

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Lucie Vašínová

Studijní obor: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Konzultant: Ing. Hana Hrdinová

PRAHA 2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vašínová** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **439330**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv vybraných předúprav čištění povrchu na jeho vlastnosti

Název bakalářské práce anglicky:

Influence of selected surface cleaning pretreatments on its properties

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky vybraných technologií
2. Návrh experimentu
3. Vyhodnocení provedených zkoušek
4. Shrnutí poznatků o zjištěných charakteristikách povrchů sledovaných technologií

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Viktor Kreibich CSc., ústav strojírenské technologie FS

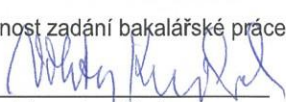
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

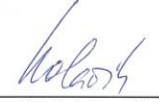
Ing. Hana Hrdinová, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **25.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**


Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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.

03.05.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně a použila pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne

.....

podpis

Mé upřímné poděkování patří především doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. za jeho cenné rady, komentáře a připomínky při psaní této závěrečné práce a také Ing. Haně Hrdinové za vstřícnost a spolupráci při získávání údajů pro výzkumnou část práce.

Jméno autora: Lucie Vašínová

Název práce: Vliv vybraných předúprav čištění povrchu na jeho vlastnosti

Rozsah práce: 30-40 stran

Školní rok vyhotovení: 2016/2017

Ústav: Ústav strojírenské technologie 12133

Vedoucí BP: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Konzultant: Ing. Hana Hrdinová

Klíčová slova:

- povrchové úpravy
- technologie tryskání
- přilnavost materiálů

Anotace:

Bakalářská práce vystihuje různé technologie předúprav povrchu materiálu. Práce obsahuje dvě části, a to teoretickou část a praktickou část. Teoretická část je zaměřena na předúpravy povrchu a skládá se z technologie tryskání, odmašťování a čištění laserem. Praktická část se věnuje zkoumání povrchu vzorků po použití jednotlivých technologií, jeho následné vyhodnocení pomocí zařízení Recognoil a inkoustem a určení dané technologie k dosažení nejlepších výsledků.

Autor: Lucie Vašínová

Title: Influence of selected surface cleaning pretreatments on its properties

Extent of thesis: 30–40 pages

School year: 2016/2017

Department: Department of Manufacturing Technology 12133

Leading teacher: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Consultant: Ing. Hana Hrdinová

Key words:

- surface finishes
- technology of blasting
- adhesive materials

Anotation:

The Bachelor's Thesis describes various technologies for the pretreatment of the surface of the material. The Thesis contains two sections, namely the theoretical part and the practical part. The theoretical part of Bachelor's Thesis is focused on surface pretreatment and consists of blasting, degreasing and laser cleaning technology. The practical part is devoted to the study of materials after using individual technologies, its subsequent evaluation using device the UV detection and ink and the determination of the technology for the best results.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 1 |
| 1 PŘEDÚPRAVY POVRCHU | 2 |
| 1.1 Volba předúpravy | 2 |
| 2 MECHANICKÉ PŘEDÚPRAVY | 3 |
| 2.1 Technologie tryskání | 3 |
| 2.2 Pneumatické tryskání | 9 |
| 2.2.1 Tlakové tryskání | 9 |
| 2.2.2 Injektorové tryskání | 10 |
| 2.3 Tryskání metacími koly | 11 |
| 2.4 Výhody tryskání | 12 |
| 2.5 Nevýhody tryskání | 12 |
| 3 CHEMICKÉ PŘEDÚPRAVY | 12 |
| 3.1 Technologie odmašťování | 12 |
| 3.2 Rozdělení technologie odmašťování | 13 |
| 3.2.1 Odmašťování alkalické | 14 |
| 3.2.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech | 14 |
| 3.2.3 Odmašťování elektrolytické | 14 |
| 3.2.4 Odmašťování pomocí ultrazvuku | 15 |
| 3.2.5 Odmašťování v neutrálních roztocích | 15 |
| 3.2.6 Odmašťování emulsní | 16 |
| 3.2.7 Odmašťování parou | 16 |
| 3.2.8 Odmašťování povrchu mořením | 16 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.9 | Kyselé odmašťování | 16 |
| 3.3 | Výhody odmašťování | 17 |
| 3.4 | Nevýhody odmašťování | 17 |
| 4 | ČIŠTĚNÍ LASEREM | 17 |
| 4.1 | Princip laseru | 17 |
| 4.2 | Vlastnosti laserového svazku | 18 |
| 4.3 | Druhy laserů | 20 |
| 4.3.1 | Plynový laser | 20 |
| 4.3.1.1 | CO2 laser | 21 |
| 4.3.2 | Pevnolátkové lasery | 22 |
| 4.3.2.1 | Nd: YAG laser | 22 |
| 4.3.2.2 | Diskový laser | 24 |
| 4.3.2.3 | Vláknový laser | 24 |
| 4.3.2.4 | Diodový laser | 26 |
| 4.4 | Výhody laserového čištění | 26 |
| 4.5 | Nevýhody laserového čištění | 27 |
| 5 | POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ NA DETEKCI MASTNÝCH NEČISTOT | 27 |
| 5.1 | Detekce mastnoty pomocí zařízení Recognoil | 27 |
| 5.2 | Detekce mastnoty pomocí inkoustů | 28 |
| 6 | SHRNUTÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ | 29 |
| 7 | PRAKTICKÁ ČÁST | 31 |
| 7.1 | Úvod experimentu | 31 |
| 7.2 | Materiál vzorků | 31 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.3 | Příprava vzorků | 32 |
| 8 | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZAŘÍZENÍM RECOGNOIL | 35 |
| 9 | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ DETEKCE INKOUSTEM | 53 |
| 10 | ZÁVĚR | 56 |
| 11 | ZDROJE | 57 |
| 12 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 59 |
| 13 | SEZNAM TABULEK | 62 |

Úvod

Základním kritériem při volbě povrchových úprav, které mají vliv na konečné vlastnosti, vzhled a funkci materiálu, je zvolit vhodnou předúpravu povrchu. Na proces výroby má největší vliv čistota povrchu.

Tato bakalářská práce porovnává tři technologie (tryskání, odmašťování a laserové čištění) předúprav povrchu. Práce se skládá ze dvou částí, a to teoretické části a praktické části.

Cílem bakalářské práce je experimentální porovnání povrchu vzorků po provedené předúpravě a vyhodnocení detekce mastných nečistot na povrchu zkoumaného materiálu prostřednictvím dvou metod UV detekce a inkoust. Teoretická část je zaměřena na technologie a jejich podrobný popis vlastností, funkcí a principů.

Praktická část bakalářské práce představuje vlastní měření, které probíhalo na fakultě strojní ČVUT v Praze.

1 Předúpravy povrchu

Předúpravou povrchu se rozumí nezbytná část předcházející finální fázi povrchové úpravy. Patří mezi nejméně nákladnou možnost zkvalitnění povrchových vlastností. Jejím cílem je dosažení vhodného povrchu, zkvalitnění jeho struktury a jeho očištění před následujícími operacemi.

Během těchto úprav by v žádném případě nemělo docházet k nevratným změnám vlastností povrchu, a to především jeho elektrických vlastností, mechanických a tepelných přeměn.

Předúpravy povrchu se dělí na chemickou a mechanickou. Nejčastěji používanou chemickou předúpravou je odmašťování a mechanickou předúpravou je tryskání. [1;2]

1.1 Volba předúpravy

Při volbě předúprav výrobků je rozhodujícím kritériem především:

- druh výrobku a materiálu
- konstrukční řešení
- funkční, ochranné, estetické a speciální požadavky
- kontrola jakosti
- ekonomické požadavky
- ochrana životního prostředí a zdraví člověka [4;5]

Možnosti příprav ke zbavení nečistot pro dosažení čistého povrchu:

- mechanické čištění
- odmaštění
- moření [4;5]

2 Mechanické předúpravy

Záměrem mechanických úprav je především očištění povrchu od nečistot a mastnoty, zdokonalení mechanických vlastností materiálu a dosažení vzhledových požadavků povrchu.

Mechanické předúpravy:

- tryskání
- omílání
- leštění, broušení, kartáčování
- odstraňování nečistot speciálními postupy

2.1 Technologie tryskání

Důležitým faktorem ovlivňujícím proces tryskání a tím i celý jeho výsledek je správně zvolený způsob opracování materiálu.

Tryskání (otryskání) je proces, kdy se opracovává povrch materiálu proudem abrazivních částic (zrn).

Tryskání slouží k mechanickému zdrsnění povrchu, odstranění koroze, odjehlení ostrých hran, odstranění okují a zvýšení adheze nátěrové hmoty. Tryskáním se mění změněna pouze textura povrchu materiálu.

Technologie tryskání je jednou z nejúčinnějších mechanických způsobů odstraňování koroze a okují z výrobků a očištění součástí. Nástrojem zde je tryskané médium, které je urychlováno, stlačováním vzduchu, metacím kolem a tlakováním vody.

Na povrch materiálu působí dopadem kinetická energie, která udává rychlost jednotlivým zrnům. Ty opracovávají povrch materiálu, přičemž jejich tlak musí přesáhnout mez pevnosti v místě dopadu otryskaného materiálu. Podle druhu materiálu vybíráme vhodná zrna závisící od tvaru, tvrdosti a velikosti. [6;7]

Tryskací prostředky

Tryskací prostředky jsou obvykle suché, sypké materiály, různých druhů (organické, minerální, kovové, jiné), typů-drtě a granuláty, (ostré, tupé, oválné, apod.) a velikostí neboli frakcí (velikost zrna mikro-mm). Také různého chemického složení (obsah prvků), fyzikálních vlastností (tvrdost, ostrost, světlost), barvy, objemů (měrná či sypká hmotnost) a v případě samostatných volných zrn plní funkci jako nedílná součást náplně tryskacího zařízení (tryskací směs), kde významnou roli tryskacích prostředků a jejich použití má i jejich čistota. Tudiž mají nezastupitelný vliv na výkon a účinnost, respektive kvalitu a ekonomiku. [10;12;11]

Různé druhy abrazivních prostředků dělíme na:

- organická abraziva,



Obrázek 1
Kukuřičný granulát
[11]



Obrázek 2
Skořápky ořechů
[11]



Obrázek 3 Plast
[11]



Obrázek 4 SI
(písek) [11]



Obrázek 5 Granát
[11]



Obrázek 6
Multifunkce [11]



Obrázek 7 Korund
[11]

- minerální abraziva,



Obrázek 8 Karbid
[11]



Obrázek 9 Balotina
[11]



Obrázek 10
Zirblast [11]

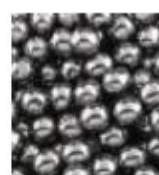
- kovová abraziva;



Obrázek 11
Ocelová drť [11]



Obrázek 12
Ocelový granulát
[11]



Obrázek 13
Nerezový granulát
[11]



Obrázek 14
Litinová drť [11]

Organické tryskácké prostředky se používají převážně k odstraňování laků, leštění a šetrnému pískování. Tyto abraziva jsou vhodná pro injektorové a tlakové tryskácké zařízení.

Minerální tryskácké prostředky se používají k čištění, renovování, matování a technickému pískování. Stejně jako organické tryskácké prostředky se hodí pro injektorové a tlakové zařízení.

Kovové tryskácké prostředky se používají k sjednocování, odstraňování okují a průmyslovému pískování. Kovová abraziva jsou určena pro tlakové tryskání a tryskání metacími koly.

Tvrдость tryskáckých prostředků určuje:

- pro nekovové tryskácké prostředky Mohsova stupnice tvrdosti
- pro kovové tryskácké prostředky Vickers (HV) nebo Rockwell (HRC) [11]

Tvary tryskacích prostředků

Získání požadovaných vlastností tryskaného povrchu závisí na volbě tvaru zrn abraziv. Ty rozdělujeme na ostrohranné a kulaté (oblé).

Například ke zvýšení drsnosti povrchu použijeme ostrohranné abrazivum. Pokud však chceme odstranit pouze nečistoty z povrchu materiálu, volíme oblé tvary tryskacího prostředku.

Dalším důležitým hlediskem je velikost tryskacího zařízení a velikost trysky. Velikost zrn má vliv i na drsnost povrchu. Pro různé typy tryskacích prostředků a zařízení je zhotovena zrnitost, a aby byla zaručena specifická zrnitost, je nutné ji třídit prostřednictvím speciálních sít. [14]

Materiál tryskacích prostředků

Podle tryskaného materiálu se volí příslušný tryskací prostředek. Aby byl tryskací prostředek co nejvíce funkční, musí tryskaný materiál dosahovat požadovaných vlastností.

Produktivitu tryskání ovlivňuje mnoho faktorů, jako jsou zejména hmotnost, rychlost letu, tvar a rozměr, pevnost materiálu, tvrdost materiálu, pevnost tryskaného materiálu, úhel dopadu zrn a tlak vzduchu (vody). [13;14]

Tabulka 1 Dělení tryskacích prostředků dle materiálu [9;11;13]

| Dělení materiálu | |
|-------------------------|---|
| kovový | ocelová drť ocelový granulát litinová drť litinový granulát sekaný drát |
| sklo, keramika | balotina zirblast |
| přírodní | křemičitý písek |
| syntetický | korund karbid granát |
| speciální | skořápky vlašských ořechů kukuřičný granulát suchý led drcené pecky |
| plastový | organické anorganické |

Použití tryskacích prostředků (abraziv)

Abraziva lze také vybírat podle aplikace na daný povrchu materiálu viz tabulka 2 níže.

Tabulka 2 Volba abraziva dle aplikace [12]

| Aplikace | kovy drť | kovy kuličky | kovy kuličky | kovy kuličky | kovy kuličky | kovy kuličky |
|--------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Odstranění lepidel | | | | | • | |
| Příprava před eloxováním | | • | | • | | • |
| Matování povrchu | | | | • | | • |
| Renovace artefaktů | | | | | • | |
| Příprava před lepením | • | • | | | | |
| Odstranění karbonů | | | | | • | |
| Čištění odlitků | • | | • | | | |
| Příprava před gumováním | • | • | | | | |
| Čištění kompozitů | | | | | • | |
| Odstranění betonu | • | | | | | |
| Odstranění koroze | • | • | • | • | | • |
| Estetické úpravy | | • | • | • | | • |
| Odstranění otřepů | | • | | • | | • |
| Odstranění výronků | | | | | • | |
| Běžné čištění | • | • | • | | | |
| Dekorace skla | | • | | | | • |
| Odstranění skořepin | | • | | | | |
| Odstranění lehké koroze | | | | • | • | |
| Čištění forem pro tlakové lití | | | | • | • | • |
| Odstranění barev | • | • | | | • | |
| Předúprava před nátěry | • | • | • | | | |
| Kuličkování | | | • | • | | • |
| Strojní údržba | • | • | • | • | | • |
| Předúprava před metalizací | • | • | | | | |
| Předúprava před galv. pokovení | | | | • | | • |
| Čištění před a po svařování | • | • | | • | | • |
| Odstranění okují | • | • | • | • | | • |
| Povrchové tvarování | • | • | • | • | | • |
| Čištění povrchu dřeva | | • | | | | |

Rozdělení technologie tryskání

Podle způsobu přivádění zrn rozlišujeme tryskání:

- pneumatické, tlakovzdušné (zrna jsou přiváděna stlačeným vzduchem)
 - mechanické (zrna jsou přiváděna lopatkami metacího kola)
 - kombinované (zrna jsou přiváděna vzájemným působením vzduchu a vody)
- [11;14]

2.2 Pneumatické tryskání

Pneumatické (tlakovzdušné) tryskání funguje na principu vrhání tryskacího prostředku pomocí trysky na otryskávaný materiál. Lze jej použít i na komplikované výrobky a součásti v jakémkoliv prostředí. Pomocí proudu stlačeného vzduchu lze pneumatickým tryskáním docílit tlaku až do 1,2 MPa. [15]

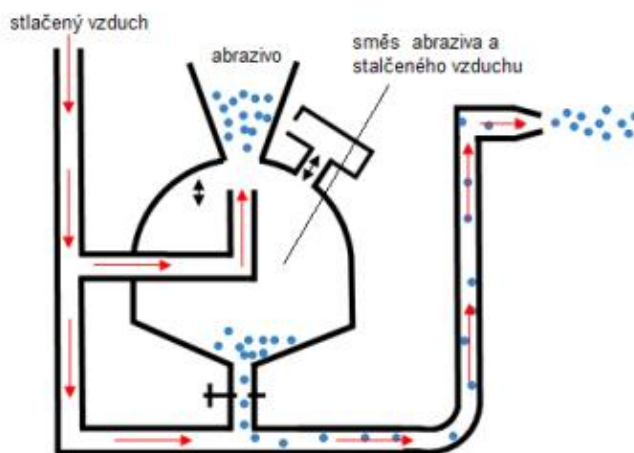
2.2.1 Tlakové tryskání

Tento systém se neobejde bez zřejmé tlakové nádoby. Uvnitř tlakové nádoby je umístěn tryskací prostředek. Po jejím zavření se komora tzv. natlakuje. Tryskací prostředek je následně stlačen před přepouštěcí trysku ve směšovací komoře. Tam je přidán dohromady se stlačeným vzduchem, který je přiveden do komory. Tryskací prostředek je poté vyveden k výstupní trysce. Ventilem je následně nastaven poměr mezi tlakovou nádobou a unášecím vzduchem v hadici. To znamená, že proces je přerušovaný (diskontinuální systém). Použitý tryskací prostředek se hromadí a do tlakové nádoby se vsype, tehdy až potom z hadice vychází jen vzduch.

Systém je využíván pro těžší tryskací prostředky, a to ocelové broky, ale můžeme pracovat i s balotinou a korundem. Jelikož je 3x intenzivnější než u injektorového systému, využívá se především pro čištění kovů, odstraňování barev, rzi či okují a zpevňování povrchu. [7;14]

Jednou z výhod tlakového tryskání je možnost využití mnoha rozdílných tryskacích prostředků (litinová drť, balotina, ocelové abrazivo, korund atd..).

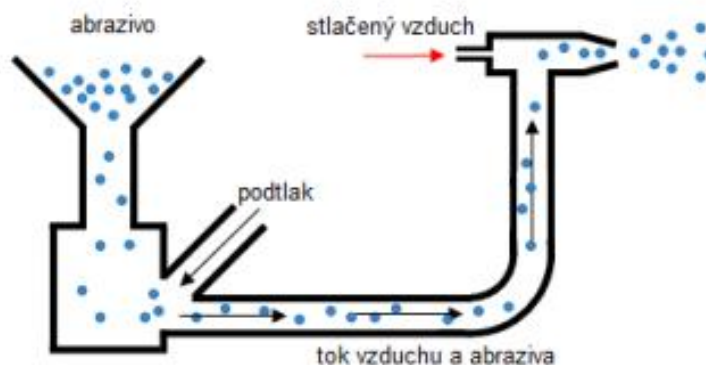
Další možnost je nastavení tlaku přiváděného vzduchu umožňující docílení požadovaného povrchu, kvůli doplňování tryskacích prostředků do tlakové nádoby však dochází k přerušování tryskání, což je jeho velkou nevýhodou. [13;14]



Obrázek 15 Princip tlakového tryskání [14]

2.2.2 Injektorové tryskání

Injektorové tryskání (sací tryskání) funguje tak, že tryskací prostředek působením podtlaku, který vzniká rychlým prouděním vzduchu, je nasáván z beztlakové nádoby. Směs pak putuje do pracovní trysky, kde nastává urychlování a následné vrhání na otryskávaný povrch. Díky délce trysky však není rychlost abraziva dostatečně silná během jeho výstupu z trysky.



Obrázek 16 Princip injektorového tryskání [14]

Tato metoda se nejčastěji používá pro uzavřené tryskací kabiny, kde je nepřerušovaná pracovní etapa (čímž se liší od tlakového tryskání). Velikost a sílu je možné do určité míry regulovat a to změnou průměru trysky nebo tlaku vzduchu. [13; 14]

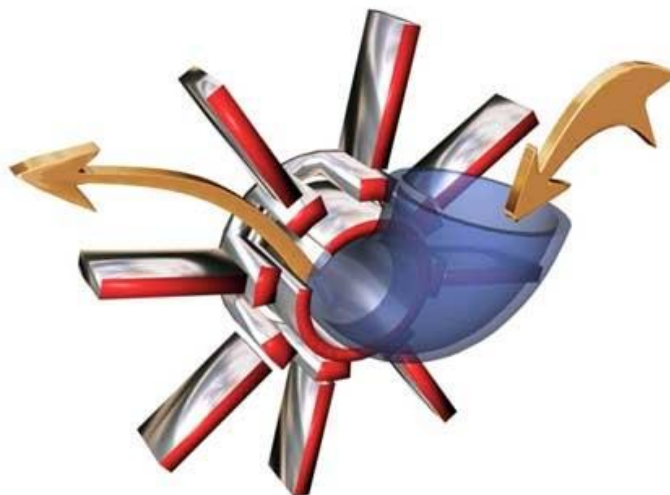
2.3 Tryskání metacími koly

Jedná se o metodu, kde tryskací prostředek je přiveden na lopatky rotujícího metacího kola. Zrna se posunují na konce lopatek působením odstředivé síly, a poté se vrhají na otryskávaný materiál.

Tyto zrna dosahují rychlosti až $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Technologie tryskání metacími koly se používá v první řadě na hrubší práce (např. odlitky, hutní polotovary atd.).

Výhodou tryskání metacími koly oproti tlakovzdušnému tryskání je, že množství urychleného abraziva je několikanásobně vyšší, a tudíž i ekonomicky výhodnější.

Je však pouze pár typů tryskacích prostředků, čímž se staví tato metoda do hlavních nevýhod. [13]



Obrázek 17 Tryskání metacími koly [13]

2.4 Výhody tryskání

- perfektní očištění nečistot z povrchu,
- vysoká přilnavost barev (zdrsnění),
- odstranění starých nátěrů,
- odstranění koroze;

2.5 Nevýhody tryskání

- zvýšená prašnost (nutnost odsávání),
- zvýšená hlučnost;

3 Chemické předúpravy

Chemické či elektrochemické úpravy slouží především ke zbavení mastnoty z povrchu materiálu.

Mezi chemické předúpravy patří:

- technologii odmašťování,
- moření,
- odrezování
- chemické leštění;

3.1 Technologie odmašťování

Odmašťování je jedním z nezbytných požadavků na výslednou čistotu povrchu. Záměrem je odstranění mastných nečistot na povrchu. Nekvalitní nebo neúplné odmaštění se projeví špatnou přilnavostí povlaku na povrchu materiálu, což může způsobit následně špatnou ochranu povrchu základního materiálu před jeho oxidací.

Charakteristika

Odmašťování je proces, během kterého se lze zbavit ulpělých nečistot, mastnoty a zabránit jejich zpětnému vylučování na povrch kovu.

Operace se provádí beze změn odmašťovaného povrchu díky vazbě nečistot například fyzikální absorpcí (složky mastnoty) nebo adhezní silou (třísky, prach atd.). Tyto vazby účinkují převážně mezi základním materiálem a zmiňovanou mastnotou či prachem. [4;5]

3.2 Rozdělení technologie odmašťování

Rozlišujeme tři základní typy odmašťování:

- alkalické odmašťování, které spočívá v aplikaci pomocí ponoru nebo postřiku, ale i ultrazvukem
- odmašťování organickými rozpouštědly, taktéž lze aplikovat ponor nebo postřik, ale i ultrazvuk. Jako rozpouštědlo používáme petrolej, benzín, benzen atd. a proto jsou nevyhovující z hlediska bezpečnosti
- kyselé odmašťování

Zatímco při chemickém odmašťování se naruší vazební síly chemickým procesem pomocí odmašťovací lázně, tak v průběhu elektrolytického odmašťování se vytvářejí plyny (katoda – vodík, anoda – kyslík), jež narušují adhezní sílu, která váže nečistoty na tomto povrchu materiálu a následně se od něj odděluje.

Aplikaci odmašťování, kde dochází ke styku s rozpouštědly, můžeme provádět ponorem, postřikem, v párách, elektrolytické, ultrazvukem, mechanické a tepelné. [4;5]

3.2.1 Odmašťování alkalické

Alkalické odmašťování účinkuje na mastné látky ulpělé na kovovém povrchu. Rostlinné a živočišné tuky a oleje se během odmašťování chemickým procesem přemění do stavu zmýdelnění.

Nejčastěji se odmašťuje ponorem při teplotě cca 70–90 °C. Ponor však není jediným způsobem, jak odstranit mastnoty z povrchu. Pokud se jedná o mohutné a velmi znečištěné povrchy, je vhodné použít postřik. Přípravky na alkalické odmaštění jsou dostupné také jako hotový prášek. [4;5]

3.2.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech

Organická rozpouštědla slouží k odstranění mastnot z povrchu kovů. Nejčastěji používaným rozpouštědlem pro silné vrstvy mastnoty je petrolej, který se aplikuje pouze k předběžnému předčištění povrchu. I poté se však na něm stále nachází tenká vrstva mastnoty, která se musí zbavit jinou metodou odmaštění.

Lze použít i benzín, ale vzhledem k jeho vysoké hořlavosti se musí aplikovat v malém množství, a to jen na ruční odmaštění povrchu.

K nejvíce používaným rozpouštědlům, která jsou nehořlavé, stálé a málo jedovaté, patří chlorovaný uhlovodík, trichloretylen a perchloretylen. Na rozdíl od benzínu a petroleje, které jsou určeny k ruční aplikaci (jak bylo zmíněno), se tyto rozpouštědla se používají pouze ve speciálních zařízeních z důvodů narkotických účinků. [4;5]

3.2.3 Odmašťování elektrolytické

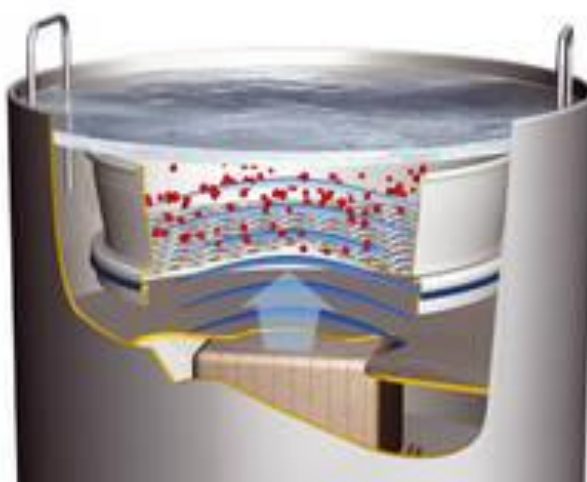
Elektrolytické odmašťování zlepšuje a zesiluje alkalické odmašťování v doprovodu elektrického proudu. Tento proces funguje na bázi elektrolýzy, kdy dochází k štěpení látek v alkalickém roztoku.

Můžeme jej rozdělit podle způsobu zapojení produktu v lázni na katodický, anodický a kato-anodický (reverzní). Kato-anodický způsob je nejúčinnější, jelikož spojuje oba předešlé. [4;5]

3.2.4 Odmašťování pomocí ultrazvuku

Ultrazvukové čištění je definováno jako proces rozpouštění a odstranění nečistot z materiálu a poté následné opláchnutí a osušení. Čištění probíhá ponorem v rozpouštědlech, kde ultrazvukový generátor vytváří ultrazvukové pole. Ultrazvukové vlny způsobují na povrchu materiálu změny tlaku a činí tak odmašťování kvalitnější a rychlejší.

Tato technologie je fyzikálně-chemický proces, který probíhá na povrchu materiálu a v celém objemu kapaliny. Ultrazvukem lze čistit jak malé, tak i tvarově složité předměty. [15]



Obrázek 18 Princip čištění ultrazvukem [15]

3.2.5 Odmašťování v neutrálních roztocích

Pro odmaštění v neutrálních roztocích jsou používány převážně saponáty, kde není třeba vysokých teplot. Saponáty aplikujeme ručně, ale vzhledem k jejich vysoké pěnovitosti nejsou dobrou volbou pro ponorové a postřikové odmašťování. Jakékoliv neopláchnuté zbytky v roztocích totiž mohou být příčinou velkých nedostatků. [4;5]

3.2.6 Odmašťování emulsní

Tato metoda probíhá ponořováním předmětů do organických rozpouštědel s určitým množstvím emulgátorů. Rozpouštědlem se rozpustí mastnota a emulgátorem se vyplaví zbytky mastnoty ve vodě během oplachu.

Emulsní odmašťování lze nanášet ručně (potíráním), ponorem či postřikem. Lze odmašťovat velmi silné vrstvy mastnoty i zčásti vpálené do povrchu materiálu, což je jednou z velkých výhod. [4;5]

3.2.7 Odmašťování parou

Odmašťování parou se používá pro značně znečištěné předměty. Provádí se ofoukáním pomocí páry, ve které je emulgátor nebo alkalický odmašťovací roztok. Po následném odmaštění se ještě povrch dočišťuje čistou parou. [4;5]

3.2.8 Odmašťování povrchu mořením

Odmašťování povrchu mořením probíhá odstraňováním oxidických nečistot z povrchu (např. hloubkové rzi a okuje) chemickým způsobem. Moření působí v 15 % kyselině solné. Taková lázeň se skládá i z dalších pomocných látek (například inhibitory, které zlepšují průběh moření a zamezují korozivzdornosti. [8]

3.2.9 Kyselé odmašťování

Využití tohoto typu odmašťování se nachází hlavně v kontinuální výrobě k pokovení drátů nebo pásů za působení vysokých rychlostí. Kov v lázni je $ZnSO_4$ a za účelem vodivosti lázně je upravován působením kyseliny sírové. Nevýhodou je zde však nízká hloubková účinnost. [5;8]

3.3 Výhody odmašťování

- odmaštění materiálu,
- čištění tvarově složitých součástí;

3.4 Nevýhody odmašťování

- nutnost sušení,
- dodržování bezpečnosti práce;

4 Čištění laserem

Laserové čištění je jeden z nejmodernějších procesů povrchových úprav, který odstraňuje zbytky povlaků a nečistot z povrchu základního materiálu.

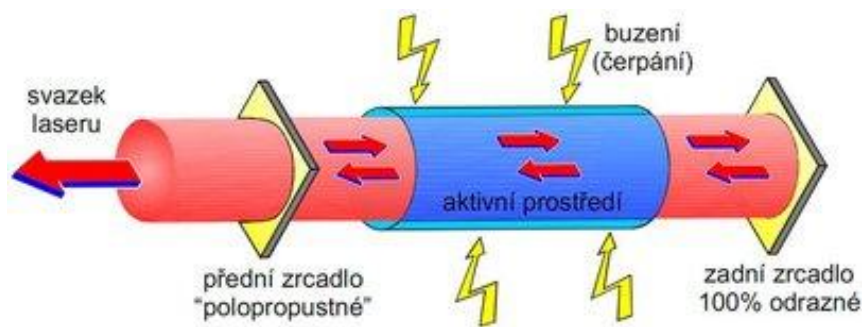
4.1 Princip laseru

Slovo Laser je zkratka, jež pochází z anglického spojení slov „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, což v překladu znamená zesilovač světla pomocí vynucené emise záření.

Metoda probíhá silou soustředěného paprsku. Laserové světlo nahrazuje agresivní a zdraví škodlivá čistící rozpouštědla, chemikálie a abrazivní média. Laserové čištění je z hlediska k životnímu prostředí oproti jiným technologiím velmi ekologické. [16]

Tato technologie funguje na principu optického zesilovače generujícího elektromagnetické záření, což je světlo, prostřednictvím stimulované emise fotonů.

Aktivní prostředí laseru je určitým stylem buzeno, které dodává do laseru energii. Tato energie působením stimulované emise vzniká jako laserový svazek. Avšak je potřeba vytvořit optický rezonátor. [23]



Obrázek 19 Schéma rezonátoru [23]

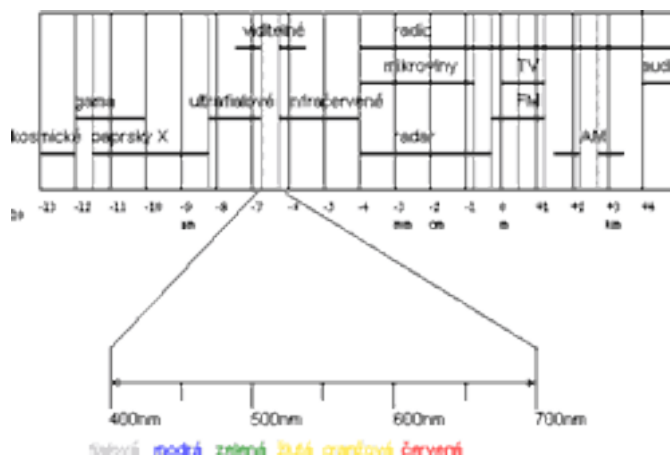
4.2 Vlastnosti laserového svazku

Proces stimulované emise má dopadající a emitovaný foton stejnou energii (frekvenci), stejný směr, polarizaci a fázi.

Svazek laseru můžeme rozdělit do tří základních vlastností, které se liší od sebe jinými zdroji zařízení:

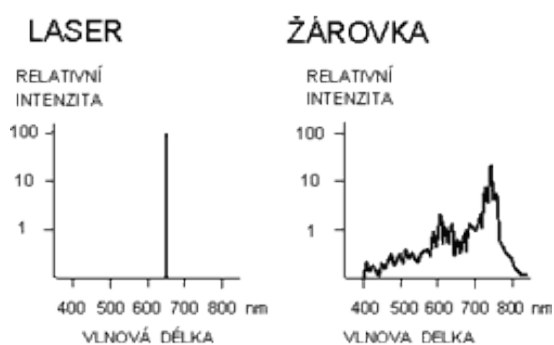
- kolimovaný (nerozbíhá se),
- monochromatický (generované fotony mají stejnou frekvenci),
- koherentní (generované fotony jsou ve fázi časové a prostorové); [25]

Dle využití vlnových délek (viz obrázek číslo 21) nás obklopuje elektromagnetické vlnění. [24]



Obrázek 20 Vlnové délky elektromagnetického vlnění [24]

Klasická žárovka působí naprosto chaoticky, co se týče generovaných fotonů, které se rozebíhají do všech směrů, různých vlnových déle a náhodnou fází. [23] Laser vyzařuje na jedné vlnové délce a je monochromatický, kdežto naopak žárovka vyzařuje široké spektrum vlnových délek a je polychromatická. [24]



Obrázek 20 Rozdíl zdrojů světla [24]

Dva způsoby čištění povrchu:

- odpařením (při dosažení určité intenzity a vhodně zvolených parametrů laseru, nastane k odpařování znečištěné vrstvy materiálu bez narušení základního povrchu materiálu),
- tepelnou roztažností (vhodná energie laseru slouží k tepelné roztažnosti oxidů, která způsobí ke vzniku trhlin a jejich následnému odtrhnutí od základního materiálu);

Tabulka 3 Porovnání nákladů [12]

| Porovnání nákladů "suchý led" vs. "laser" | | | |
|---|-----------------|---|-----------------|
| Kritéria porovnání: 24/7 provoz s 7500h/a; cena silové elektřiny 0,15E/kWh; cena tekutého CO ₂ 0,30E/kg, amortizace 5 let bez servisních nákladů | | | |
| Čištění suchým ledem | EUR | Čištění laserem | EUR |
| Investiční náklady | | Investiční náklady | |
| Zařízení pro ledové tryskání | 110.000 | Laser CL500 systém | 230.000 |
| Vzduchový kompresor | 125.000 | Odsavač zplodin | 7.000 |
| Zásobník CO ₂ | 50.000 | Laserová bezpečnost | 3.000 |
| Ochrana hluku a odsávání | 10.000 | | |
| Celkově | 295.000 | Celkově | 240.000 |
| Provozní náklady | | Investiční náklady | |
| Energie 130 kW | 19,5 | Energie 6.2 kW | 0,9 |
| Spotřeba CO ₂ – 110kg/h | 33,0 | Údržba 5% z investice | 1,6 |
| Údržba 5% z investice | 2,0 | Amortizace | 6,4 |
| Amortizace | 7,9 | Celkově | 8,93 E/h |
| Celkově | 62,4 E/h | Sniženi provozních nákladů o 84% oproti "suchý led" | |
| Návratnost investice při změně technologie "suchý led" za "laser" v 2 směnném provozu je cca 1 rok. | | | |

4.3 Druhy laserů

V současných průmyslových aplikacích se používá pět hlavních typů laserů, které jsou uvedeny v tabulce níže. Jednotlivé typy se pak dále dělí podle typu buzení, provozního režimu (kontinuální, pulsní) a dalších parametrů. Každý typ má svoje výhody i nevýhody a typické aplikace, pro které je vhodný.

Tabulka udává základní přehled jednotlivých typů laserů, a tedy i jednotlivé uvedené parametry je třeba brát s určitou rezervou. [16]

Tabulka 4 Základní přehled průmyslových laserů [16]

| Laser | Vlnová délka (nm) | Buzení | Efek. ^a | Režim ^b | Výkon / Energie | Typické aplikace ^c | Údržba | Život. (h) |
|-----------------|-------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|--------|------------|
| Nd:YAG | 1064 | LD | ~7% | CW | až 6kW | Ř,S | ano | ~10 000 |
| | | | | pulsní* | ~ mJ@ns (~100W) | Z,G | | |
| | | lampy | ~3% | pulsní* | ~ J@ms (~600W) | S,V | | ~1000 |
| CO ₂ | 10 600 | RF | ~10% | CW / pulsní | 10-250W | Z,G, Ř nk. | ano | ~20 000 |
| | | EI. | ~25% | | až 20kW (průtočné) | Ř,S | | -- |
| Diskový | 1070 | LD | ~15% | CW | až 16 kW | Ř,S | ano | ~10 000 |
| Vláknový | 1070 | LD | ~30% | CW | až 80 kW | Ř,S | ne | ~100 000 |
| | | | | QCW | ~ J@ms (~1,2kW) | Z,G,M | | |
| | | | | Pulsní | ~ mJ@ns (~100W) | Z,G,M | | |
| Diodový | 808-980 | EI. | ~60% | CW | až 10kW | S,K,N | ne | ~15 000 |

a Efektivita (účinnost) přeměny elektrické energie na světelnou (optickou)

b U pulsních laserů se udává energie v pulsu a doba pulsu, případně střední výkon (v závorce). CW - kontinuální, QCW - kvazi kontinuální.

c Ř – řezání, S - svařování, Z – značení, G – gravírování, K – kalení, N – nanášení vrstev, M-mikro-obrábění, nk – nekovů.

Buzení: LD - laserové diody, RF - radio frekvenčně, EI. - elektricky (výboj, proud).

4.3.1 Plynový laser

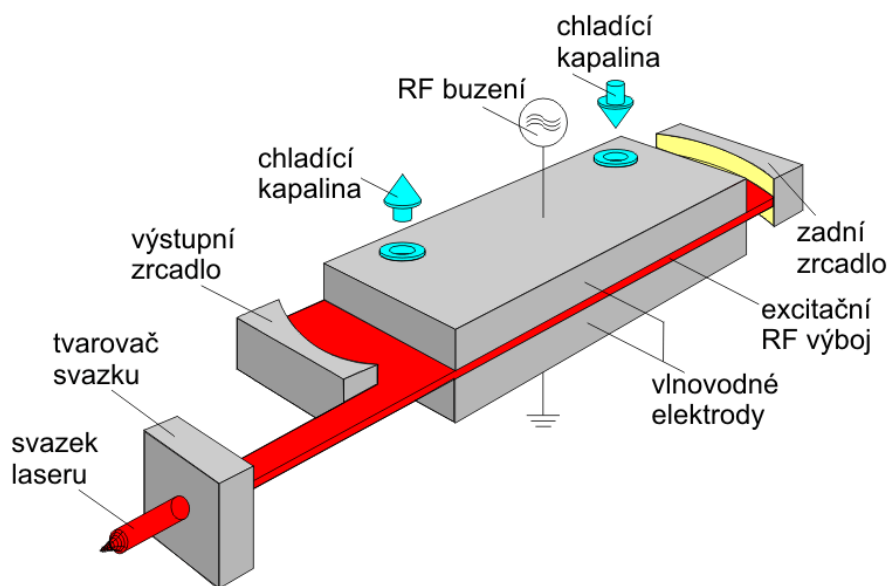
Plynové lasery mají aktivní prostředí, kde směs plynů obsahuje především oxid uhličitý (CO₂), což je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu.

4.3.1.1 CO₂ laser

CO₂ laser je jeden z hlavních představitelů plynového laseru, jehož aktivní prostředí je směs plynů skládající se z 5% oxid uhličitý (CO₂), 15% dusík (N₂) a 80% hélium (He).

CO₂ laser patří mezi účinnou bezkontaktní metodu pro řezání. Oproti diodovému laseru je vlnová délka energie daleko vyšší. Přijímaná energie se mění na teplo, které ubírá požadovaný povrch materiálu rovnou ve stopě laseru.

Tento typ laseru se využívá nejčastěji v průmyslu k řezání. Výhodou je úzký a čistý řez, zaručující minimální tepelný vliv na okolní materiál. [17;25]



Obrázek 22 Princip CO₂ laseru [25]

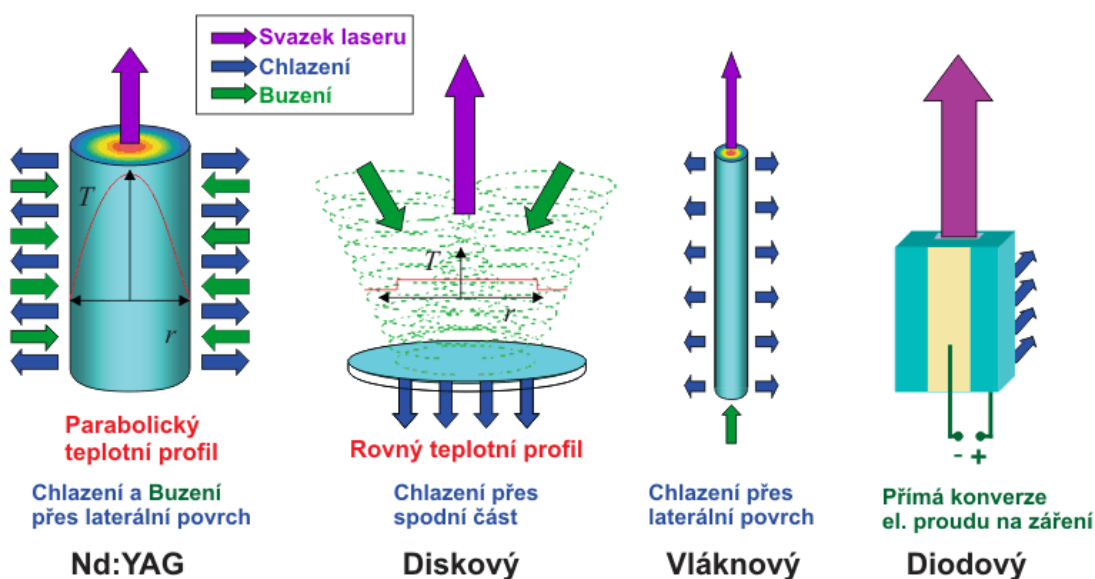
Hlavní druhy CO₂ laserů:

- CO₂ laser s rychlým podélným prouděním,
- CO₂ laser s pomalým podélným prouděním,
- CO₂ laser s příčným prouděním,
- Slab laser; [17]

4.3.2 Pevnolátkové lasery

Nd: YAG, diskový, vláknový a diodový laser jsou skupinou pevnolátkových laserů, jehož aktivním prostředím je monokrystal YAG (yttrium aluminium granát) dopovaného ionty neodymu (Nd) nebo yterbia (Yb). Nd:YAG se využívá pro laserové řezání, značení a svařování v průmyslu.

Geometrie aktivního prostředí je největším rozdílem každého laseru viz obrázek 20. [16]



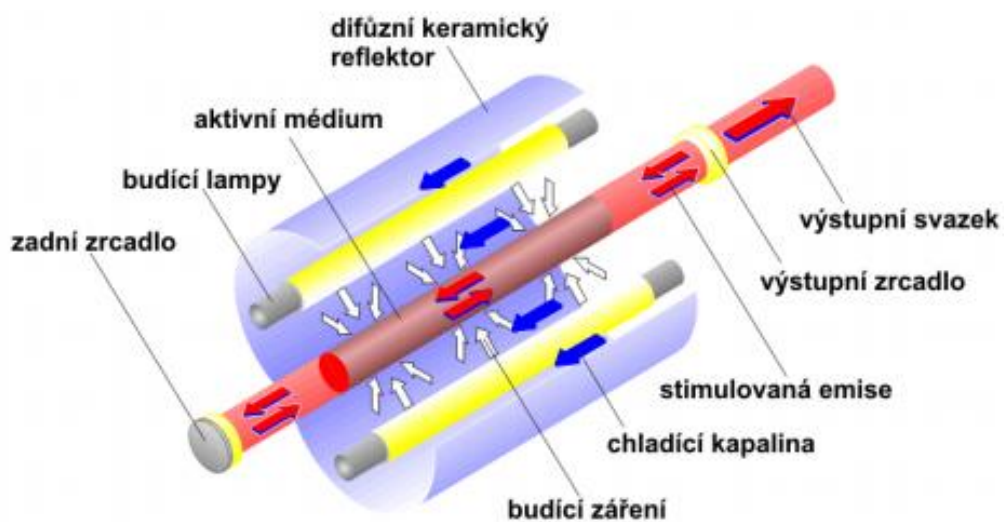
Obrázek 23 Nd: YAG, diskový, vláknový a diodový laser [16]

4.3.2.1 Nd: YAG laser

Nd: YAG, tato zkratka Nd: YAG laser znamená v překladu „Yttrium Aluminium Granát dopovaný ionty neodymu“. K buzení lze aplikovat výbojky nebo laserové diody. Tato metoda funguje v pulzním nebo kontinuálním režimu a lze u nich docílit maximálního výkonu až 6 kW.

Lasery buzené výbojkami (viz obrázek 24) pracují v pulzním režimu a jejich výhodou je hlavně vysoká energie pulsu. Tyto lasery využíváme v první řadě k laserovému vrtání a svařování, kde lze docílit hlubokých průvarů a zároveň úzké tepelně ovlivněné oblasti.

Oproti výbojkovému buzení docílíme větší účinnosti a životnosti při buzení laserovými diodami. V pulzním režimu se využívají tyto lasery při značení a gravírování různých materiálů, v kontinuálním režimu se pak aplikují k řezání nebo svařování. [16;18]



Obrázek 24 Výbojkami buzený Nd: YAG laser [16]

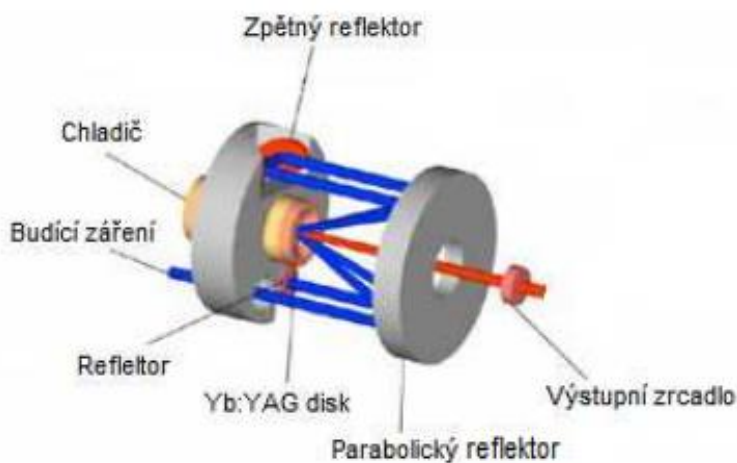
Mezi největší nevýhodu patří malá účinnost, vyšší potřeba intenzivního chlazení a relativně malá životnost výbojek, která se pohybuje okolo 1000 hodin. Tyto negativní vlastnosti se projeví zvětšujícími se provozními náklady a jsou tak ekonomicky velmi nevýhodné.

4.3.2.2 Diskový laser

Diskový laser je pevnolátkový laser principiálně fungující stejně jako Nd: YAG, ale jeho aktivním prostředím je malý disk.

Výhodou diskových laserů je rovný teplotní profil po celém disku (viz. obrázek číslo 25). Touto technologií lze svařovat a řezat kovy.

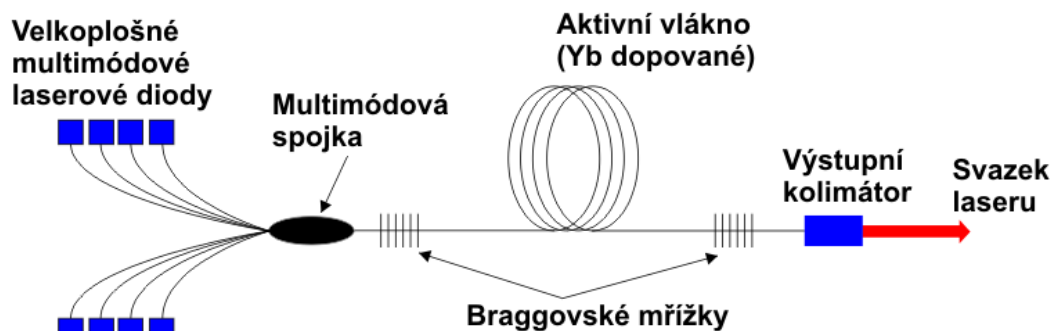
Nevýhodou je účinnost, která činí 15-20 % a velmi nízká životnost oproti vláknovým laserům. [16]



Obrázek 25 Schéma diskového laseru [16]

4.3.2.3 Vláknový laser

Vláknový laser patří mezi nejmodernější pevnolátkové lasery. Princip vláknového laseru spočívá v aktivním prostředí, jež tvoří dlouhé optické vlákno dopované yterbiem. Buzení z laserových diod je vedeno přes optickou spojku do aktivního vlákna a namísto zrcadel jsou zde tzv. Braggovské mřížky, což jsou struktury vytvořené přímo na optickém vlákne. Vlákno je pak zakončeno optickým kolimátorem (viz obrázek číslo 23).



Obrázek 26 Princip vláknového laseru [25]

Velice důležitou věcí u vláknového laseru je nastavení správných parametrů, aby byl dosažen co nejdokonalejší výsledný povrch čištěného materiálu. Čištění lze také aplikovat 2D, ale i 3D a na vnitřní plochy. Obvyklá plocha stopy laseru má čtvercový nebo obdélníkový tvar.

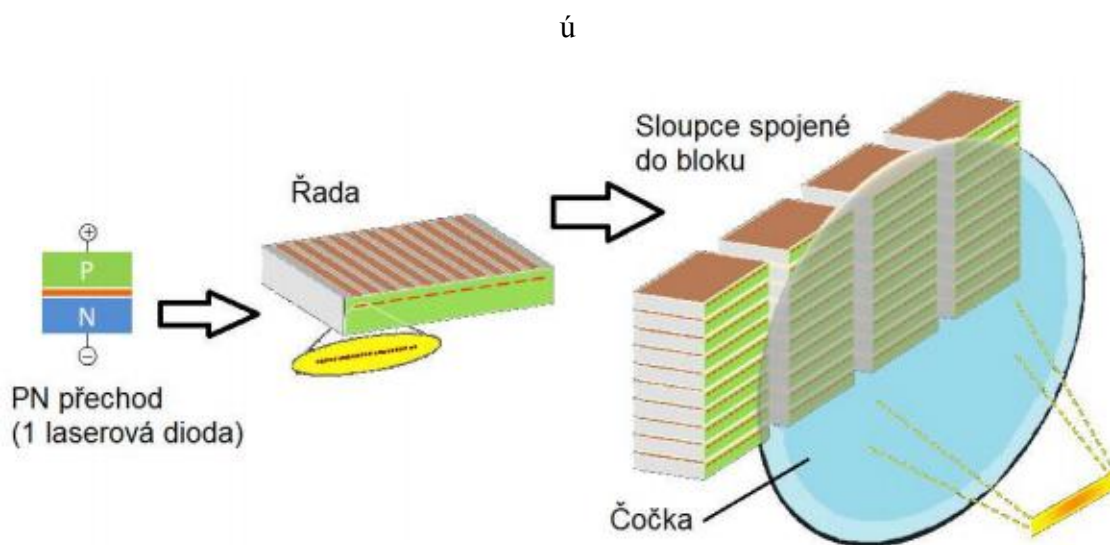
Hlavní výhodou vláknového laseru je jeho jednoduchost (celý laser tvoří optické vlákno). Mezi další výhody patří vysoká účinnost, životnost, vysoká kvalita laserového svazku, nejnižší provozní náklady oproti ostatním laserům a takřka nulové nároky na údržbu. [16]

S laserovým čištěním se můžeme setkat nejen při čištění nejrůznějších povrchů strojírenských součástí, ale také jej lze použít například při rekonstrukci kamenných památek. Dalším využitím vláknových laserů je čištění, svařování a řezání různých druhů materiálu. [22]

4.3.2.4 Diodový laser

Diodový laser (polovodičový laser) je pevnolátkový laser. Aktivním prostředím je elektricky čerpaná polovodičová dioda. K buzení se uplatňuje průchod elektrického proudu. Zásadní výhodou diodového laseru je jeho účinnost, která může dosahovat až 60 %.

Výstupní svazek nelze zaostřit do menšího bodu, proto se využívá převážně k povrchovému kalení, navařování a popřípadě i svařování. [18;19;23]



Obrázek 27 Schéma diodového laseru [19]

4.4 Výhody laserového čištění

- efektivita a šetrnost k životnímu prostředí,
- bezkontaktnost a šetrnost k čištěnému materiálu,
- levná technologie s rychlou návratností,
- přelomová technologie (čistí dokonale na jeden přechod povrchy, které byly doposud čištěny v několika zdoluhavých cyklech),
- unikátnost (možnost selektivního čištění a variability výkonů),
- stabilita (zabezpečuje dlouhou životnost a spolehlivost); [20]

4.5 Nevýhody laserového čištění

- pořizovací cena laseru
- tepelná vodivost

5 Použitá zařízení na detekci mastných nečistot

5.1 Detekce mastnoty pomocí zařízení Recognoil

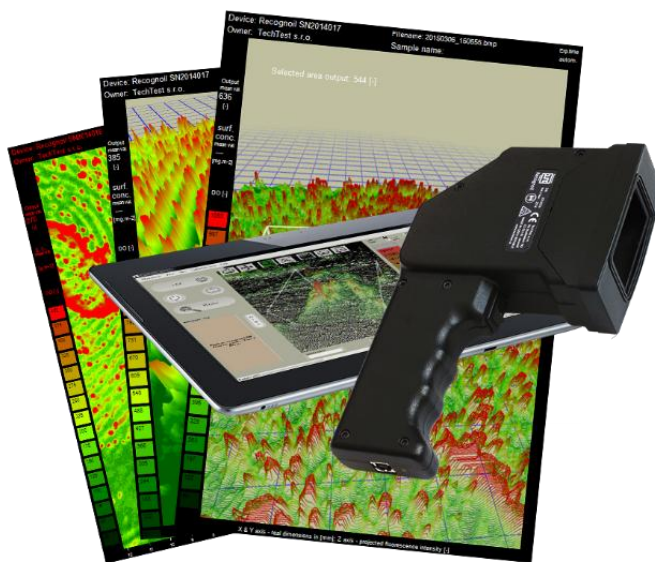
Recognoil je elektronický analyzátor fluorescence k detekci mastných nečistot (látek). Principem této detekce je navození luminiscence kontaminujících látek, její zaznamenání a poté vyhodnocení prostřednictvím softwaru.

K dosažení přesných výsledků, lze zařízením velmi jednoduše a opakovaně získat data ze zkoumaného materiálu a ty následně analyzovat.

Přístroj Recognoil provádí:

- detekci nečistot (detekce mastných nečistot na povrchu převážně kovových povrchů a určení tloušťky vrstvy)
- obrazový výstup ve 2D (grafický výstup plošného rozložení a intenzity znečištění povrchu tzv. 2D vyhodnocení)
- 3D grafické znázornění (analýza prostorového rozložení a intenzity znečištění povrchu ve formě trojrozměrné sítě)
- živý náhled (skenování povrchu v reálném čase, který lze využít například při namátkové kontrole)
- konektivitu (možnost sdílení Vašich výstupů s kolegy, propojení zařízení s tabletem umožňuje provádět měření kdekoliv)
- příčiny kontaminace (informace o znečištění povrchu předmětu mastnotou ve formě obrazových dat, ze kterých lze snadno zjistit příčinu kontaminace)
- optimalizace procesů (z výstupních dat lze zjistit, zda jsou Vaše procesy nastaveny optimálně či nikoliv)

- procházení snímků (pomocí přehledného prohlížeče spravujeme pořízené snímky např. zvýrazněním kritických míst, plošné koncentrace znečištění, hodnoty fluorescence, tloušťky vrstvy aj.) [26]



Obrázek 28 Zařízení Recognoil [26]

5.2 Detekce mastnoty pomocí inkoustů

Tento způsob je velmi rychlý a snadný, jak zjistit znečištěný povrch avšak pouze orientačně. V sadě jsou 3 typy inkoustů:

- inkoust A indikuje $0,1 \text{ g.m}^2$ a méně,
- inkoust B indikuje $0,01 \text{ g.m}^2$ a méně,
- inkoust 3 indikuje $0,001 \text{ g.m}^2$ a méně;

Na zkoumaný materiál je nanášena pomocí štětečku inkoust, začíná se inkoustem A. Pokud je hned vidět znečištění, musí se odmašťování opakovat a pokud nevykazuje testované místo žádné poškození, aplikujeme inkoust B a nakonec inkoust C.

Čára, která zůstane v původním tvaru nanášeného množství na materiál, vykazuje maximální zbytkové znečištění mastnotou v g/m^2 . Naopak na mastném neočištěném materiálu se nanášená čára zkapalní (roztrhá).

Na vzorcích 1-15 je spodní část vzorku opracovaná danou technologií a vrchní polovina zůstala zamaštěná. Pomocí inkoustů se může posoudit pouhým okem, kde je povrchová úprava řádně provedena.



Obrázek 29 Typy inkoustů

6 Shrnutí jednotlivých technologií

Tryskání

Tryskáním se opracovává povrch materiálu působením tryskacího zařízení. Tryskací prostředek je přiveden na povrch materiálu stlačováním vzduchu, metacím kolem nebo tlakováním vody.

Výhodou tryskání je perfektní očištění nečistot z povrchu, vysoká přilnavost barev, odstranění starých nátěrů, odstranění koroze a především zdrsnění.

Hlavní z nevýhod je však zvýšená prašnost, kvůli které je nutné odsávání a v neposlední řadě je velmi zvýšená hlučnost.

Odmašťování

Tato technologie je nepostradatelnou součástí procesu na finální čistotu povrchu materiálu. Cílem je odstranění mastných nečistot na povrchu.

Mezi hlavní výhody je odstranění nežádoucí mastnoty.

Nevýhodou odmašťování je velmi zdoluhavý proces a musí se dbát na dodržování bezpečnosti práce.

Laserové čištění

Laserové čištění je nová technologie zdokonalovaná v posledních 50-ti letech. Tato technologie povrchové úpravy odstraňuje zbytky povlaků a nečistot z povrchu základního materiálu. Laser kompenzuje agresivní a zdraví škodlivá čisticí rozpouštědla, chemikálie a abrazivní média.

Hlavní výhodou laserového čištění je šetrnost k životnímu prostředí, bezdotykový kontakt s čištěnou plochou materiálu, dokonalé očištění, spolehlivost a dlouhou životnost.

Značnou nevýhodou se však staví do popředí pořizovací cena. Bohužel se nesmí pominout návratnost a stabilitu.

7 Praktická část

7.1 Úvod experimentu

Cílem tohoto experimentu je porovnat účinnost technologií předúprav povrchu. Připravené vzorky byly předupraveny tryskáním, odmašťováním a laserovým čištěním. Účinnost očištění byla vyhodnocována metodami UV detekce a inkousty.

7.2 Materiál vzorků

Charakteristika

Materiál vzorků S355J0 (11 523) je nelegovaná konstrukční jemnozrná jakostní ocel vhodná ke svařování.

Tabulka 5 Srovnání se zahraničními normami

| | |
|-------------|---------------------|
| DIN | St52-3 |
| EN 10027-1 | S355J0 |
| EN 10027-2 | 1.0553 Fe510C1 17GS |
| EN 10025:90 | 1.0553 Fe510C1 |
| GOST | 17GS |

Tabulka 6 Chemické složení

| | |
|----|------------------|
| C | maximálně 0,2% |
| Mn | maximálně 1,6% |
| Si | maximálně 0,755% |
| P | maximálně 0,2% |
| S | maximálně 0,045% |
| Al | maximálně 0,015% |

Tabulka 7 Mechanické složení

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Pevnost v tahu R _m | 510 – 680 MPa |
| Mez kluzu Re min. | 355 MPa |
| Tažnost A ₁₀ min. | 22 % |

Pro experiment bylo připraveno 15 vzorků (15x10 cm), které po očištění a následném zamaštění byly testovány na zbytkové zamaštění.

7.3 Příprava vzorků

Čištění probíhalo v několika krocích a to:

- ultrazvukové čištění, pro které byl použit prostředek Simple Green v poměru 1:10, vzorky se čistily 10 min a následně byly osušeny,



Obrázek 30 Ultrazvukové čištění

- moření, které probíhalo ponorem do kyseliny chlorovodíkové v poměru 1:10. Každý vzorek byl v roztoku 5 min., jelikož po vytáhnutí vzorků a usušení začala probíhat koroze, musel být použit Inhibitor, který působí proti korozím a zlepšuje jeho mechanické vlastnosti,



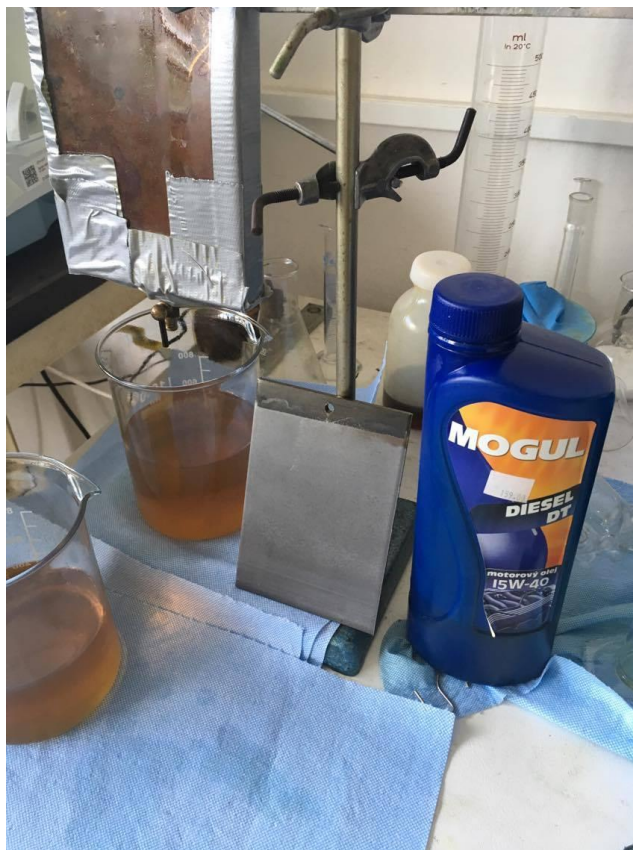
Obrázek 31 Mořicí lázeň

Vzorky byly v Inhibitoru taktéž 5 minut a po vytáhnutí okamžitě usušeny.

Tabulka 8 Inhibitor

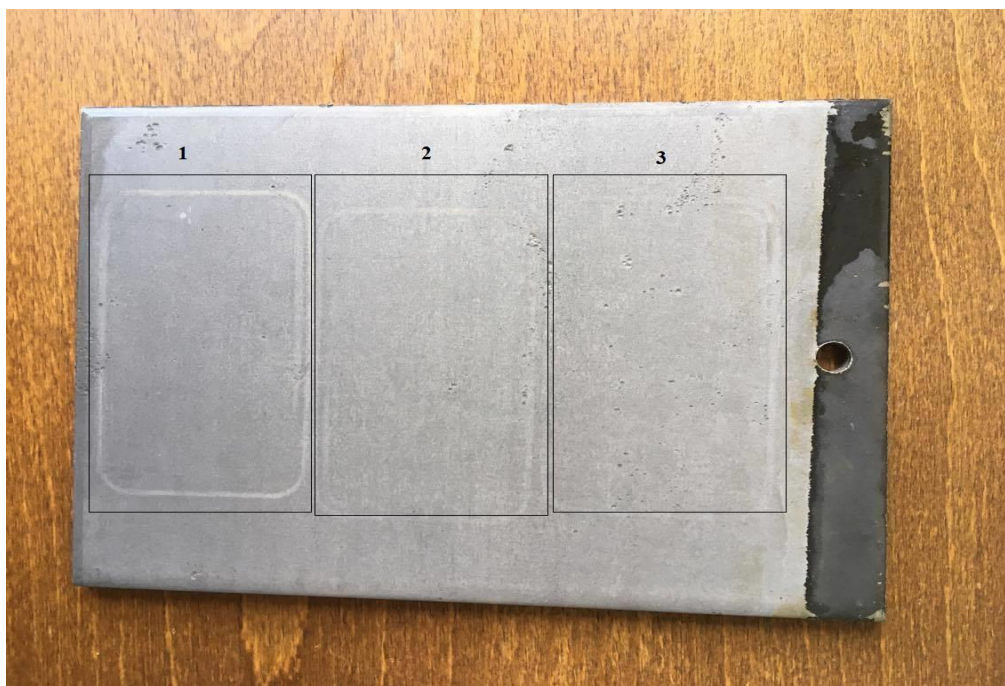
| PRAGOR 0 170 (alternativa h. KOR INHIBITOR51) | |
|---|-------------|
| Dávkování | 0,5 – 1,5 % |
| Doba pasivace | 2 – 15 min |

- zamaštění probíhalo, jakmile byly všechny vzorky očištěny, poté byly všechny zamaštěny roztokem oleje v technickém benzínu. Vzorek byl zavěšen na háček a vložen do nádoby, kam se vlil roztok a nechal se postupným odkapáváním vypustit. Všechny vzorky byly připravovány stejně, aby zamaštěný povrch byl totožný.



Obrázek 32 Zmaštění (metoda odkapávání)

Po přípravě všech 15-ti vzorků byly zmaštěné plochy detekovány. Každý vzorek byl nasnímaný na 3 místech zařízením Recognoil. Na obrázku číslo 33 jsou znázorněna místa zaznamenaná zařízením Recognoil.



Obrázek 33 Pozice snímané zařízením Recognoil

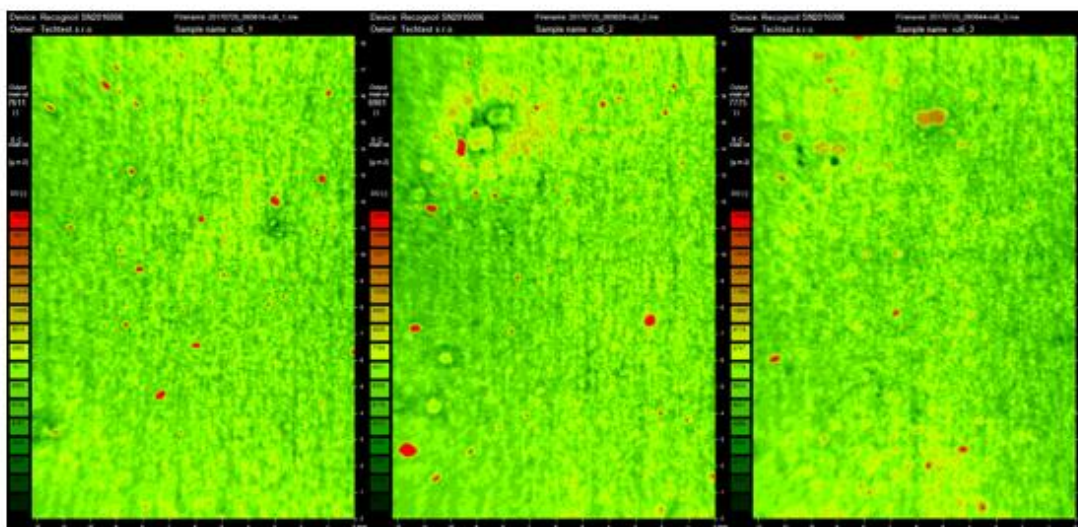
8 Vyhodnocení výsledků zařízením Recognoil

Zařízení Recognoil se přitiskne ke zkoumanému materiálu a nasnímá do počítače záznam znečištění. Vzorky byly měřeny ve třech pozicích, první snímek (vlevo) ukazuje dolní polovinu vzorku, druhý snímek (uprostřed) znázorňuje přechod mezi jednotlivou technologií a poslední snímek (vpravo) by měl ukazovat stejnou hodnotu zamaštění, jelikož se na ní daná technologie neprováděla.

Technologie tryskání

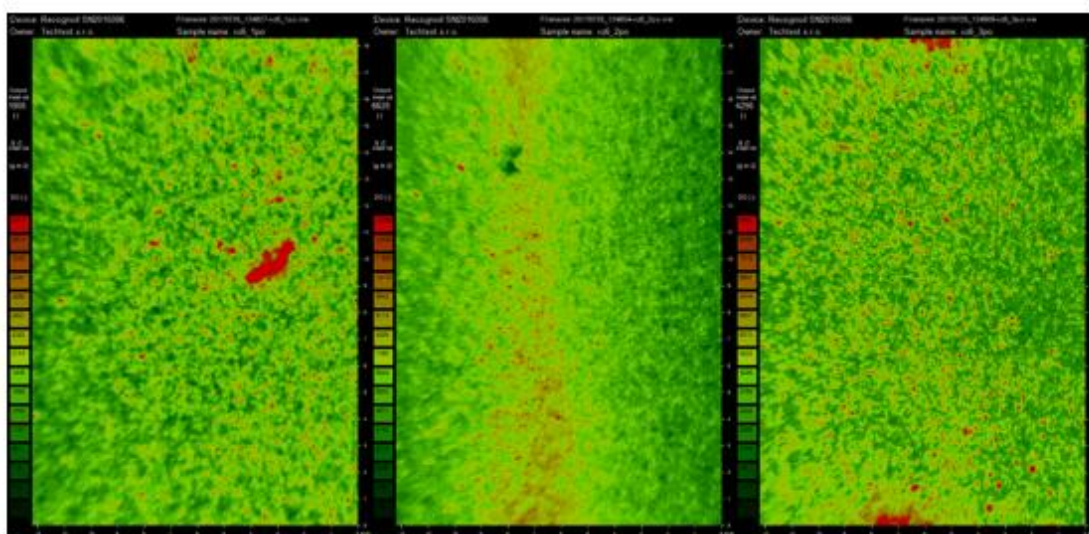
Vzorek číslo 6

- před tryskáním



Obrázek 34 Vzorek po zamaštění před tryskáním

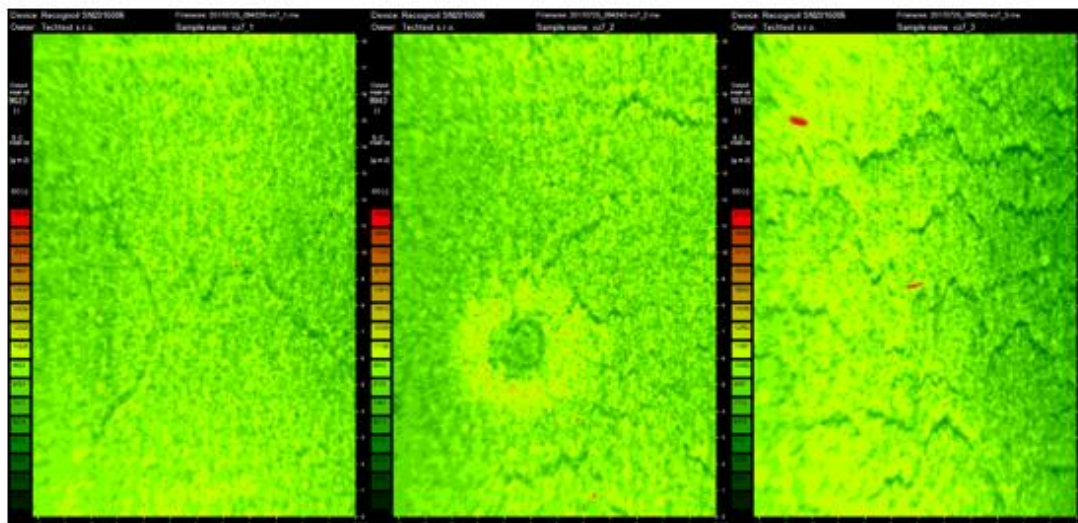
- po tryskání



Obrázek 35 Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

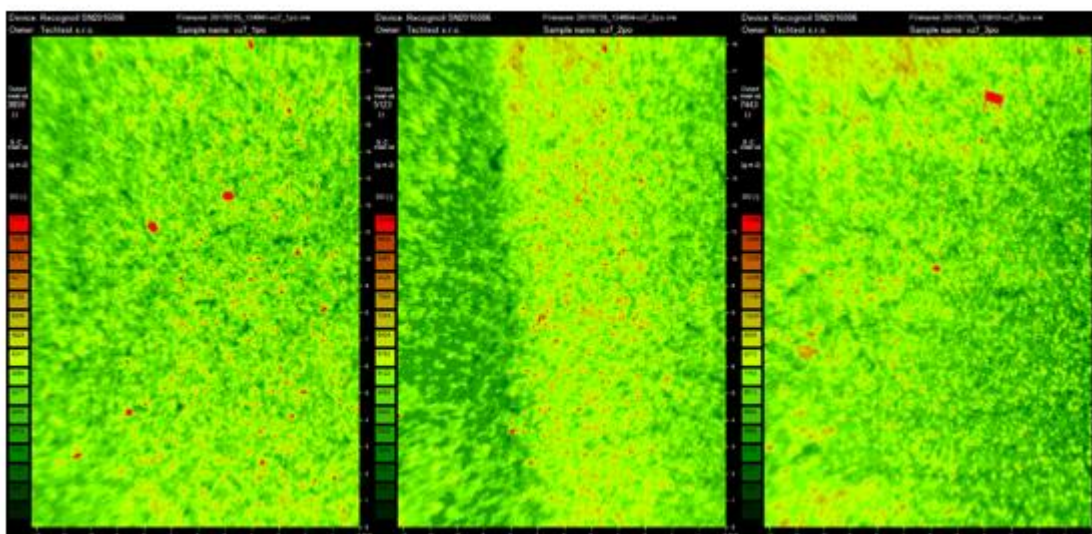
Vzorek číslo 7

- před tryskáním



Obrázek 36 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním

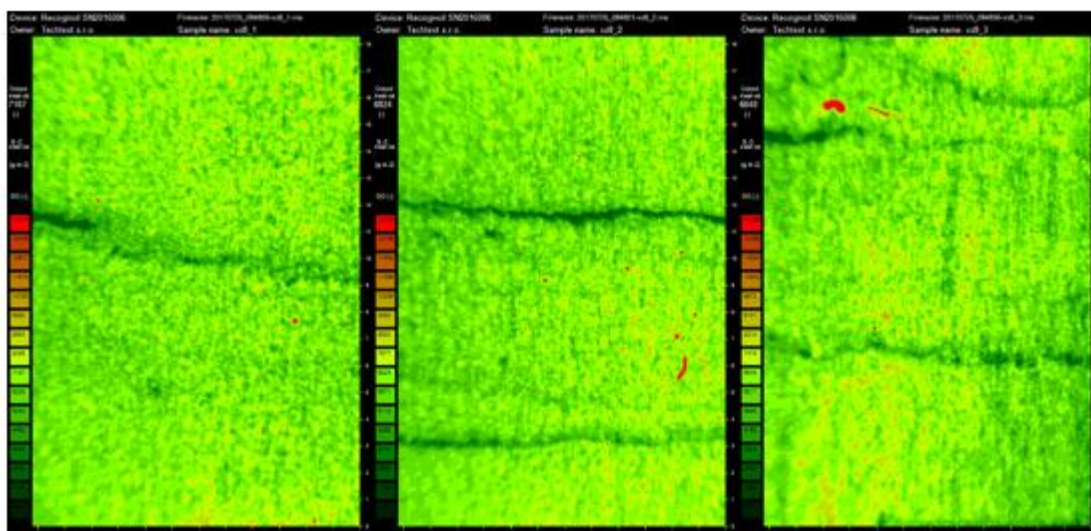
- po tryskání



Obrázek 37 Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

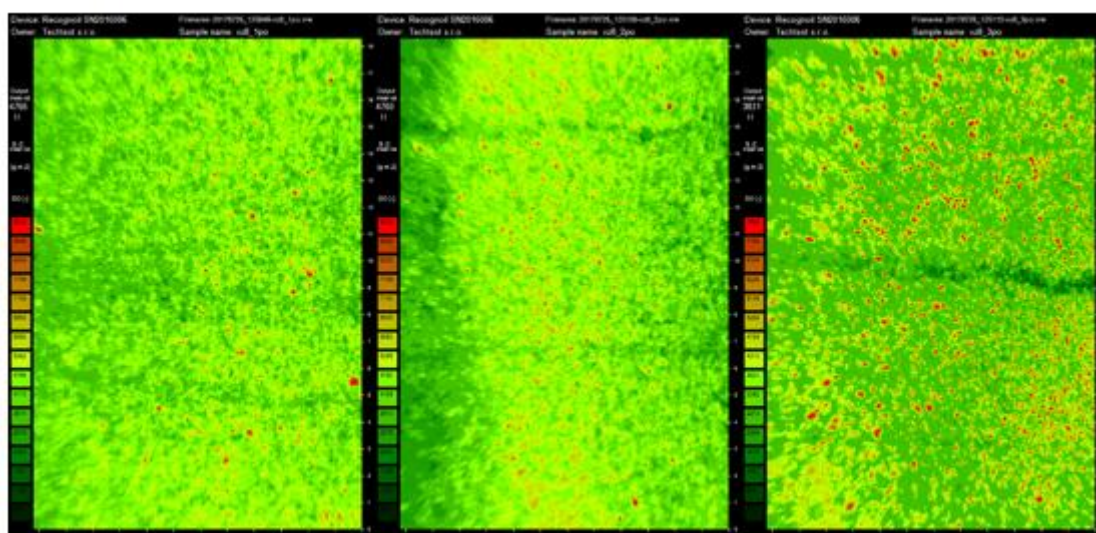
Vzorek číslo 8

- před tryskáním



Obrázek 38 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním

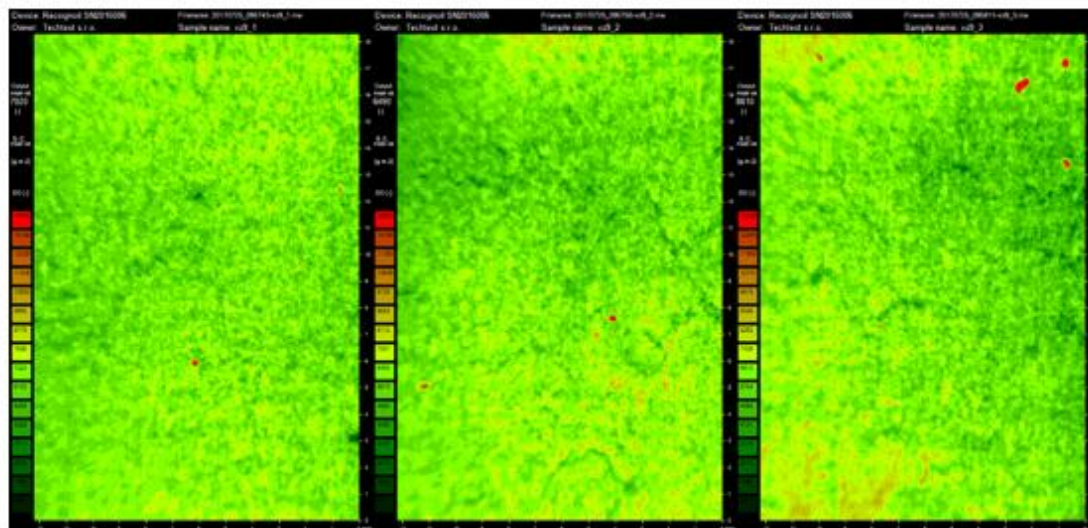
- po tryskání



Obrázek 39 Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

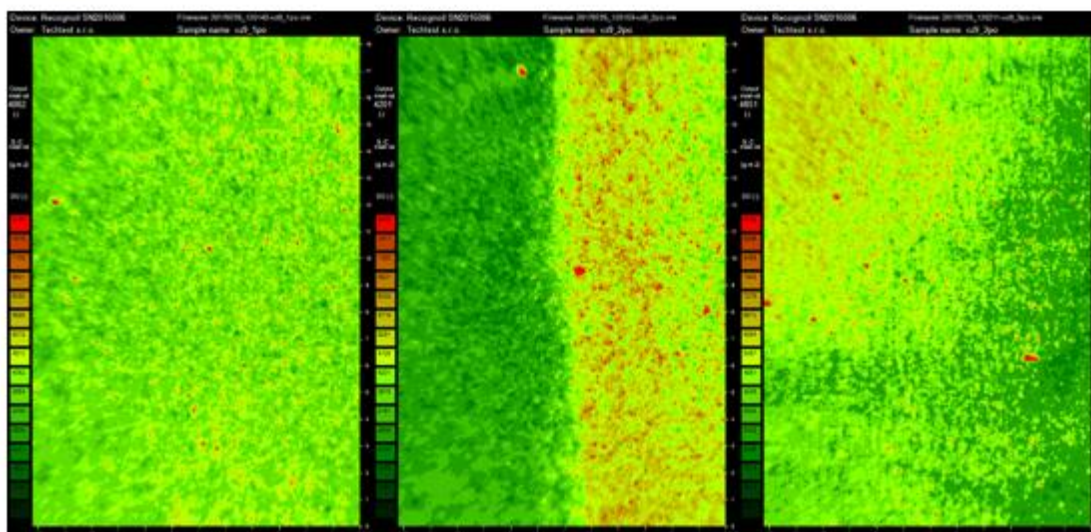
Vzorek číslo 9

- před tryskáním



Obrázek 40 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Reconoil před tryskáním

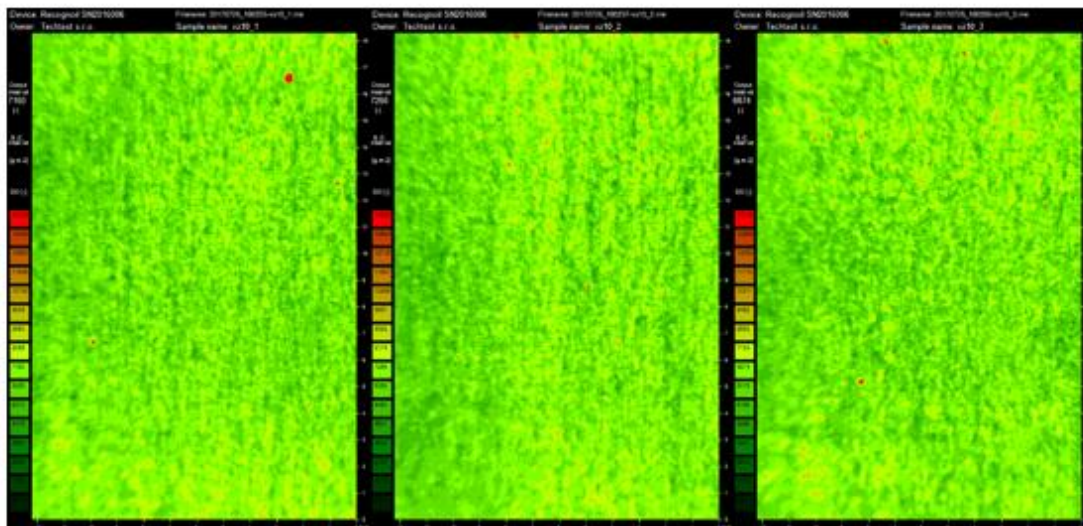
- po tryskání



Obrázek 41 Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

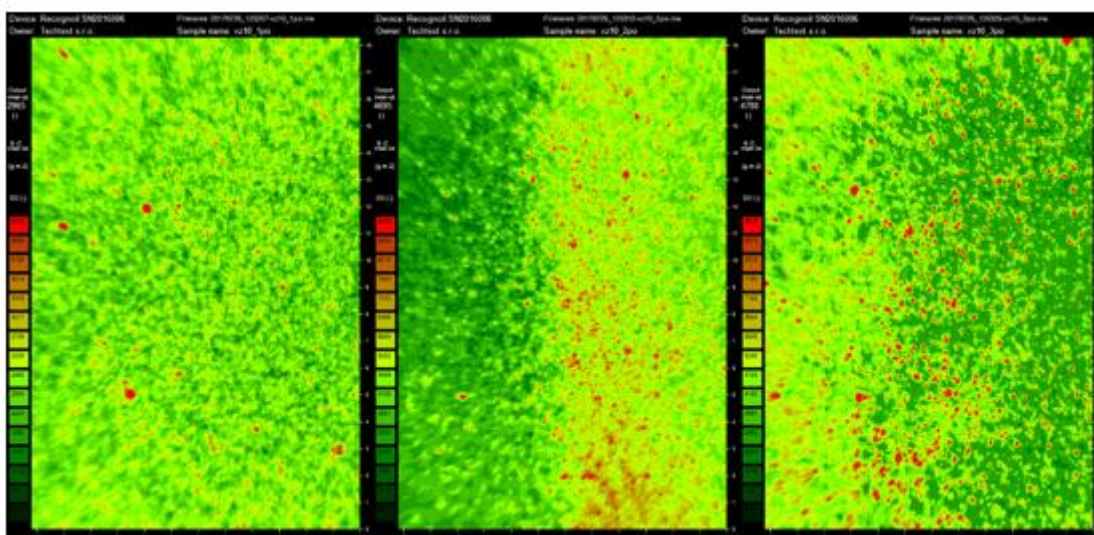
Vzorek číslo 10

- před tryskáním



Obrázek 42 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním

- po otryskání

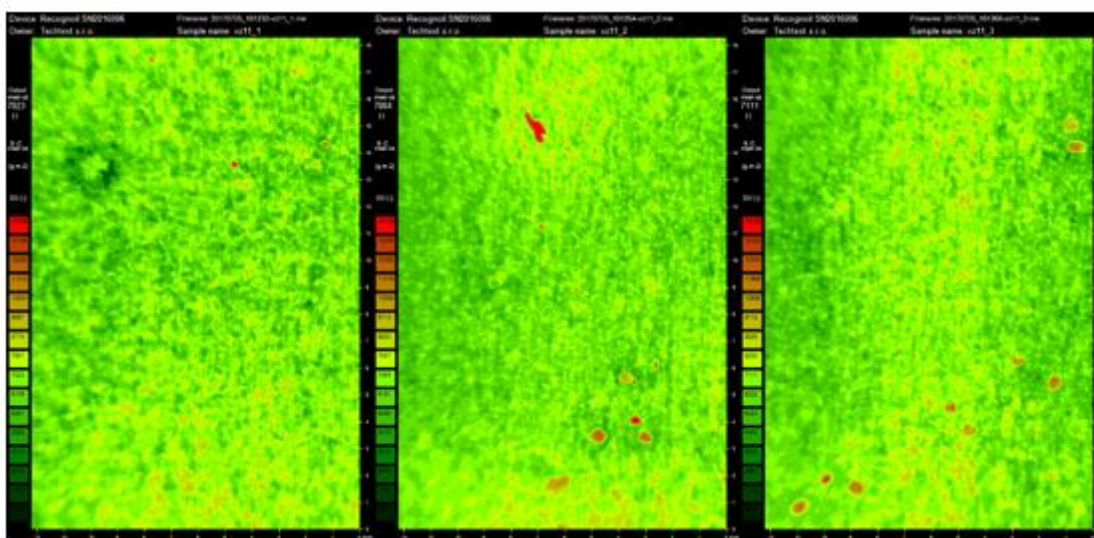


Obrázek 43 Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

Technologie odmašťování pomocí ultrazvuku

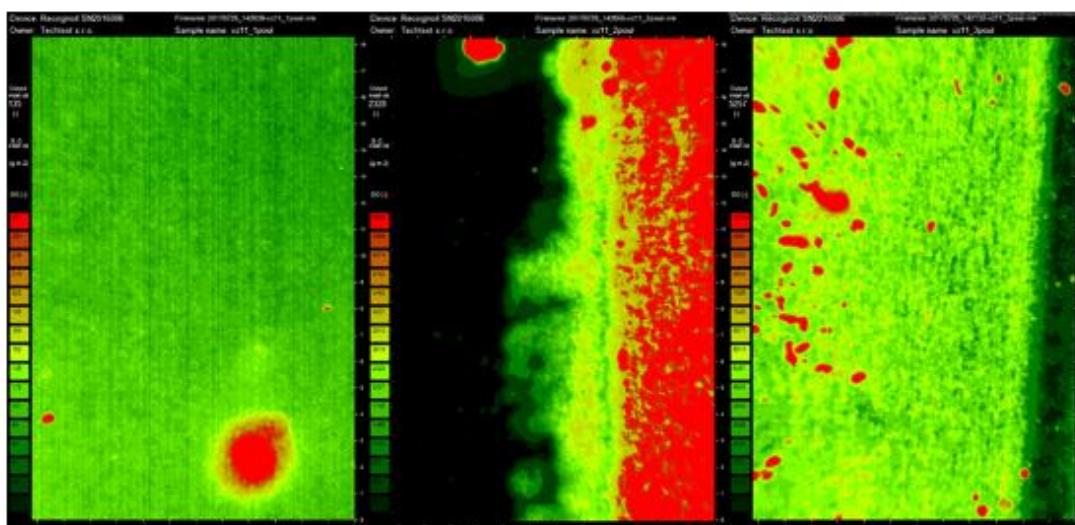
Vzorek číslo 11

- před odmaštěním



Obrázek 44 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před odmašťováním

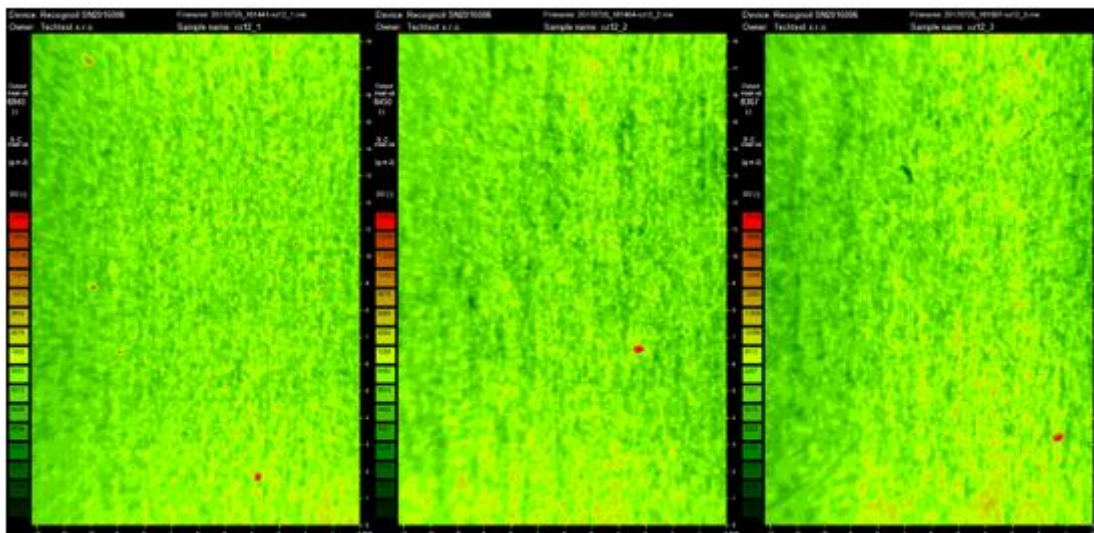
- po odmaštěním



Obrázek 45 Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

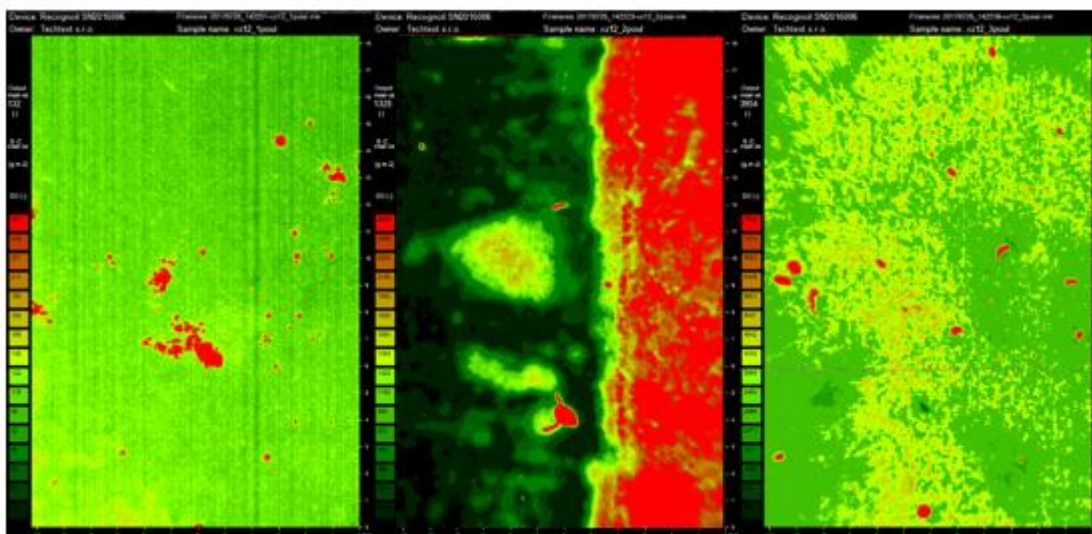
Vzorek číslo 12

- před odmaštěním



Obrázek 46 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před odmašťováním

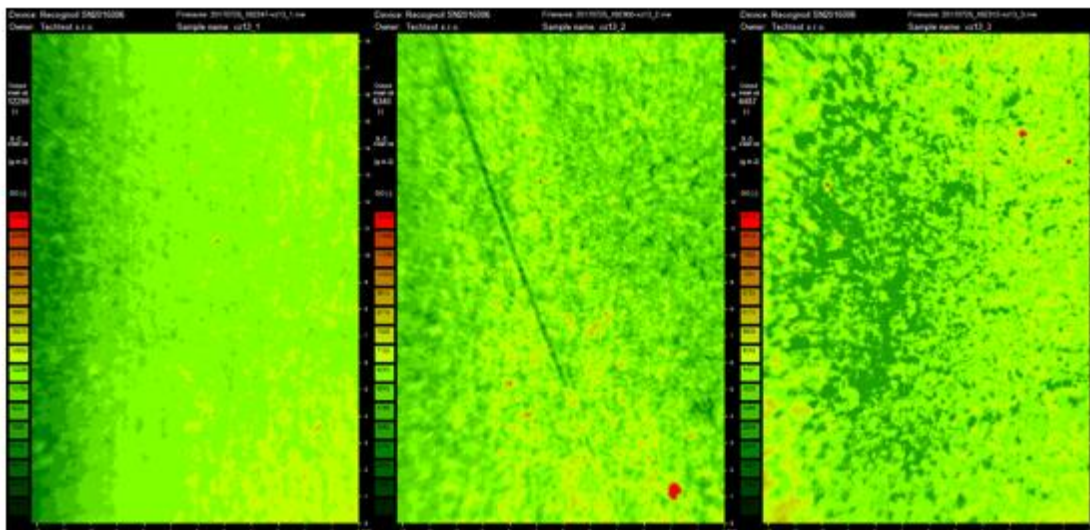
- po odmaštěním



Obrázek 47 Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

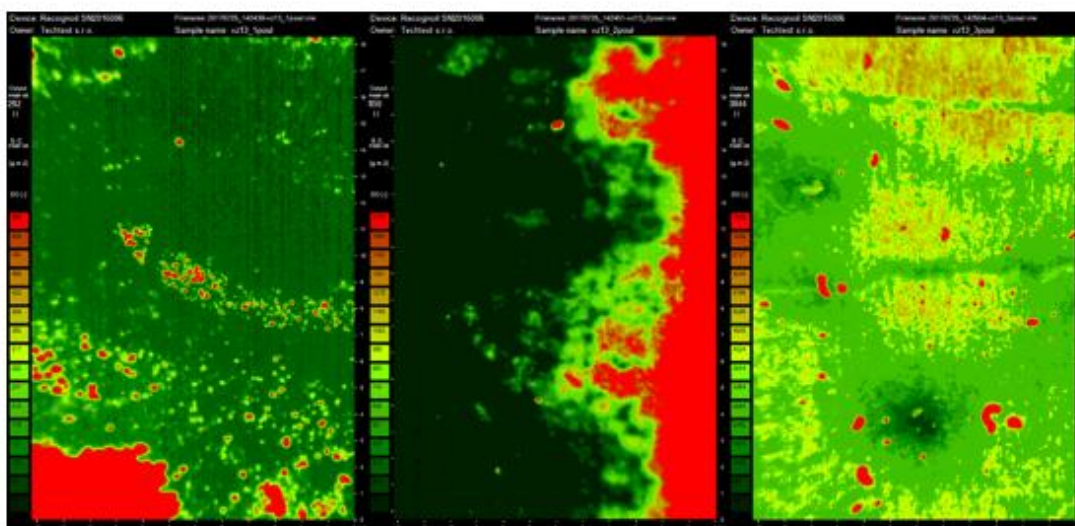
Vzorek číslo 13

- před odmaštěním



Obrázek 48 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Reconoil před odmašťováním

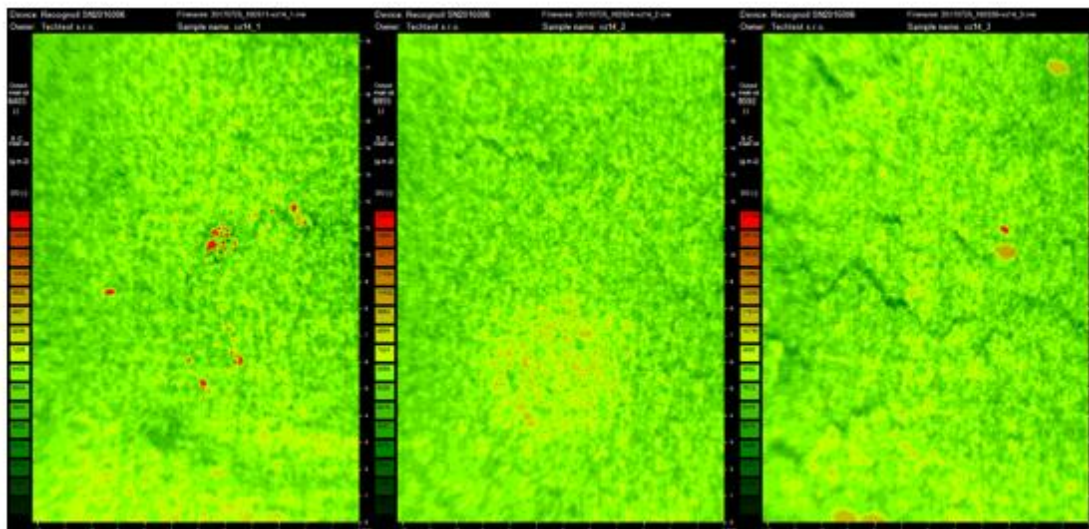
- po odmaštění



Obrázek 49 Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

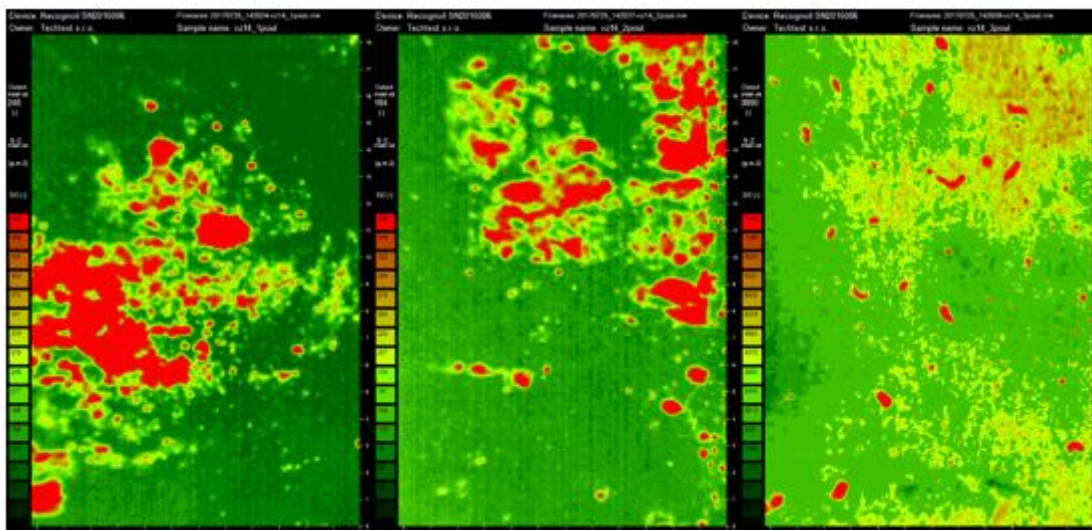
Vzorek číslo 14

- před odmaštěním



Obrázek 50 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Reconoil před odmašťováním

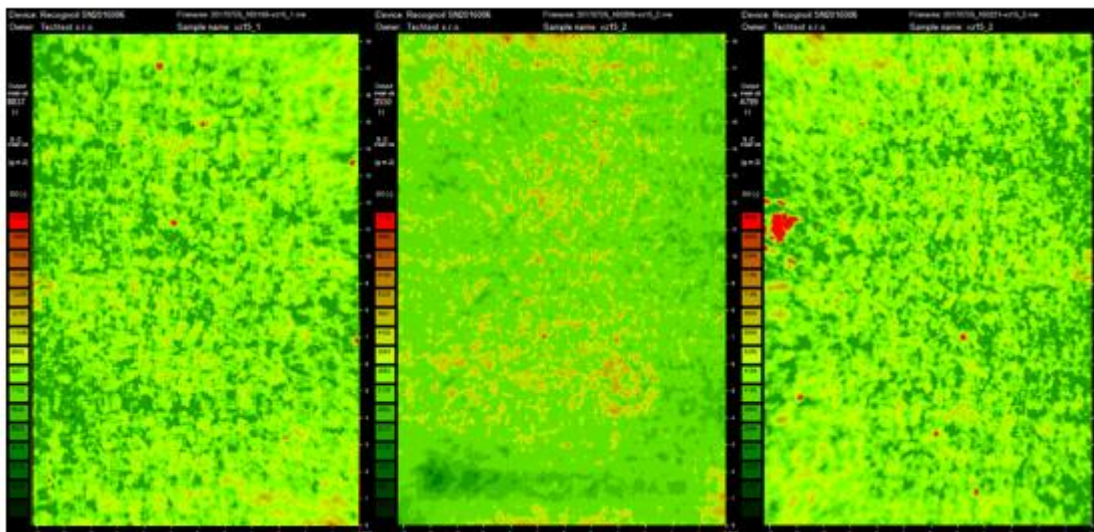
- po odmaštěním



Obrázek 51 Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

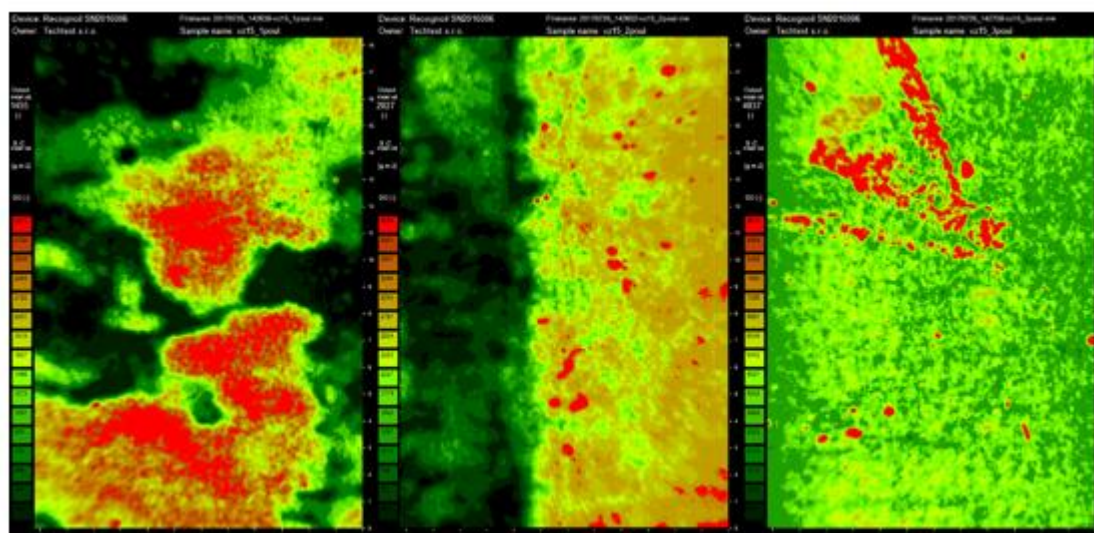
Vzorek číslo 15

- před odmaštěním



Obrázek 52 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Reconoil před odmašťováním

- po odmaštění

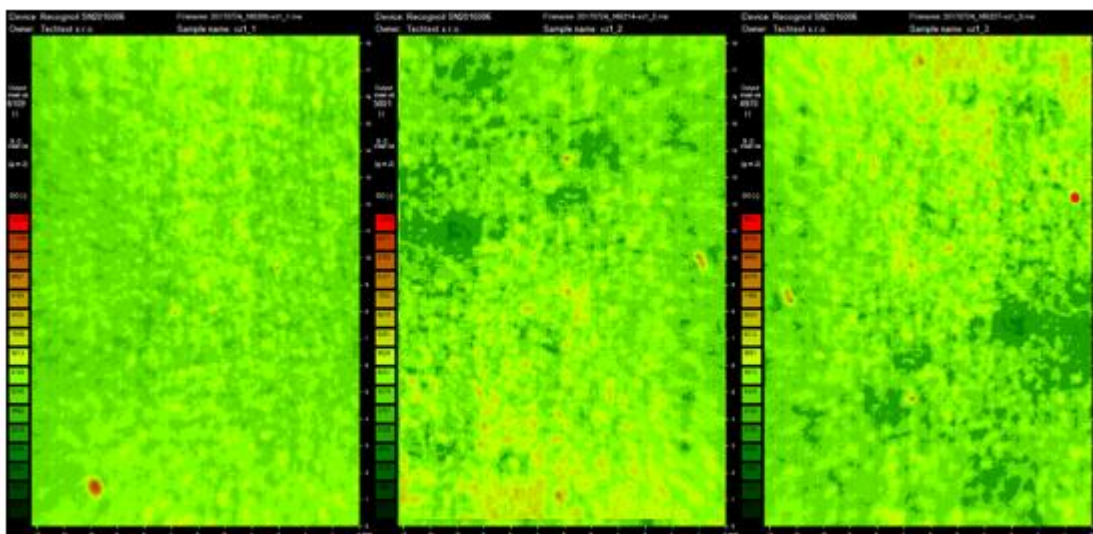


Obrázek 53 Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

Technologie čištěním laserem

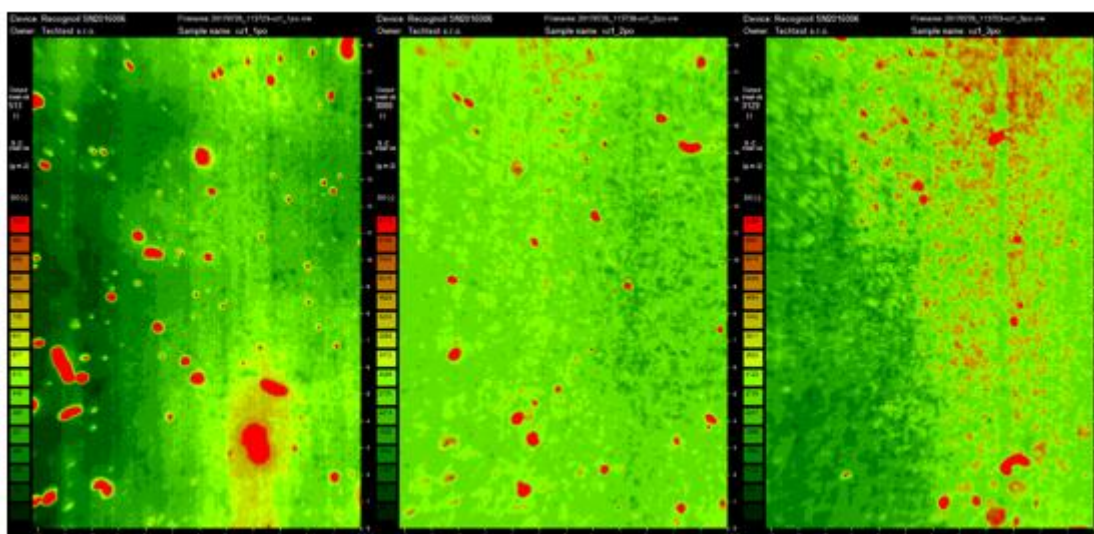
Vzorek číslo 1

- před čištěním laserem



Obrázek 54 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem

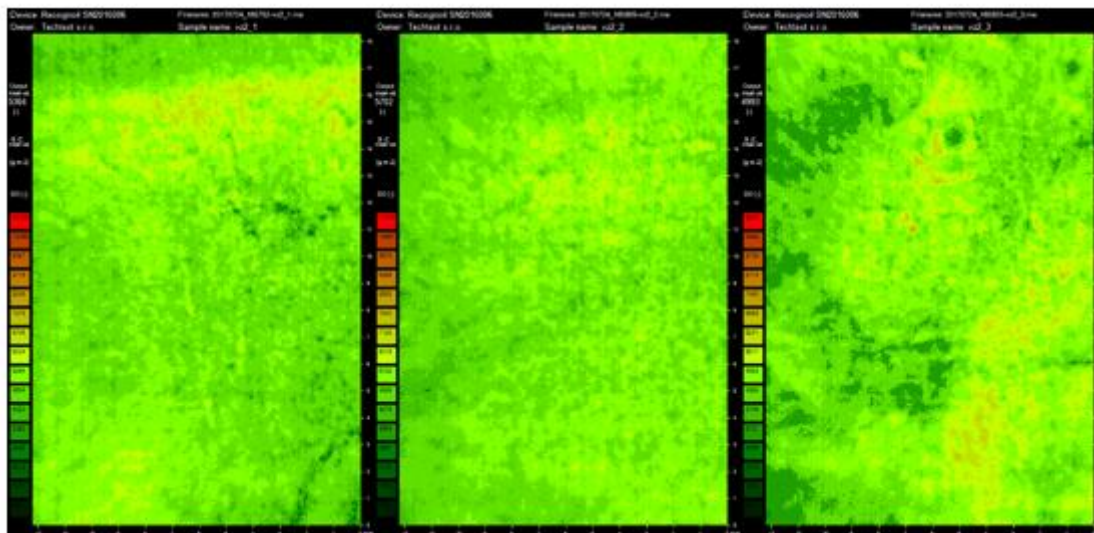
- po čištění laserem



Obrázek 55 Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

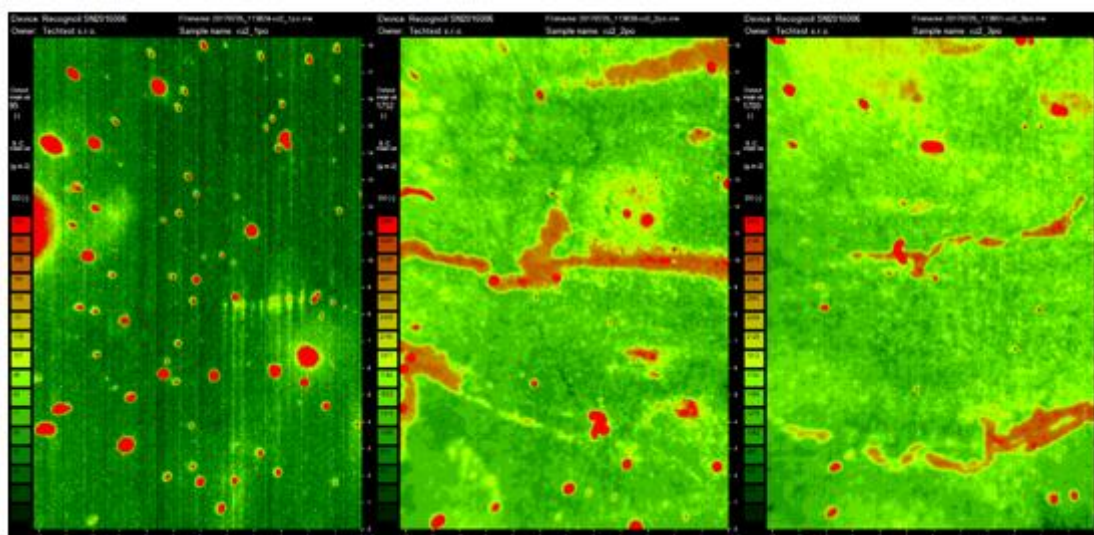
Vzorek číslo 2

- před čištěním laserem



Obrázek 56 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem

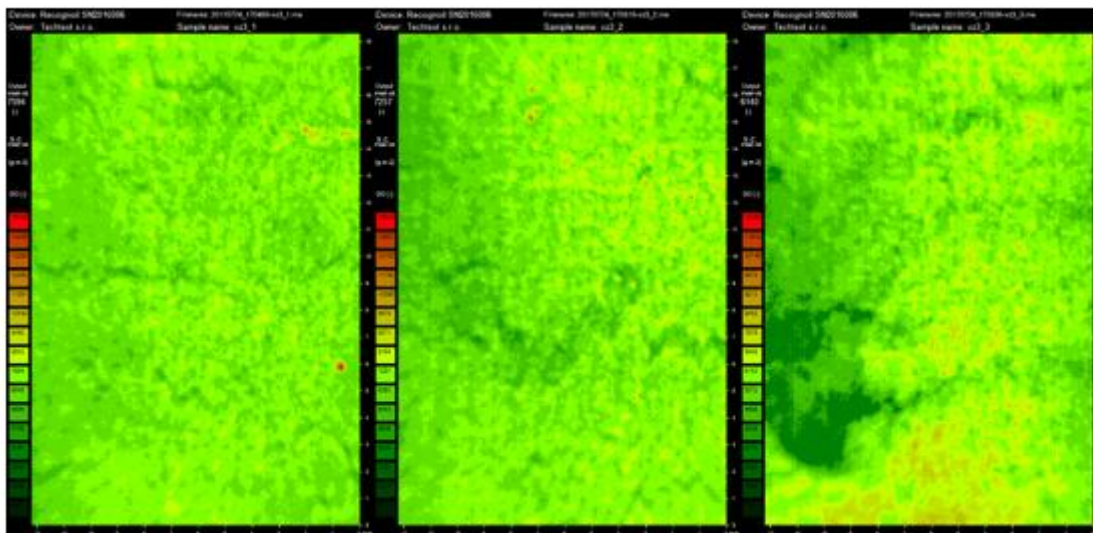
- po čištění laserem



Obrázek 57 Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamažená pozice číslo 3 (vpravo)

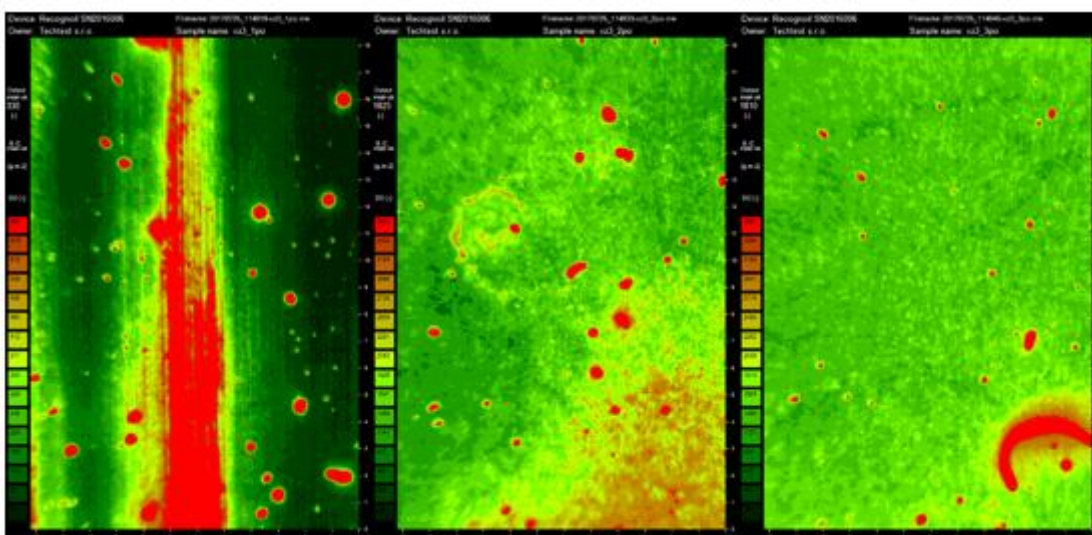
Vzorek číslo 3

- před čištěním laserem



Obrázek 58 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem

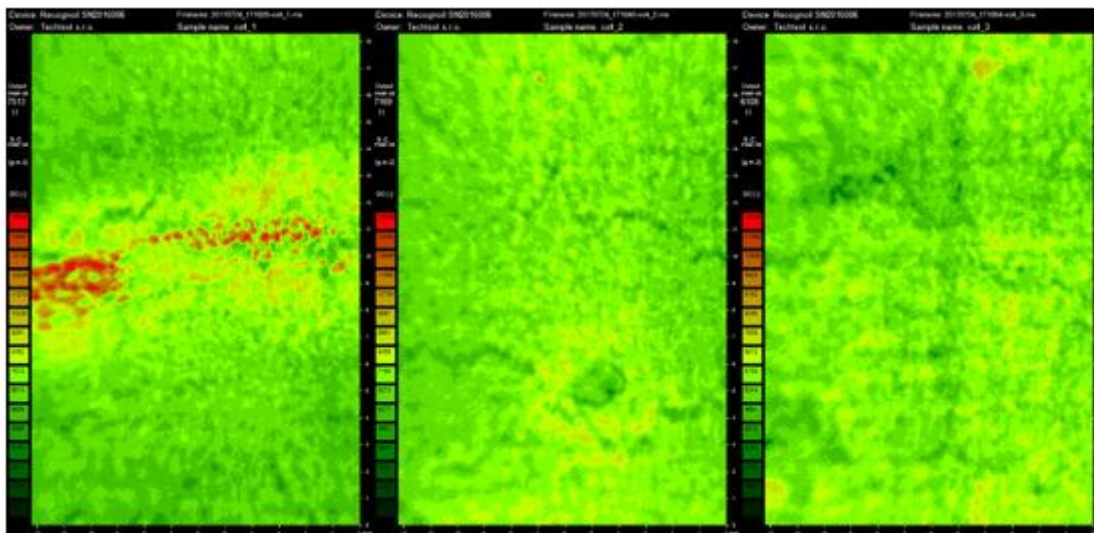
- po čištění laserem



Obrázek 59 Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

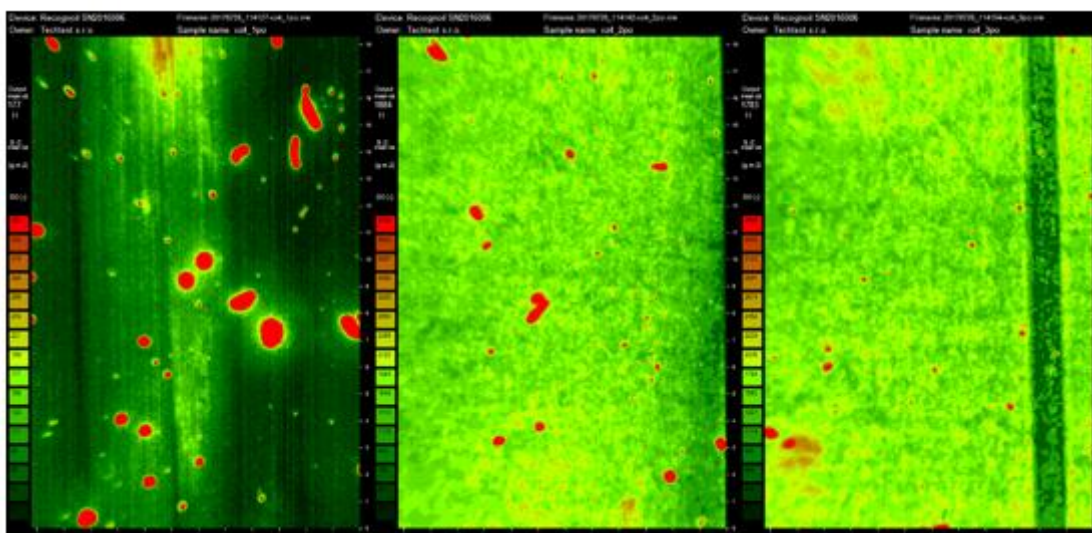
Vzorek číslo 4

- před čištěním laserem



Obrázek 60 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem

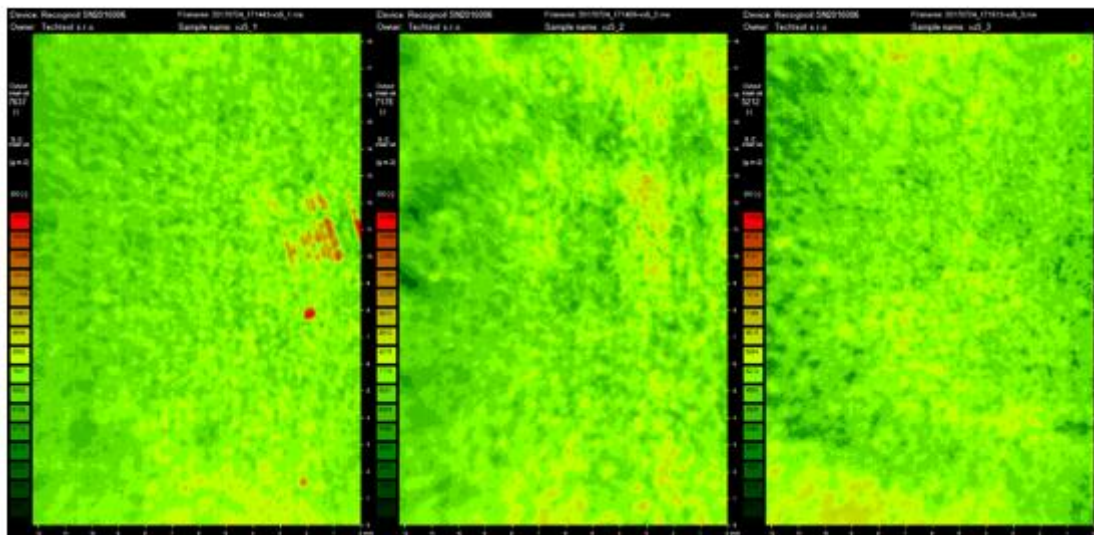
- po čištění laserem



Obrázek 61 Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)

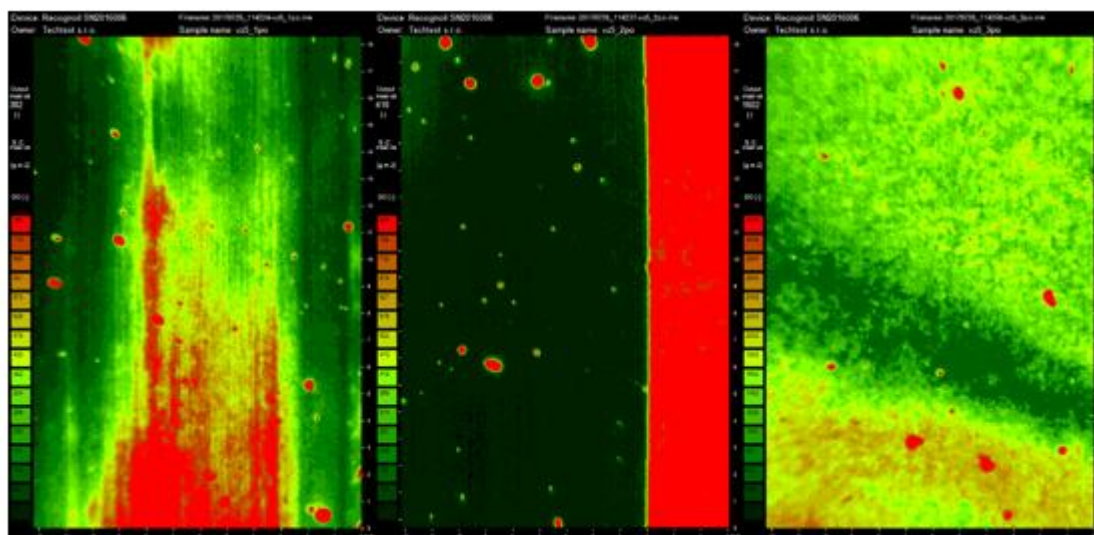
Vzorek číslo 5

- před čištěním laserem



Obrázek 62 Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem

- po čištění laserem



Obrázek 63 Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamažená pozice číslo 3 (vpravo)

V následujících tabulkách jsou zaznamenány hodnoty zamaštění před a po na každém vzorku po jednotlivé technologii.

Tabulka 9 Hodnoty zamaštění před a po tryskání

| Technologie tryskáním | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|----------|------|
| Pozice na vzorku | Vzorek | | | | | | | | | |
| | Číslo 6 | | Číslo 7 | | Číslo 8 | | Číslo 9 | | Číslo 10 | |
| | před | po | před | po | před | po | před | po | před | po |
| 1 | 7611 | 1906 | 9623 | 3859 | 7187 | 4766 | 7020 | 4062 | 7160 | 2965 |
| 2 | 6901 | 6628 | 9943 | 5123 | 6824 | 4760 | 6490 | 4201 | 7266 | 4695 |
| 3 | 7775 | 4296 | 10362 | 7443 | 6648 | 3831 | 6610 | 4851 | 6874 | 4788 |

Tabulka 10 Hodnoty zamaštění před a po ultrazvukovém čištění

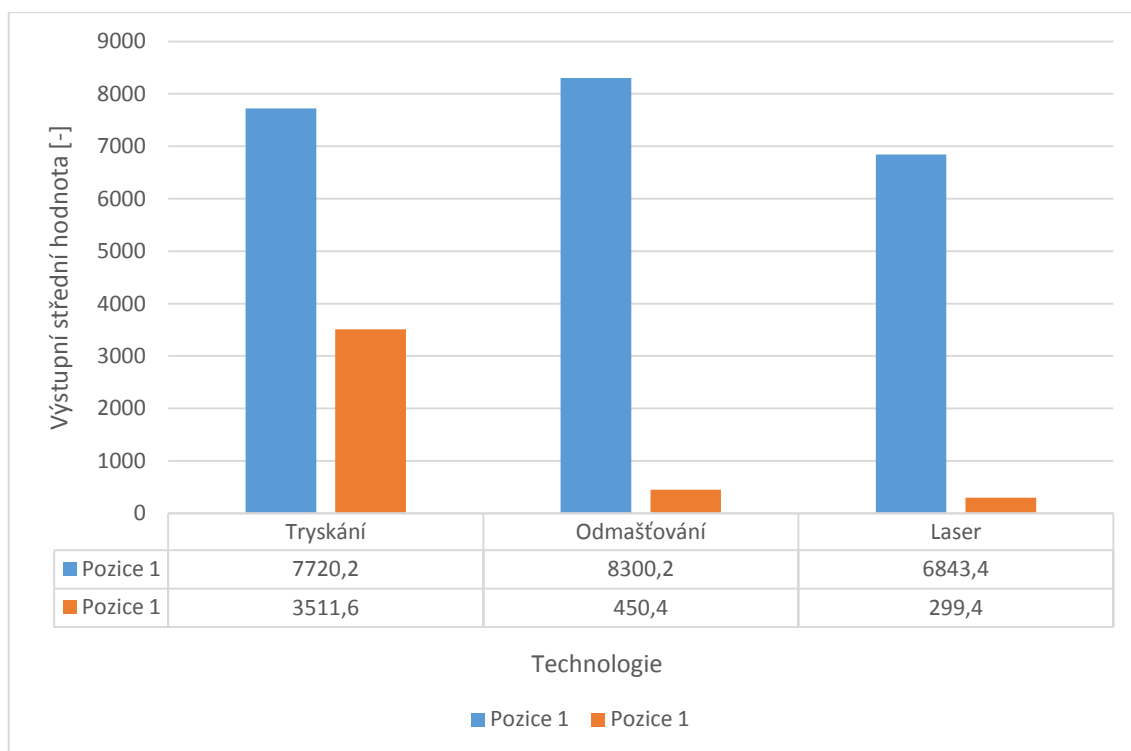
| Technologie ultrazvuk | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| Pozice na vzorku | Vzorek | | | | | | | | | |
| | Číslo 11 | | Číslo 12 | | Číslo 13 | | Číslo 14 | | Číslo 15 | |
| | před | po | před | po | před | po | před | po | před | po |
| 1 | 7023 | 135 | 6940 | 132 | 12296 | 282 | 6405 | 248 | 8837 | 1455 |
| 2 | 7064 | 2328 | 6450 | 1328 | 6340 | 850 | 6955 | 184 | 3550 | 2027 |
| 3 | 7111 | 5257 | 8367 | 3954 | 4488 | 3844 | 8592 | 3890 | 4799 | 4837 |

Tabulka 11 Hodnoty zamaštění před a po laserovém čištění

| Technologie laserem | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
| Pozice na vzorku | Vzorek | | | | | | | | | |
| | Číslo 1 | | Číslo 2 | | Číslo 3 | | Číslo 4 | | Číslo 5 | |
| | před | po | před | po | před | po | před | po | před | po |
| 1 | 6109 | 513 | 5364 | 95 | 7594 | 330 | 7513 | 177 | 7637 | 382 |
| 2 | 5001 | 3086 | 5702 | 1152 | 7257 | 1825 | 7169 | 1884 | 7178 | 418 |
| 3 | 4970 | 3129 | 4993 | 1700 | 6140 | 1810 | 6108 | 1783 | 5212 | 1602 |

Tabulka 12 Průměr zamaštěných hodnot

| Průměr zamaštěných hodnot | Pozice 1 | |
|---------------------------------|----------|--------|
| | před | po |
| Tryskání | 7720,2 | 3511,6 |
| Odmašťování | 8300,2 | 450,4 |
| Laser | 6843,4 | 299,4 |



Obrázek 64 Porovnání technologií před a po zamaštění

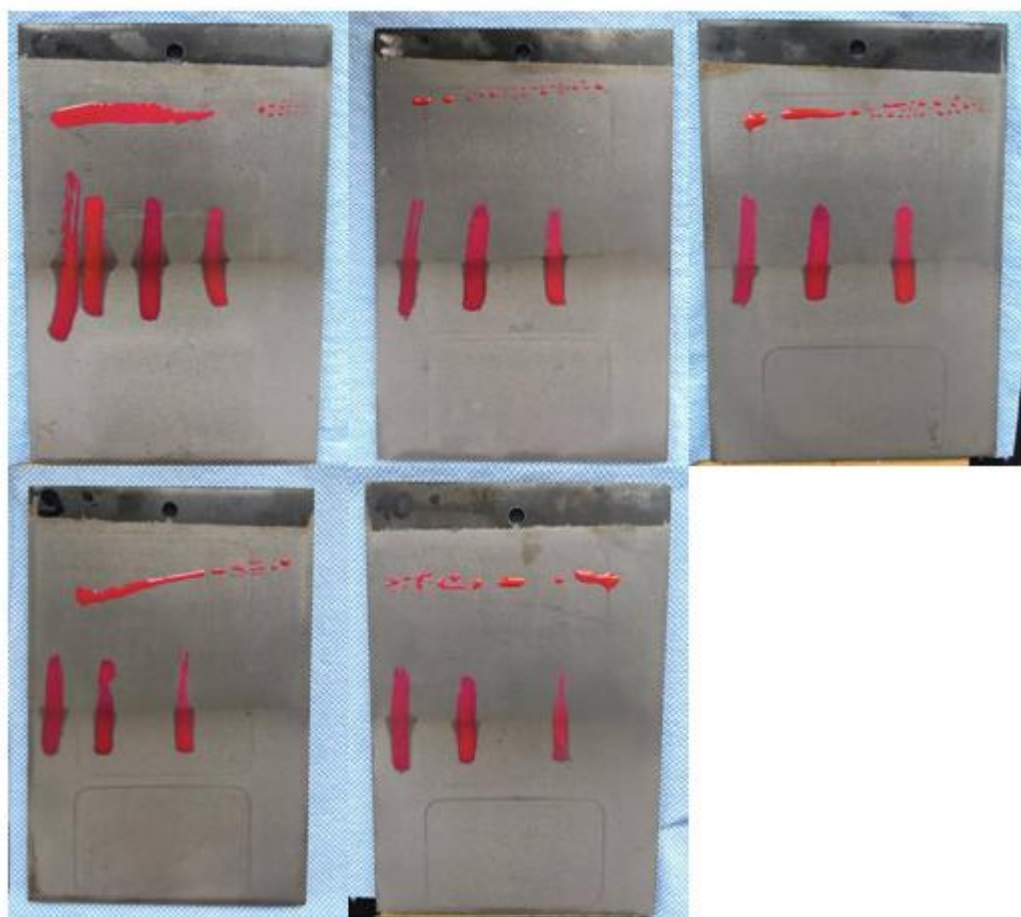
Aby bylo vidět zásadní odmaštění vzorků a tím zvolena nejlepší předúprava pro odmašťování, graficky byla znázorněna pouze pozice číslo 1 měření na vzorkách. Pozice číslo 2 (přechodová část) byla naměřena již průměrná hodnota mezi použitou předúpravou a zamaštěnou částí. A poslední pozice číslo 3 je zbytečná, jelikož na zamaštěném místě nebyla provedena žádná předúprava povrchu.

9 Vyhodnocení výsledků detekce inkoustem

Technologie tryskáním

U vzorků, které byly z poloviny tryskané, byla nanesa vrstva inkoustu A, B i C.

Vzorek číslo 6-10

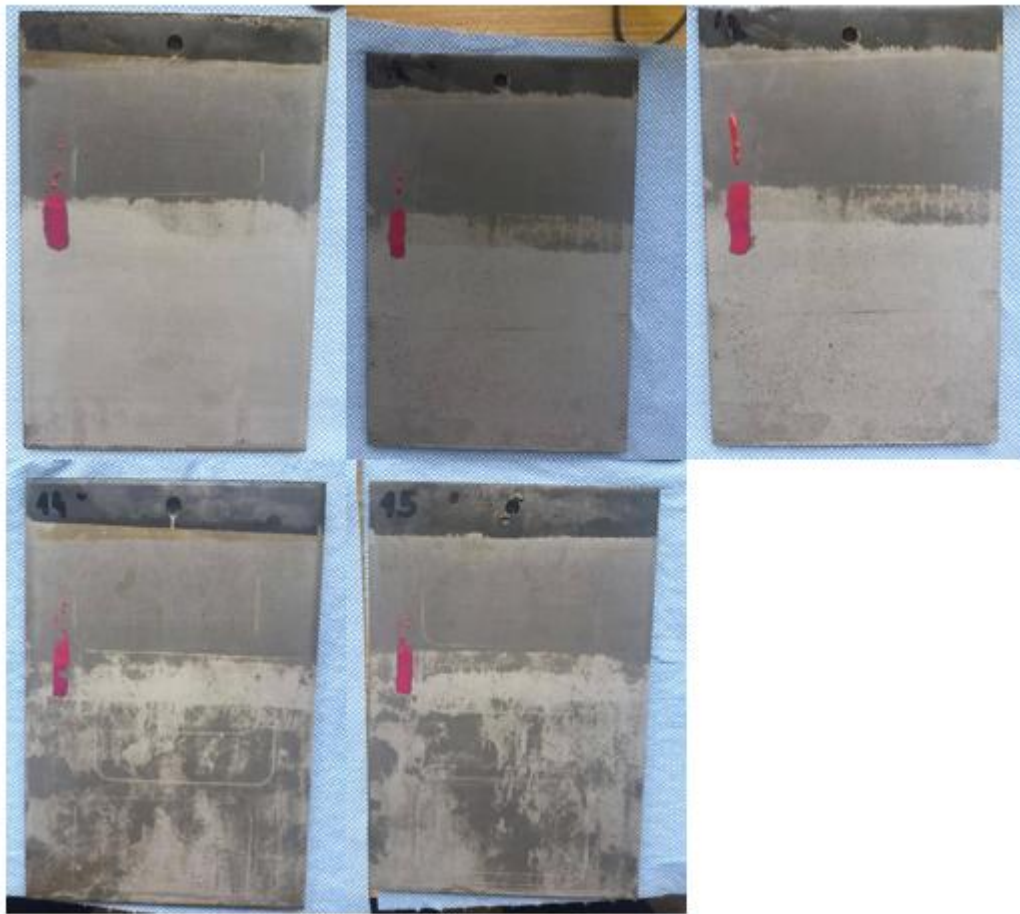


Obrázek 65 Měření zamaštění na vzorcích pomocí inkoustů Everstar

Technologie odmašťování pomocí ultrazvuku

U posledních vzorků opět stačila použít pouze vrstva inkoustu A.

Vzorek číslo 11-15



Obrázek 66 Měření zamaštění na vzorcích pomocí inkoustů Everstar

Technologie čištění laserem

U těchto vzorků byla nanесena pouze vrstva inkoustu vzorku A, jelikož byly zpozorovány okamžité změny, nemuseli jsme používat B a C.

Vzorek číslo 1-5



Obrázek 67 Měření zamaštění na vzorcích pomocí inkoustů Everstar

10 Závěr

Pro dosažení odpovídající čistoty materiálu je nutné dodržet zvýšenou pozornost při manipulaci se zkoumaným materiálem, který byl předupraven ultrazvukovým čištěním, mořením, inhibitorem a v neposlední řadě zamaštěn. Dalším kritériem pro dosažení vizuálně velmi čistého povrchu je důslednost při provádění jednotlivých technologií.

Metodou Recognoil byly vyhodnoceny aktuální výsledky detekce mastnoty na povrchu materiálu. Recognoil zařízení využívá luminiscence pro detekování mastných nečistot a jeví se jako nejlepší volbou.

Druhou metodou byl použit inkoust Everest, kterým byl okamžitě vidět rozdíl zamaštěné plochy materiálu oproti opracované části vzorku některou z technologií. Tato metoda je však pouze orientační.

Metodou tryskání se dosáhlo zdrsnění povrchu a zřídka se odstranila mastnota, příčinou je doba vrhání abraziva na tryskaný materiál. Kdyby ovšem byla nanesena nátěrová vrstva na materiál, prokázala by se nejlepší přilnavost.

Odmašťováním se značně odstranila mastnota a dosahuje tak výborné výsledky. Tato technologie však potřebuje univerzální prostředky, lázně a celkový proces je zdoluhavý.

Čištění laserem se však projevilo jako nejlepší technologie, která nejen že je ekonomicky nejvýhodnější, ale i nadmíru vyčistí povrch materiálu. Zásadní je pouze pořizovací cena zařízení a vyučená obsluha.

Bakalářská práce nastínila jen částečnou problematiku čistoty povrchu po různých technologiích. Vhodností by bylo do budoucna navázat na tuto práci a důkladněji provést měření větších rozměrů a více vzorků.

11 Zdroje

- [1] Předúpravy povrchu [online]. 2011 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z:
<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PU/teoreticke%20podklady/P%C5%99ed%C3%BApravy%20povrchu.pdf>
- [2] RENOVACE A POVRCHOVÉ ÚPRAVY [online]. 2006 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravu_kub_icek.pdf
- [3] Povrchy a jejich úpravy [online]. 2008 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z:
<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [4] KREIBICH, Viktor. Povrchové úpravy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1981.
- [5] KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-X.
- [6] HANĚK, Václav, HLUCHÝ, Miroslav Strojírenská technologie 2 - 2 díl. SCIENTIA: Praha. 2001
- [7] MAREK, Vladimír Technologie tryskání jako konečná úprava: Povrchová úprava. 2007, (2), 4 s.
- [8] NÁVODY A BEZPĚČNOSTNÍ LISTY, Metallchemie 2010
- [9] KOS, P. Technologie tryskání: Tryskací prostředky. Praha, 2008. FS ČVUT.
- [10] Popis principu tryskacího zařízení. Arch akciová společnost [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.arch.cz/principtryskacihozarizeni.html>
- [11] abraziva.cz; Aplikace abraziv na povrchy. Dostupné z: <http://www.abraziva.cz/info/> dne [19.6.2017]
- [12] MM Průmyslové spektrum [online]. [cit. 2017-06-12]. DOI: 1212-2572. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/laser-jako-nastroj-pro-vysokorychlostni-cistení.html>
- [13] Michal Skalák; Bakalářská práce - Vliv lehkého tryskání na přilnavost povlaků z nátěrových hmot, ČVUT 2009.

- [14] Tlakový tryskací systém [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z:
<http://tryskani-piskovani.gds.cz/tryskaci-systemy>
- [15] O ULTRAZVUKU: Princip čištění ultrazvukem [online]. [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <http://www.ultrasonic-cleaner.cz/page/o-ultrazvuku/6>
- [16] HLAVNÍ TYPY LASERŮ POUŽÍVANÝCH V PRŮMYSLU: Vláknový laser [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>
- [17] Laser processing: CO₂ laser [online]. 2007 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z:
http://iconmachinetool.com/education/Library_Laser_co2_Laser.pdf
- [18] MRŇA, Libor. Základy laserové techniky. Studijní opory pro výuku předmětu: speciální metody svařování [online]. FSI VUT v Brně, 2013 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__navarovani_laserem__mrna.pdf
- [19] HPDD Laser: Vysokovýkonný diodový laser. [online]. CELAT, Západočeská univerzita v Plzni,[vid. 2017-07-22]. Dostupné z:
<laser.zcu.cz/files/pdf/HPDD%20Laser.pdf>
- [20] LASCAMS: systems [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z:
<http://www.lascam.cz/>
- [21] STEEN, W. M. Laser material processing. 3rd ed. New York: Springer, c2003. ISBN 18-523-3698-6.
- [22] SIVAKUMARA, V., F. CHANDRASEKARAN, G. SWAMINATHAN a P.G. RAO. Journal of Cleaner Production [online článek]. 24 April 2008. [cit. 2017-05-04].
- [23] Základní princip laseru a jejich dělení [online]. [cit. 2017-07-27]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [24] SVĚTLO, LASEROVÉ ZÁŘENÍ [online]. [cit. 2017-07-27]. Dostupné z:
<http://www.therapy.cz/laserove-zareni.php>
- [25] CO₂ laser [online]. [cit. 2017-07-27]. Dostupné z:
<http://www.lintech.cz/co2-laser>
- [26] Recognoil [online]. [cit. 2017-07-20]. Dostupné z:
<http://www.techtest.eu/recognoilinfoCZ.html>

12 Seznam obrázků

- [1] Kukuřičný granulát
- [2] Skořápky ořechů
- [3] Plast
- [4] SI (písek)
- [5] Granát
- [6] Multifunkce
- [7] Korund
- [8] Karbid
- [9] Balotina
- [10] Zirblast
- [11] Ocelová drť
- [12] Ocelový granulát
- [13] Nerezový granulát
- [14] Litinová drť
- [15] Princip tlakového tryskání
- [16] Princip injektorového tryskání
- [17] Tryskání metacími koly
- [18] Princip čištění ultrazvukem
- [19] Schéma rezonátoru
- [20] Vlnové délky elektromagnetického vlnění
- [21] Rozdíl zdrojů světla
- [22] Princip CO₂ laseru
- [23] Nd: YAG, diskový, vláknový a diodový laser
- [24] Výbojkami buzený Nd: YAG laser
- [25] Schéma diskového laseru
- [26] Princip vláknového laseru
- [27] Schéma diodového laseru
- [28] Zařízení Recognoil
- [29] Typy inkoustů
- [30] Ultrazvukové čištění

- [31] Mořící lázeň
- [32] Zamaštění (metoda odkapávání)
- [33] Pozice snímané zařízením Recognoil
- [34] Vzorek po zamaštění před tryskáním
- [35] Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [36] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním
- [37] Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [38] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním
- [39] Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [40] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním
- [41] Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [42] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před tryskáním
- [43] Vzorek po tryskání pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [44] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil
před odmašťováním
- [45] Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [46] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil
před odmašťováním
- [47] Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [48] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil
před odmašťováním
- [49] Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed)
a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [50] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil
před odmašťováním

- [51] Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [52] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před odmašťováním
- [53] Vzorek po odmaštění pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [54] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem
- [55] Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [56] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem
- [57] Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [58] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem
- [59] Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [60] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem
- [61] Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [62] Měření zamaštění na vzorcích pomocí zařízení Recognoil před laserem
- [63] Vzorek po laseru pozice číslo 1 (vlevo), přechod (uprostřed) a zamaštěná pozice číslo 3 (vpravo)
- [64] Porovnání technologií před a po zamaštění
- [65] Měření zamaštění na vzorcích pomocí inkoustů Everstar
- [66] Měření zamaštění na vzorcích pomocí inkoustů Everstar
- [67] Měření zamaštění na vzorcích pomocí inkoustů Everstar

13 Seznam tabulek

- [1] Dělení tryskacích prostředků dle materiálu
- [2] Volba abraziva dle aplikace
- [3] Porovnání nákladů
- [4] Základní přehled průmyslových laserů
- [5] Srovnání se zahraničními normami
- [6] Chemické složení
- [7] Mechanické složení
- [8] Inhibitor
- [9] Hodnoty zamaštění před a po tryskání
- [10] Hodnoty zamaštění před a po ultrazvukovém čištění
- [11] Hodnoty zamaštění před a po laserovém čištění
- [12] Průměr zamaštěných hodnot