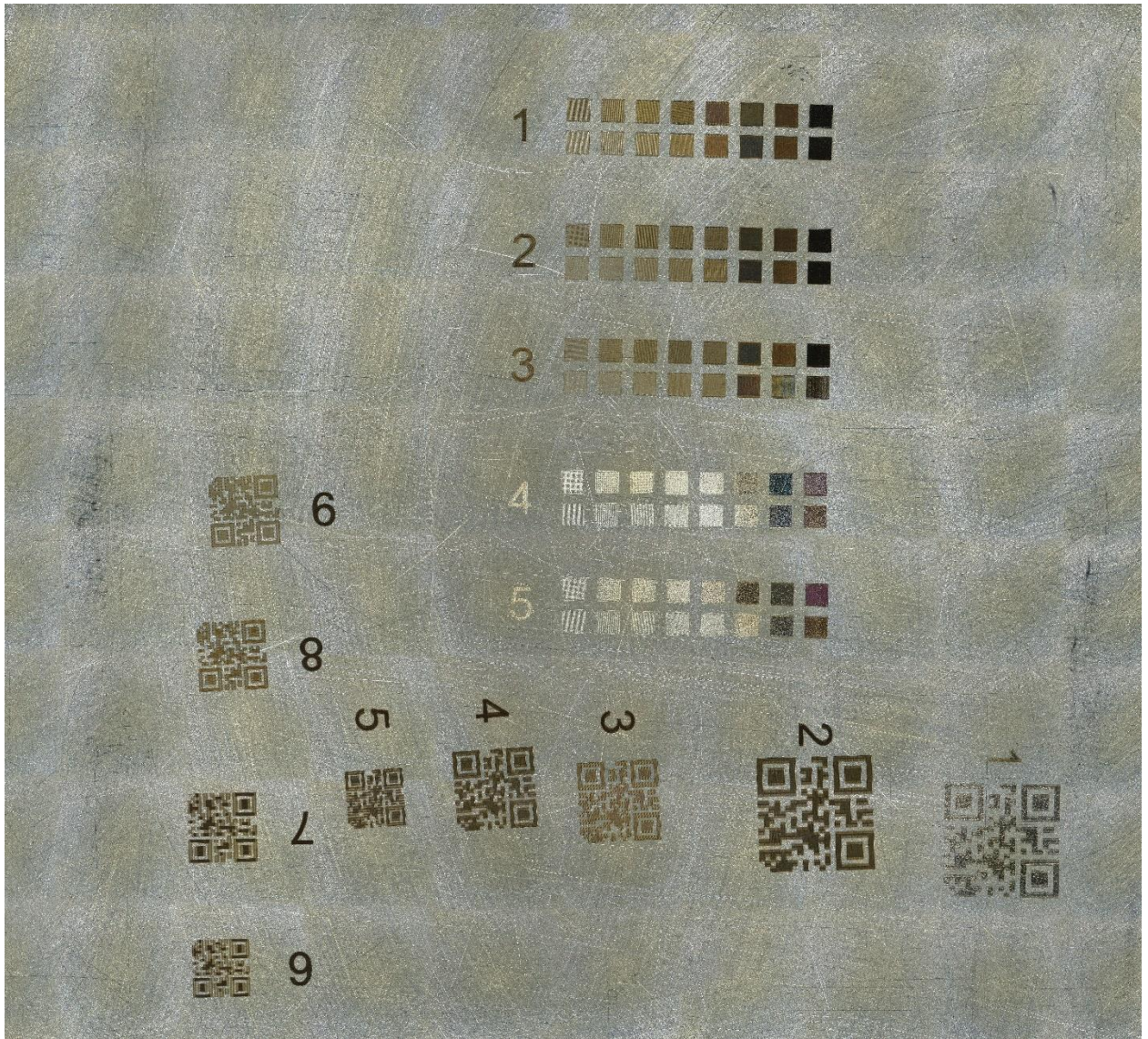
Tabulka 5 Technické parametry QR kódů

Číslo	Frekvence [kHz]	Rozteč [mm]	Velikost kódu [mm x mm]	Čas [s]	Schopnost přečtení scannerem
1	806	0,01	10 x 10	16	Ano
2	100	0,01	10 x 10	16	Ano
3	100	0,02	7 x 7	5	Ne
4	100	0,01	7 x 7	9	Ano
5	100	0,01	5 x 5	5	Ne
6	200	0,01	5 x 5	5,2	Ne
7	200	0,01	6 x 6	9	Ano
8	200	0,015	6 x 6	6,5	Ano
9	200	0,02	6 x 6	3,7	Ne

6.3.2. Vyhodnocení experimentů značení na laseru

OMRON

Podle výsledků měření můžeme vidět, že nejrychlejší označení má QR kód s číslem 8, který je velký 6 x 6 mm, byl čitelný scannerem na telefonu a značení trvalo 6,5 s. Menší velikosti kódů čitelné scannerem nebyly. Vzorek můžeme vidět na obrázku (Obrázek 24 Vzorek pro laser OMRON Tabulka 6 Technické parametry čtverců).



Obrázek 24 Vzorek pro laser OMRON

6.3.3. Laser SPI Lasers

Pomocí PC byla v programu navržena stejná tabulka čtverců o velikosti 2 x 2 mm stejným způsobem jako u předešlého laseru.

Ohniskovou vzdálenost jsem nemusela nastavovat, jelikož tento laser si ji nastavuje automaticky.

Byla měněna frekvence, rychlost značení, výkon a fokusační vzdálenost pro barevné rozlišení oxidované vrstvy (Tabulka 6 Technické parametry čtverců). Fokusační vzdálenost nám mění průměr laserového paprsku a tím i rozložení energie, což znamená, že mimo fokus se vnáší více tepla do materiálu.

Tabulka 6 Technické parametry čtverců

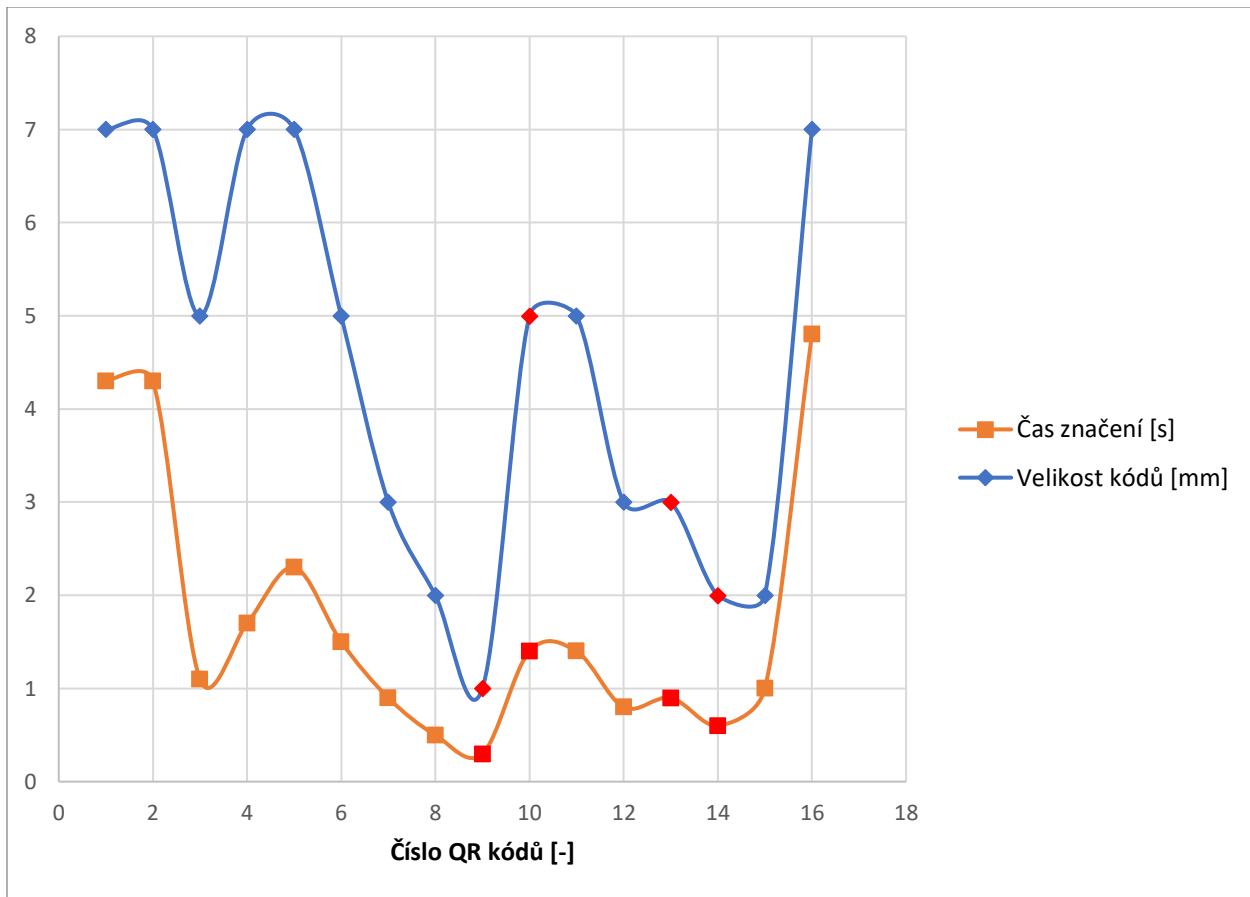
Číslo	Frekvence [kHz]	Rychlost [$mm \cdot s^{-1}$]	Fokusační vzdálenost [mm]	Výkon [W]
1	200	1	0	10
2	200	1	0	15
3	200	1	0	20
4	200	1	0	20
5	500	5	0	50
6	1000	5	-2	50
7	1000	5	-1	50
8	1000	3	0	50
9	1000	3	1	50
10	1000	3	2	70
11	1000	3	2	100
12	1000	3	0	100
13	500	3	0	50
14	500	3	0	50
15	500	3	0	20
16	500	3	0	40
17	500	3	0	30
18	500	3	0	40

V dalším kroku probíhalo značení QR kódy obdobným způsobem jako u laseru OMRON pro co nejrychlejší označení a čitelnost scannerem v telefonu.

V tabulce můžeme vidět měnící se parametry značení QR kódů (Tabulka 7 Technické parametry QR kódů) a na grafu je graficky znázorněn čas značení a velikosti QR kódů. Červenou barvou jsou označeny kódy, které nebyly čitelné scannerem.

Tabulka 7 Technické parametry QR kódů

Číslo	Frekvence [kHz]	Rozteč [mm]	Velikost [mm x mm]	Rychlost [$mm \cdot s^{-1}$]	Výkon [W]	Čas [s]	Schopnost přečtení scannerem
1	500	0,02	7 x 7	1	40	4,3	Ano
2	500	0,02	7 x 7	1	40	4,3	Ano
3	500	0,02	5 x 5	3	40	1,1	Ano
4	500	0,02	7 x 7	3	40	1,7	Ano
5	500	0,02	7 x 7	3	40	2,3	Ano
6	500	0,02	5 x 5	3	40	1,5	Ano
7	500	0,02	3 x 3	3	40	0,9	Ano
8	500	0,02	2 x 2	3	40	0,5	Ano
9	500	0,02	1 x 1	3	40	0,3	Ne
10	500	0,02	5 x 5	5	40	1,4	Ne
11	500	0,02	5 x 5	4	40	1,4	Ano
12	500	0,02	3 x 3	5	40	0,8	Ano
13	500	0,02	3 x 3	5	40	0,9	Ne
14	500	0,02	2 x 2	5	40	0,6	Ne
15	500	0,02	2 x 2	5	40	1	Ano
16	500	0,02	7 x 7	7	20	4,8	Ano



Graf 1: Grafické znázornění časů značení a velikosti kódů

6.3.4. Vyhodnocení experimentů značení na laseru SPI

Lasers

Z měření bylo vypořazováno, že nejrychlejší značení má QR kód s číslem 8, který je velký 2 x 2 mm, byl čitelný scannerem na telefonu a označení trvalo 0,5 s. Menší velikosti kódu čitelné scannerem nebyly. Tento laser měl vyšší možnosti rychlosti značení i výkon, tudíž výsledky byly mnohem výhodnější pro produktivnější značení. Vzorek můžeme vidět na obrázku (Obrázek 25 Vzorek pro laser SPI Lasers).



Obrázek 25 Vzorek pro laser SPI Lasers

7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá produktivním značením laserem. V teoretické části byla popsána funkce laseru, typy laseru, laserové značení, bezpečnost při práci s laserem, druhy technologií značení a porovnání těchto technologií. Teorie se také zabývá identifikátory, kterými značíme.

V praktické části byly provedeny experimenty na vláknových laserech OMRON a SPI Lasers. U obou laserů byla značena ocel CrNi 1.4310.

Vzorky byly nejdříve značeny čtverečky 2 x 2 mm, u kterých jsem pozorovala změnu barvy oxidované vrstvy pomocí změny parametrů frekvence a rozteči šrafování. Laser OMRON byl nastaven na výkon 10 W a maximální značící rychlost $700 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a na laseru SPI Lasers byly měněny hodnoty výkonu a rychlosti značení.

V dalším kroku byly značeny vzorky QR kódy, přičemž jsem se snažila optimalizovat parametry označení a velikosti kódů pro rychlejší a zároveň čitelné značení.

Pro dosažení produktivního značení jsem měřila časy značení a zároveň jsem kontrolovala čitelnost QR kódů pomocí scanneru v mobilní aplikaci.

Výsledky byly znatelně lepší u laseru SPI Lasers, kde se mi podařilo popsat vzorek rychlostí 0,5 s oproti OMRONu, kde značení trvalo 6,5 s. Důvodem byla možnost využití vyšších rychlostí a výkonu u laseru SPI Lasers. Z výsledků také můžeme vidět, že pro produktivní značení nebylo nutné využít nejvyššího výkonu a rychlosti, jelikož označení pak nebylo čitelné scannerem v mobilní aplikaci. Dalšími parametry, které měly vliv na značení byly frekvence a způsob šrafování.

Podařilo se mi optimalizovat parametry popisu pro tuto korozi-dornou ocel tak, aby byl popis co nejvíce produktivní a tudíž byl cíl této bakalářské práce splněn.

8. Citovaná literatura

- [1] KOŘÁN, Pavel. Seriál na téma lasery - základní princip laseru a jejich dělení. Lasery a optika [online]. 2013 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [2] VAZÁČ, Jan. Popisování korozivzdorných ocelí laserem [online]. Praha, 2014 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63687/F2-BP-2015-Vazac-Jan-VAZAC%20Jan%20-%20BP.pdf?sequence=1&isAllowed=y..> Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [3] Laser - vše o laserech [online]. 2013 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/>
- [4] ČECH, Dominik. Obrábění paprskem laseru [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89916/F2-BP-2020-Cech-Dominik-BP-Cech.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [5] ŘASA, Jaroslav, Vladimír GABRIEL a Přemysl POKORNÝ. Strojírenská technologie 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3227-8.
- [6] DURDA, Tomáš. Lasery a jejich využití v civilním / vojenském letectví [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127650. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] VRBOVÁ, Miroslava, Helena JELÍNKOVÁ a Petr GAVRILOV. Úvod do laserové techniky. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN Úvod do laserové techniky.
- [8] MANA, Petr. Možnosti gravírování laseru ISL-3NM [online]. Zlín, 2021 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/47278/mana_2021_dp.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

- [9] DRÁBEK, Tomáš. Obráběcí technologie využívané v medicínské výrobě [online]. Brno, 2011 [cit. 2022-07-26].
https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40267. Vysoké učení technické v Brně.
- [10] Lintech [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/>
- [11] Princip ink jet technologie CIJ Leibinger. Leonardo technology [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/inkjet/princip-ink-jet-technologie-cij-leibinger>
- [12] KATRŇÁK, Jan. Použití celulózy v oblasti inkoustového tisku [online]. Zlín, 2021 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z:
http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/47311/katr%c5%88%c3%a1k_2021_dp.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [13] SÁNDOR, Václav. Značení výrobků v průmyslu [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70010/F3-BP-2017-Sandor-Vaclav-Znaceni%20vyrobku%20v%20prumyslu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [14] Značení inkoustem. In: LIFTEC [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://www.liftec.cz/technologie/znaceni-inkoustem/>
- [15] Mikrobod - mikroúderové značení a gravírování. In: KOMPASS [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/mikrobod-mikrouderove-znaceni-a-gravirovani/1fcc9612-af44-447c-b95c-6ca5fa8af0d6/>
- [16] KARAS, Martin. Návrh značící stanice pro značení dílů v automobilovém průmyslu [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84743/F2-BP-2019-Karas-Martin-BP0243_Karas_2019.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [17] HUBÍK, Petr. Technologie laserového popisování [online]. Zlín, 2013 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z:

http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24662/hub%C3%ADk_2013_bp.pdf?sequence=1.
Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

[18] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění – 5. díl. In: Průmyslové spektrum [online]. 2008 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil>

[19] LASCAM [online]. 2015 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.lascam.cz/laserove-gravirovani/>

[20] Panasonic industry [online]. [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://industry.panasonic.eu/cs/vyrobky/zarizeni-reseni-do-automatizace/laserove-popisovace/metody-laseroveho-popisovani>

[21] TRUMPF [online]. [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-oznacovani/gravirovani-laserem/

[22] APPLICATION OF DATA MATRIX IDENTIFICATION SYMBOLS TO: NASA-HDBK-6003C. Washington DC, 2008.

[23] Laser Bonding Technology. In: Laser Bonding Technology [online]. [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.laserbondingtech.com/technology>

[24] LÁZNIČKA, Pavel. Laserové mikroobrábění [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30309284.pdf>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

[25] MRÁZEK, Martin. Optimalizace parametrů laseru pro značení SK a Cermetu [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/28641>.
Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.

[26] How To Choose The Right Marking Technology For Your Application. In: MED DEVICE ONLINE [online]. 2014 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.meddeviceonline.com/doc/how-to-choose-the-right-marking-technology-for-your-application-0001>

[27] KODYS [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.kodys.cz/>

- [28] ČÁDA, David. Využití 2D kódů v běžné praxi [online]. Zlín, 2016 [cit. 2021-11-18].
Dostupné z:
http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/38447/%C4%8D%C3%A1da_2016_dp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [29] Jak fungují RFID čtečky. In: ESP [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z:
<https://esp.cz/cs/blog/funguji-rfid-ctecky>
- [30] KAVAN, Petr. Analýza a využití laseru při obrábění [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12336/final-thesis.pdf?sequence=6>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [31] NOVÁK, Lukáš. Třídy bezpečnosti laserů. In: MEGABLOG [online]. 2013 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/tridy-bezpecnosti-laseru/>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Základní schéma laserového rezonátoru [1].....	11
Obrázek 2 Přehled typů laserů [7]	13
Obrázek 3 Schéma kontinuálního tisku [11].....	16
Obrázek 4 Mikroúderové značení [15]	17
Obrázek 5 Princip značení součásti přes masku 1 - laser, 2 - maska, 3 - objektiv pro zaostření paprsku, 4 - obrobek [5].....	21
Obrázek 6 Princip značení součástí vychylováním paprsku laseru 1 - laser, 2, 3 - vychylovací zrcátko, 4 - objektiv, 5 - obrobek [18]	22
Obrázek 7 Značení pomocí metody žihání [21].....	23
Obrázek 8 Značení pomocí metody tavení lasem [22]	23
Obrázek 9 Značení pomocí metody gravírování laserem - černá struktura [21]	24
Obrázek 10 Značení pomocí metody karbonizace laserem [21].....	25
Obrázek 11 Značení pomocí metody pění laserem [21]	25
Obrázek 12 Značení pomocí metody spojování laserem [23]	26
Obrázek 13 Porovnání délky pulzu na kvalitě otvoru [24].....	28
Obrázek 14 Hloubka odebíraného materiálu na jeden puls v závislosti na hustotě energie [24] .	29
Obrázek 15 Čárový kód [27].....	31
Obrázek 16 Rozdíl mezi 1D a 2D kódem [16]	32
Obrázek 17 QR kód [14].....	33
Obrázek 18 Data Matrix [16].....	33
Obrázek 19 RFID čip [28]	34
Obrázek 20 Znak CE (Conformity Declaration) [13].....	35
Obrázek 21 Bezpečnostní označení laseru II a vyšší třídy [30].....	36
Obrázek 22 Laser OMRON	38
Obrázek 23 Laser SPI Lasers	39
Obrázek 24 Vzorek pro laser OMRON	42
Obrázek 25 Vzorek pro laser SPI Lasers	46

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 Srovnání značících technologií [26]	30
Tabulka 2 Technické parametry laseru OMRON	37
Tabulka 3 Technické parametry laseru SPI Lasers	39
Tabulka 4 Technické parametry čtverců	40
Tabulka 5 Technické parametry QR kódů	41
Tabulka 6 Technické parametry čtverců	43
Tabulka 7 Technické parametry QR kódů	44