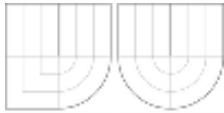


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV
METROLOGIE A ZKUŠEBNICTVÍ



FAKULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF METROLOGY AND QUALITY
ASSURANCE TESTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kontrola povrchových vad broušených povrchů

AUTOR PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE

Bc. Martin Novák

doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na rozbor stávajících metod použitelných pro detekci povrchových vad broušených povrchů. Rovněž navrhuje a prakticky ověřuje nové metody detekce povrchových vad broušených povrchů.

Abstract

This diploma is focused on analyse existing method usable for detection surface defects of grindling surface. Also suggests and practically testing new method for detection surface defects of grindling surface

Klíčová slova

Povrchové vady, obrábění povrchu, detekční metody, laser

Key Words

Surface defects, surface machining, detection methods, laser

Bibliografická citace dle ČSN ISO 690

NOVÁK, M. *KONTROLA POVRCHOVÝCH VAD BROUŠENÝCH POVRCHŮ*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně. Při vypracování diplomové práce jsem respektoval ustanovení předpisů pro diplomové práce a jsem si vědom toho, že v případě jejich nedodržení nebude moje diplomová práce vedoucím diplomové práce přijata.

V Brně dne

.....

podpis

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování diplomové práce tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi, CSc. A všem, u kterých jsem našel cennou pomoc a rady při řešení problematiky. Rovněž bych chtěl poděkovat všem, kteří mne ve studiu podporovali.

Obsah

ÚVOD	- 7 -
1 HODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU KONTROLY POVRCHOVÝCH VAD.....	- 8 -
1.2 Podpovrchové vady	- 9 -
1.3 Metody obrábění povrchu	- 11 -
2 POSOUZENÍ ZNÁMÝCH METOD PRO OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ VAD	- 14 -
2.1 Vizuální kontrola	- 14 -
2.2 Kapilární (penetrační) zkoušky	- 15 -
2.3 Metody rozptylových toků	- 17 -
2.4 Metoda vířivých proudů	- 22 -
3 NÁVRH OPTIMÁLNÍ METODY PRO KONTROLU KONKRÉTNÍCH SOUČÁSTÍ-	25
-	
3.1 Vady vyskytující se na ložiskovém válečku	- 26 -
3.2 Detekce povrchových vad metodou digitálního zpracování obrazu	- 29 -
3.3 Detekce povrchových vad metodou snímání rozptylu laserového paprsku .-	32 -
3.3.1 Rubínový laser.....	- 34 -
3.3.2 Plynové lasery	- 36 -
3.3.3 Polovodičové lasery.....	- 37 -
3.3.4 Fotodetektory.....	- 38 -
3.4 Princip detekce povrchových vad metodou snímání rozptylu laserového paprsku.....	- 41 -
3.5 Praktické ověření metody detekce povrchových vad broušených povrchů metodou snímání rozptylu laserového paprsku	- 43 -
3.5.1 Provedené zkoušky	- 44 -
4 ZHODNOCENÍ.....	- 52 -
5 ZÁVĚR.....	- 53 -
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 54 -
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	- 55 -

ÚVOD

Požadavky kladené na výrobek se neustále zvyšují a to nejen z hlediska samotné přesnosti rozměrů, ale rovněž i nároků na jakost povrchu obroběných ploch. Při kontrole jakosti povrchu se detekují náhodné defekty, které se vyhodnocují za pomoci lidského zraku. Vše co člověk kdy vyrobil a vyrobí, může obsahovat vady a to jak vnitřní tak povrchové. Přítomnost vad v určitých místech výrobku může mít různou závažnost a různé důsledky jejich působení v dané oblasti. To zda-li množství vad ve výrobku je přípustné či není, je závislé na četnosti, velikosti a typu příslušných vad. Takovéto určení se dá provést pouze na základě provedené kontroly. Následně je výrobek zhodnocen ve smyslu jeho dalšího použití nebo opravy.

Kontrola povrchových vad je prováděna na funkčních plochách výrobku. Povrchové vady vyskytující se náhodně mohou v případě průchodu celým výrobním procesem znehodnotit celý výrobek a tím zvednout výrobní náklady, jako i poškodit prestiž firmy pokud by vadný výrobek obdržel zákazník. Existuje již značné množství metod pro detekci povrchových vad materiálu, bohužel jen minimum je použitelné přímo ve výrobě. Podniky, které si uvědomily důležitost takové kontroly, ji realizují za pomoci lidského zraku. Taková to v mnoha případech 100% kontrola nemusí být optimálním řešením. Hlavním záporem detekce povrchových vad lidským zrakem je subjektivnost hodnocení, rovněž i limitovaná rozlišitelnost oka při kontrole miniaturních povrchových vad.

Důvody zmiňované v předchozím odstavci vedou k vývoji zařízení a metod pro zkvalitnění detekce. Hlavním požadavkem je vysoká spolehlivost, rychlost a 100% kontrola, rovněž možnost začlenění takovéto kontroly do automatizované výroby a tím zkrátit čas potřebný na výrobu, zlepšit detekci a v neposlední řadě tím snížit výrobní náklady.

Tato práce se zabývá výhradně povrchovými vadami, popřípadě vnitřními vadami takovými, jenž se při obrábění mohou stát vadami povrchovými.

1 HODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU KONTROLY POVRCHOVÝCH VAD

Definování problému

Během dokončovacích operací dochází vlivem náhodného činitele k výskytu povrchových vad na funkčních plochách obrobku. Převážně se jedná o vady vnitřní, jenž se při dokončovacích operacích dostaly na povrch a je nezbytné aby byly včas zachyceny a nedostaly se dál do procesu výroby. Proto je třeba navrhnout metodu provádějící 100% kontrolu a která by byla spolehlivá, rychlá a schopna nasazení v provozu. Dnešní stav je takový, že tuto kontrolu vykonává lidský zrak. Ostatní metody pro detekci povrchových vad nesplňují nutnou podmínku rychlosti a schopnosti nasazení v automatickém provozu [1].

1.1 Povrchové vady

Jedná se o takové vady, jenž se vyskytují na povrchu materiálu, popřípadě jsou otevřeny k povrchu. Tyto vady lze velice dobře detekovat. V našem případě se budeme zabývat těmito vadami:

- **Trhliny**

Mohou vznikat vnitřním pnutím materiálu, ke kterým dochází při nestejném ochlazení. Například při chladnutí složitých odlitků nebo při svařování [1].

- **Bodová koroze**

Koroze je samovolné, postupné rozrušení kovů vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Může probíhat v atmosféře nebo jiných plynech, ve vodě a jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s materiálem ve styku. Toto rozrušování se může projevat rozdílně, od změny vzhledu až po úplný rozpad celistvosti [1]. K našemu problému se vztahuje

pouze bodová koroze, jenž vytváří na povrchu malé důlky a nebo dochází k „vydrolení“ zkorodovaného materiálu, čímž vznikne tzv. Lunker.

1.2 Podpovrchové vady

Výskyt těchto vad je spojován převážně s materiály vyrobenými odléváním nebo tvářením. Takovéto vady vznikají v procesu tuhnutí a významně zhoršují mechanické vlastnosti materiálu. I když je zde snaha tyto vady zcela odstranit, v praxi toho nelze nikdy dosáhnout. Příznačné pro tyto vady je jejich složitější detekce, jelikož se vyskytují uvnitř materiálu, tudíž nemohou být vizuálně detekovatelné. Ovšem tyto vady mohou dalším obráběním vystoupit na povrch materiálu, proto je nezbytné se jimi zabývat. Vnitřní vady se dělí na tyto:

- **Segregace**

Segregace je proces vzniku nerovnoměrného chemického složení ve výsledné struktuře látek při nerovnoměrném tuhnutí roztoků. Neprobíhá-li ochlazování difuzí až do rovnovážných podmínek, vzniká segregací v jedné fázi nerovnoměrné složení (ať už vlivem příměsí nebo nečistot), projevující se například v horších vlastnostech odlitků. Vyskytují se buďto mezi okraji a středy dendritů, v tomto případě hovoříme o mikrosegregacích nebo mezi částmi celého odlitku, pak se jedná o makrosegregace.

- **Dutiny**

Za dutiny jsou v odlitcích považovány převážně staženiny a bubliny. Smršťování materiálu při tuhnutí má za následek vznik staženin, což je důsledkem rozdílného měrného objemu tuhé a kapalně fáze slitiny. V určitém místě tuhnoucí slitiny dojde k uzavření části taveniny mezi již ztuhlými krystaly. Po vychladnutí dojde k poklesu objemu uzavřené taveniny a vytvoření dutiny tzv. bubliny. Pokud je taková vada otevřená k povrchu, nazýváme ji „pórem“.

Staženiny mohou zaujímat různý objem. Pokud dosahují svou velikostí rozměru dendritů jedná se o mikrostaženiny, avšak pokud jsou rozměrnější (i několik cm) nazýváme je makrosraženiny.

Bodliny jsou malé a protáhlé dutiny s hladkým povrchem, zpravidla 2-3 mm pod povrchem odlitku, ústící na povrch malými otvory. Základ pro bodliny dává kyslík a vodík, které u ocelí přecházejí z vodní páry z formy do odlitku.

Řediny vznikají jako místní nahromadění malých staženin, projevujících se zřetelně jako řídká místa v průřezu odlitkem [1].

- **Vměstky**

Nekovové vměstky v oceli jsou příčinou nebezpečných a závažných závad materiálů, jako například křehkost a celá řada různých druhů prasklin. Nekovové vměstky obsahují sulfidy nebo oxidy a vznikají v průběhu procesu tavení. Všechny druhy oceli obsahují do menší nebo vyšší míry nekovové vměstky. Druh a vzhled těchto nekovových vměstků závisí na faktorech, jako jsou druh oceli, proces tavení a rozsah tvarování, kterým ingot nebo licí pramen prochází za účelem dosažení hotového výrobku.

Vměstky mohou mít různý původ a mohou se do taveniny dostávat v celém procesu tavení a odlévání tekutého kovu.

Podle způsobu vzniku se obvykle dělí na:

- a) Vměstky exogenní, které se do kovu dostávají z vnějšku, např. erozí vyzdívky pece, licích žlabů nebo pánve nebo jako částice primární strusky, vzniklé oxidací vzdušným kyslíkem,
- b) Vměstky endogenní - tzv. vnitřní, které v kovu vznikají v důsledku metalurgických reakcí během lití nebo tuhnutí.

Vměstky jsou při teplotě lití ve stavu tuhém, tekutém nebo polotekutém. Některé mají tvar kompaktních částic, jiné tvoří především blány s malou tloušťkou, ale velkými plošnými rozměry. Některé tvoří spíše osamocené částice, jiné se shlukují do souvislejších útvarů. Některé nejsou vázány na mikrostrukturu slitiny, jiné se koncentrují především do mezizrnových prostor. Podle jejich složení se rozlišují vměstky kovové a vměstky nekovové. Nekovové vměstky jsou v odlitcích mnohem častější a jejich účinek obvykle škodlivější, než u vměstků kovových [1].

1.3 Metody obrábění povrchu

- **Broušení**

Je to dokončovací proces, který se provádí za účelem zlepšení povrchu, odstranění přebytečného materiálu a zmenšení tolerančního pole. Při tomto procesu dochází k odebrání malého množství materiálu. Dochází ke styku vysoce abrazivní látky s kovovým povrchem, což má za následek odebrání malých částíček materiálu. Tento abrazivní materiál je svou podstatou podobný písku. Při broušení vzniká intenzivní žár a proto je nezbytné použít chladicí kapalinu.

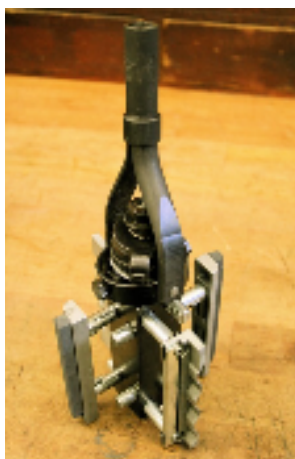
Přehled základních metod broušení

- A. Vnější broušení do kulata:
 - a) s podélným posuvem,
 - b) s příčným posuvem,
 - c) s kotoučem nastaveným na rozměr,
 - d) krokové,
 - e) bezhroté.
- B. Vnitřní broušení do kulata:
 - a) bezhroté.
- C. Broušení na plocho:
 - a) obvodem brusného kotouče,
 - b) čelem brusného kotouče.

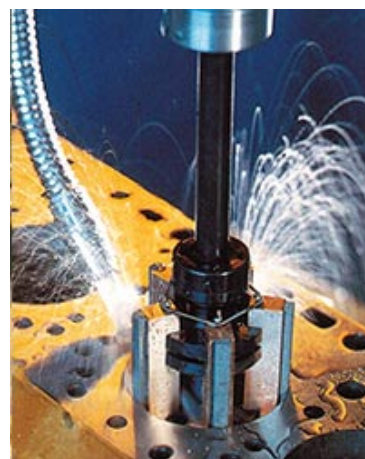
Při broušení se hodnota drsnosti pohybuje v rozmezí dosahovaná 0,2 až 1,5 μm a to v závislosti na použitém brusném kotouči, rezné rychlosti a hloubce záběru [4].

- **Honování**

Jedná se o broušení malou rychlostí za pomoci honovacích kamenů. Používá se při dokončování děr, pak je označováno za honování vnitřní (obr. 1.2) a vnějších válcových ploch, to pak nazýváme honování vnější. Vnitřní honování se provádí přebroušováním honovacími kameny upnutými do honovací hlavy (obr. 1.1) a tlakem 0,35 až 1,4 MPa. Takto usazené kameny konají vratný šroubový pohyb, díky tomu se dráhy jednotlivých zrn honovacích kamenů překrývají. Rovněž při pohybu honovací hlavy dochází k přejíždění hrany obrobku o 1/3 své délky. Dochází-li k nestejnému přejíždění na horní a dolní hraně obrobku má to za následek kuželovitost nebo soudkovitost honované plochy. Vnější honování je v zásadě stejné jako vnitřní, pouze rotační a axiální pohyb nevykonává honovací hlava ale obrobek. Honovací hlava je v tomto případě umístěna na pracovním stole [4].



Obrázek 1.1 Honovací hlava



Obrázek 1.2 Honování

- **Lapování**

Tento způsob dokončování se od broušení a honování liší pouze tím, že brusná zrna jsou rozptýlena v kapalině nebo jsou součástí pasty. V průběhu lapování dochází k „odřezávání“ vrcholků nerovností brusnými zrny. Pohyb brusných zrn vyvolává

lapovací nástroj pohybující se proti lapované ploše v měnících se drahách a je přitlačován tlakem 12 až 40 MPa. Lapovací nástroj má opačný tvar lapovací plochy než obrobek, což znamená lapovací trn pro otvory, lapovací kroužky pro vnější válcové plochy a lapovací desky pro rovinné plochy. Jako materiál pro zhotovení lapovacích nástrojů slouží jemná slitina, měď, měkká ocel, kalená ocel nebo plastická hmota.

Brusným materiálem jsou zrna karborunda (SiC), korundu (Al_2O_3) a diamantový prach. Pro super jemné lapování se používá vídeňská červeň (Fe_2O_3), hydroxid železitý $\text{Fe}(\text{OH})_3$, oxid chrómu (Cr_2O_3) a nebo vídeňské vápno (CaMgCO_3). Při hrubém lapování je využito velikosti zrn 48, při středním 80 až 120 a při jemném je to 600. Jako kapalin se využívá směs petroleje s lehkým olejem nebo jenom olej. Při lapování za pomoci proudu brusiva se používá jako kapalina voda s přídavkem antikoročních částic [4].

- **Superfinašování**

Jedná se o dokončovací operaci podobnou broušení. Nástrojem je superfinašovací kámen, jehož pracovní plocha má negativní tvar opracovávané plochy. Kámen koná kmitavý pohyb a současně posuvový pohyb ve směru osy součásti (obr. 1.3). Pracovním předpokladem je vytvoření kapalinového nosného filmu, jehož tloušťka se řídí tak, aby nerovnosti byly vyšší a odřezávaly se [4].



Obrázek 1.3 Superfinašování

2 POSOUZENÍ ZNÁMÝCH METOD PRO OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ VAD

Základní rozdělení

Defektoskopické zkoušky rozdělujeme na zkoušky kontaktní, bezkontaktní a na zkoušky s porušením materiálu nebo bez porušení materiálu.

Jelikož je požadována 100 % kontrola a obrobky pak pokračují ve výrobním cyklu, je pro nás metoda s porušením materiálu (destruktivní) nepřijatelná. Rovněž metoda kontaktní není zcela vyhovující, jelikož při jakémkoliv kontaktu měřicího zařízení s precizně obrobeným povrchem zkoušeného materiálu, může mít za následek jeho znehodnocení (tvrdý snímací hrot vytvoří do měkkého materiálu rýhu). Proto se budeme zabývat výhradně bezkontaktními nedestruktivními metodami.

Rovněž je důležité mít na paměti, že žádná z defektoskopických metod není univerzální, jelikož každá má své omezené možnosti použití. Je to dáno její fyzikální podstatou. V praxi je pro pokrytí celého spektra možných vad nutno zvolit správnou kombinaci dvou či více metod, jenž se budou vzájemně doplňovat.

2.1 Vizualní kontrola

Tato metoda je jednou z nejméně náročných defektoskopických metod. Pomocí ní zjišťujeme výskyt povrchových vad výrobků jako například trhlin, vnějších staženin, prasklin, koroze a jiných. Tato kontrola bývá zpravidla zařazována před jiné nedestruktivní zkoušky. Vizualní kontrolu lze dělit podle použitých pomůcek a to na kontrolu přímou a nepřímou.

Přímá vizualní kontrola využívá k detekci povrchových vad pouze lidský zrak popřípadě si vypomáhá lupou se zvětšením 3krát až 6krát (obr. 2.1).

Nepřímá vizuální kontrola používá mnohem dokonalejších optických a optoelektrických přístrojů a zařízení. Jako například endoskopy (obr. 2.2), periskopy nebo televizní kamery. Díky nimž lze provádět kontrolu i skrytých objektů, vnitřních stěn potrubí a nádob. Použití těchto prostředků nám také umožňuje provést kontrolu míst s ionizujícím zářením, vysokým napětím nebo nebezpečnými chemickými látkami, kde na všech zde uvedených místech by byl jinak ohrožen lidský život [1].

Nutné podmínky pro kontrolu za pomoci vizuálních metod jsou:

- zraková způsobilost pracovníka odpovídající potřebám zkoušky
- vhodná povrchová úprava zkoušeného materiálu

vhodný typ osvětlení zaručující nejlepší podmínky pro kontrolu



Obrázek 2.1 Lupa



Obrázek 2.2 Endoskop

2.2 Kapilární (penetrační) zkoušky

Těchto zkoušek se využívá při detekci vad povrchů materiálů a výrobků. Musí to být ovšem vady související bezprostředně s povrchem a na povrch otevřené. Takový charakter vad splňují například povrchové trhliny a póry.

Princip těchto zkoušek spočívá v použití vhodné kapaliny, jež je kapilárně aktivní. Taková to kapalina se nanese na povrch zkoušeného materiálu, díky svým vlastnostem pronikne do povrchové vady, po odstranění nadbytečného

množství kapaliny z výrobku začne kapalina z necelistvostí vzlínat působením kapilárních sil směrem k povrchu, díky čemuž povrchovou vadu a její tvar zviditelní. Vhodnost kapaliny jako detekčního média určuje hodnota povrchového napětí, což by mělo být zhruba $\sigma \approx 2,5\text{N/m}$, jinak řečeno mají dobrou smáčivost povrchu. Tyto vlastnosti splňuje petrolej nebo terpentýn.

Kapilární zkouška má několik modifikací, jenž se většinou dělí na základě použité detekční kapaliny a to na:

- zkoušky s použitím chemicky pasivní detekční kapaliny – *neporušují povrch*
- zkoušky s kapalinou barevnou
- zkoušky s kapalinou fluorescenční
- zkoušky s jinými druhy kapalin (např. olej, petrolej)
- zkoušky s použitím chemicky aktivní detekční kapaliny – *zkoušky leptací*

Tento typ zkoušky není díky své časové náročnosti na provedení vhodný pro nasazení do provozu. Jeho využití je jen pro malosériovou výrobu [1].

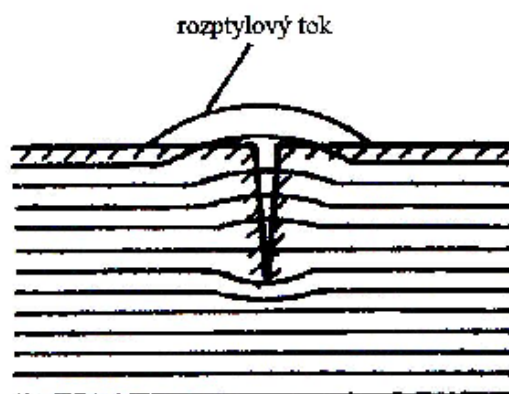
Magnetoinduktivní a elektroinduktivní zkoušky

Tyto dva druhy zkoušek lze použít pro detekci povrchových vad výrobků a rovněž pro zjišťování vad ležících těsně pod povrchem.

Zkoušky dělíme podle základního principu takto:

- a) metody rozptylových toků (obr. 2.3),
- b) metody vířivých proudů.

Skupina těchto defektoskopických zkoušek má veliké uplatnění převážně v hutních provozech, také pak ve vstupních a výstupních kontrolách. Některé z variací těchto zkoušek mohou být plně automatizovány.

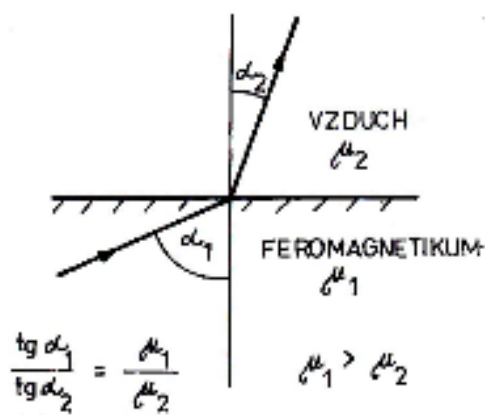


Obrázek 2.3 Rozptylový tok

2.3 Metody rozptylových toků

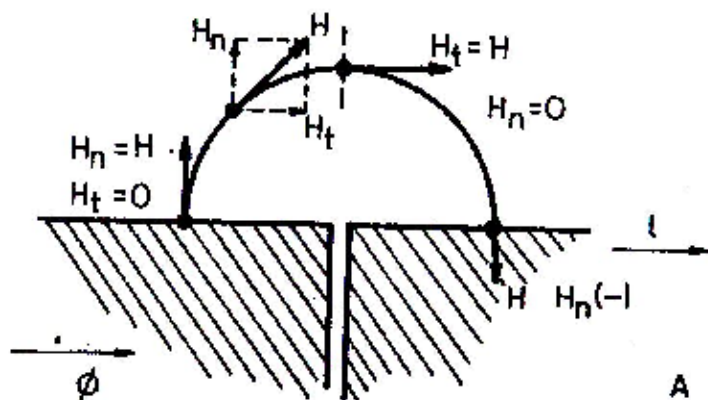
V místě přerušení feromagnetického kontinua z důvodů náhlého nárůstu magnetického odporu R_m dojde k vytvoření rozptylového toku. Za rozptylový tok se považuje ta konkrétní část magnetického toku, jenž neprochází v souladu s předpokládanou dráhou soustředěnou v průřezu feromagnetického tělesa. Takovýto magnetický tok v místě vady vystoupí nad povrch. Díky magnetické vodivosti vzduchu nad vadou ji překlene a vrátí se zpět do předmětu. Detekce vad tedy spočívá v odhalování rozptylových toků.

Rozptylový tok na rozhraní materiálů (materiál – vzduch) pod úhlem α_2 který se blíží 0° . Dle zákona o lomu indukčních čar jsou tangenty úhlů α_1 a α_2 v poměru permeabilit obou prostředí (obr. 2.4).

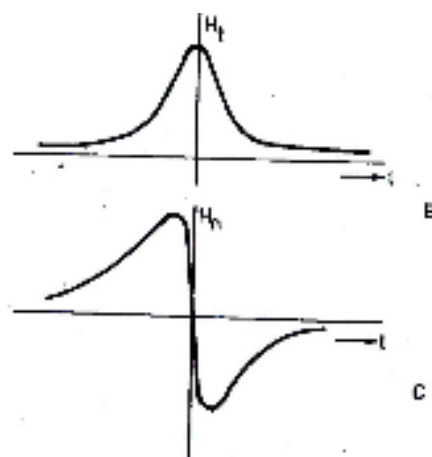


Obrázek 2.4 Lom indukčních čar

Rozptylový tok tvoří soustava siločar ve tvaru soustředných půlkružnic vystupujících z materiálu do vzduchu. Intenzita rozptylového pole H podél každé siločáry je vektorová veličina konstantní velikosti ale měnícího se směru. Může být rozložena do dvou složek a to složky normálové H_n a složky tečné H_t (obr. 2.5).

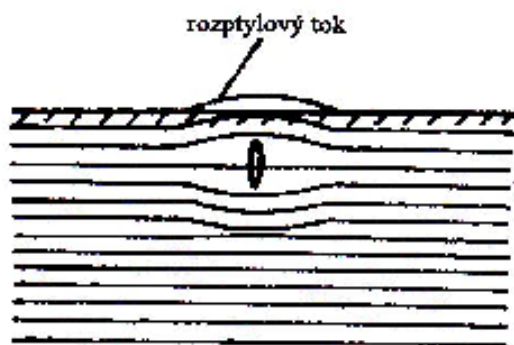


Obrázek 2.5 Intenzita rozptylového pole



Obrázek 2.6 Složky intenzity rozptylového pole

Průběhy jednotlivých složek intenzit magnetického pole v rozptylovém toku můžeme pozorovat na (obr. 2.6). Na velikosti, tvaru a poloze necelistvosti závisí rozptyl magnetického pole. Také rovněž závisí na hodnotě magnetické indukce B na kterou je materiál zmagnetován. Největší rozptyl je indikován u vad s ústím trhliny na povrch (povrchové trhliny). Se vzdalováním vady od povrchu směrem do středu materiálu, dochází ke zmenšování rozptylového toku. Vady uložené kolmo k průběhu siločar mají nejlepší polohu pro tvorbu rozptylového toku (obr. 2.7). Praskliny orientované rovnoběžně s průběhem siločar rozptylový tok netvoří (obr. 2.8). Z těchto poznatků vyplývá, že zkušební přístroje by měly mít možnost tvorby orientovaných magnetických toků, nebo alespoň mít možnost vytvářet podélné a příčné magnetické toky [1].



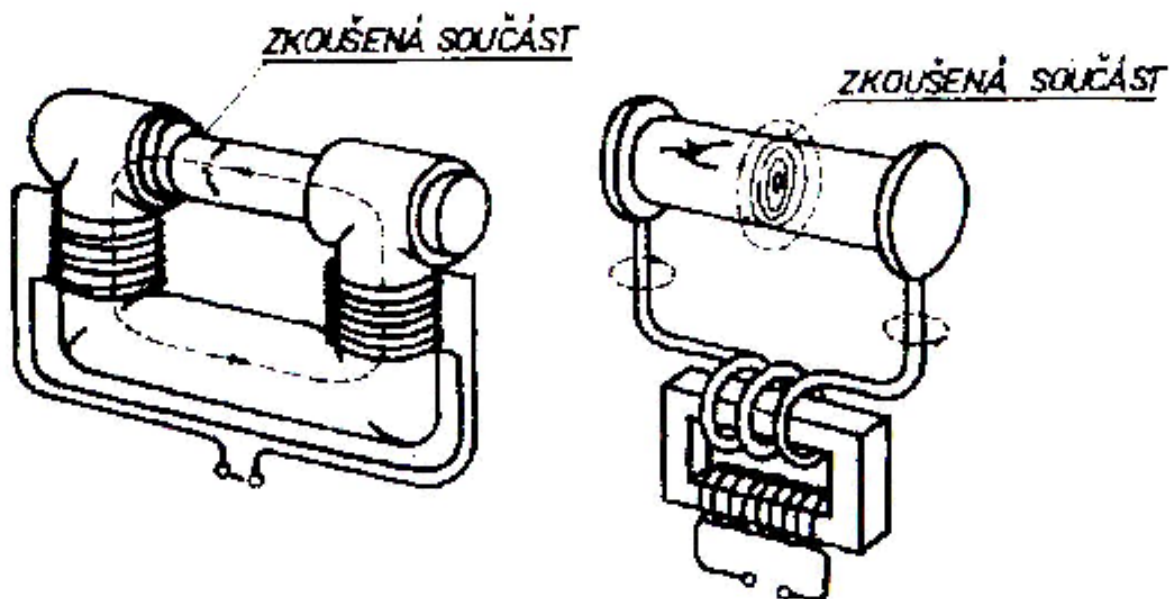
Obrázek 2.7 Vada umístěna kolmo na rozptylový tok



Obrázek 2.8 Vada umístěna souběžně z rozptylovým tokem

Způsoby magnetizace kontrolovaných těles

Pomocí magnetizace mezi póly vzniká rozptylový tok na příčných vadách. Průchodem elektrického proudu ve směru podélné osy dochází k vytvoření cirkulárního magnetického pole (příčná magnetizace), čímž vzniká rozptylový tok na podélných vadách. Kombinací příčné a podélné magnetizace vzniká kombinovaná magnetizace.



Obrázek 2.9 Podélná a příčná magnetizace

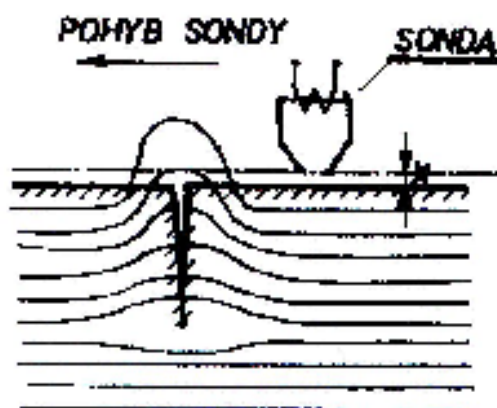
Podélnou magnetizací je možno zachytit vady pouze příčné a nebo částečně příčně položené vady (obr. 2.9). Pro tento druh vad musí být zkoušený předmět zmagnetizován cirkulárně. Při zjišťování podpovrchových vad za použitím cirkulárního zmagnetizování je použito stejnosměrného proudu, kdežto pro detekci povrchových vad se využívá proudu střídavého. Pro správnou volbu optimálních podmínek magnetizace neexistuje žádné pravidlo. Volba těchto podmínek závisí na mnoha faktorech, zejména na magnetických vlastnostech materiálu, tvaru a rozměru kontrolovaného tělesa a rovněž na typu a velikosti vady [1].

Další způsoby detekce rozptylových toků

Detekce pomocí feromagnetického prášku není jedinou metodou pro detekci rozptylových toků. Její hlavní výhodou je jednoduchost přístrojů, jednoduchá obsluha ale na druhou stranu, tato metoda nevyhovuje výrobnímu tempu v sériové výrobě. Rovněž zde hraje podstatnou roli subjektivní názor zkoušejícího. Aby bylo možno odstranit tyto nevýhody brzdící rychlost výroby, byly vyvinuty speciální sondy pro snímání rozptylových toků. Tyto sondy reagují na existenci rozptylového magnetického pole.

Metoda pohyblivé sondy

Při této metodě je použita cívka, v níž dochází k indukci elektrického napětí při prohybu cívky nad povrchem materiálu. Napětí takto indukované je přímo úměrné počtu závitů cívky a vzájemné rychlosti pohybu cívky a rozptylového toku. Indukovaný proud je zesílen a poté zviditelněn za použití osciloskopu nebo jiného zobrazovacího zařízení [1]. Nutné podmínky pro správnost měření a získání korektních výsledků jsou malá vzdálenost sondy od zkoušeného povrchu a udržení stanovené rychlosti (obr. 2.10).



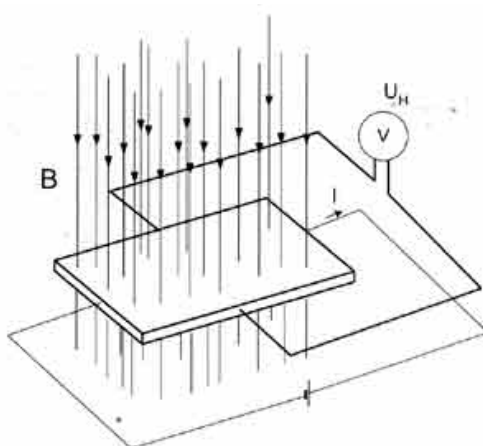
Obrázek 2.10 Pohyb sondy

Ferosondy

Ferosonda je složena ze dvou solenoidů, jejichž jádra jsou zhotovena z materiálu o velké permeabilitě. V takovém to materiálu dochází k nasycení již při poměrně malé intenzitě magnetického pole. Jádra ferosondy jsou magnetizována střídavým magnetickým polem stejné intenzity avšak opačného smyslu. Při působení stejnosměrného magnetického pole vady na střídavé magnetické pole sondy dochází k posunutí magnetizačního průběhu sondy. Tato metoda umožňuje zjistit vady v hloubce až 20 mm pod povrchem. Používá se na zkoušení předmětů se stálým příčným průřezem, jako jsou kolejnice [1].

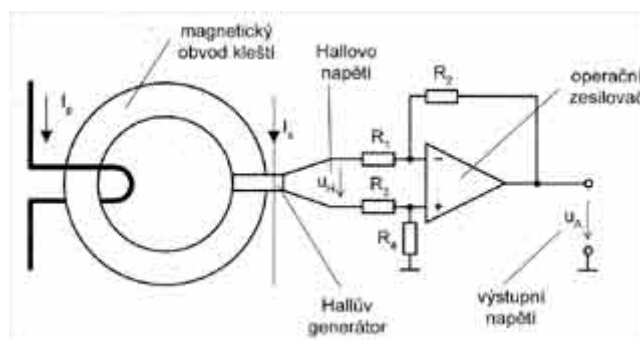
Hallova sonda

Je to polovodičový snímač. Vycházející z principu Hallova jevu (obr. 2.11). Vložíme-li destičku polovodiče do magnetického pole a necháme-li jí příčně protékat stejnosměrný proud, objeví se na opačných hranách destičky tzv. Hallovo napětí. Tyto sondy se v současné době používají zejména pro měření magnetické indukce, ale své použití našly i při měření proudu [2].



Obrázek 2.11 Schéma Hallova jevu

Principiální schéma zpracování signálu z Hallového generátoru:



Obrázek 2.12 Schéma Hallova generátoru

2.4 Metoda vířivých proudů

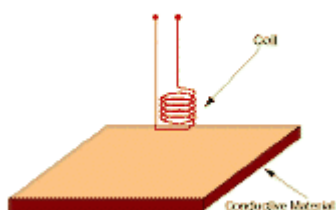
Metoda vychází ze stanovení změn fyzikálních vlastností materiálu za pomoci střídavého magnetického pole.

Vířivé proudy jsou vytvořeny při elektromagnetické indukci. Když střídavý proud prochází vodičem, vytváří se kolem něj magnetické pole. Velikost tohoto magnetického pole je závislá na velikosti protékajícího proudu. Pokud se jiný elektrický vodič dostane do tohoto magnetického pole, začne se v tomto vodiči indukovat proud. Vířivé proudy jsou indukované elektrické proudy tekoucí po kruhové

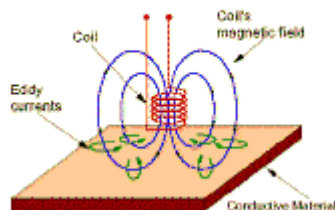
dráze. Pojmenování získala díky podobnosti s víry, jenž tvoří kapalina nebo plyn při obtékání překážek [3].

Hlavní význam metody leží v odhalování defektů, pokud je již dobře známa jejich povaha. Obvykle se metoda používá pro vyšetření poměrně malých oblastí a konstrukční typ sondy a parametry testu musí být ustanoveny s ohledem na to, jakou vadu chceme detekovat. Vířivé proudy mají sklon soustředit se na povrchu materiálu a tudíž mohou být užívány jen pro odhalení povrchových a podpovrchových vad.

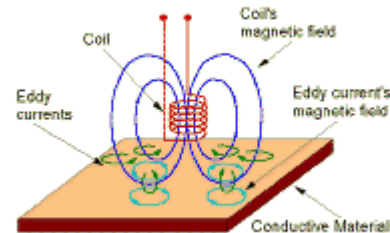
Vířivé proudy produkují vlastní magnetická pole, které společně působí magnetickým polem cívky. Měření změn v odporu a impedanci cívky, nám dává informace o zkoušeném materiálu. V této informaci jsou obsaženy údaje o elektrické vodivosti, magnetické permeabilitě a stavu materiálu. Poslední jmenovaná složka je pro defektoskopii klíčová. Nese informaci o tom zda zkoušený subjekt obsahuje trhliny nebo jiné defekty. Podstatným faktorem ovlivňujícím kvalitu naměřených dat je vzdálenost cívky od vodivého materiálu, což ovlivní vzájemný indukční odpor okruhů. Síla vířivých proudů se snižuje se vzdáleností od cívky. Je to dáno soustředím vířivých proudů blízko povrchu. Hloubka, do které vířivé proudy proniknou materiálem je ovlivněna frekvencí budicího proudu, elektrickou vodivostí a magnetickou permeabilitou vzorku. Hloubka proniknutí se snižuje s rostoucí frekvencí, rostoucí vodivostí a rostoucí magnetickou permeabilitou [3]. Pokoušíme-li se lokalizovat trhliny, frekvence je volena podle očekávané hloubky umístění vady, tak aby se vada nacházela uvnitř jedné standardní hloubky proniknutí.



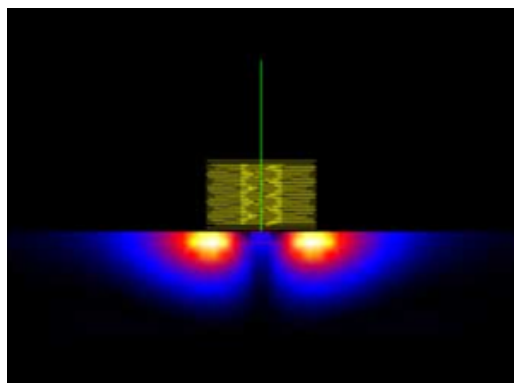
Obrázek 2.13 Cívka a zkoušený materiál



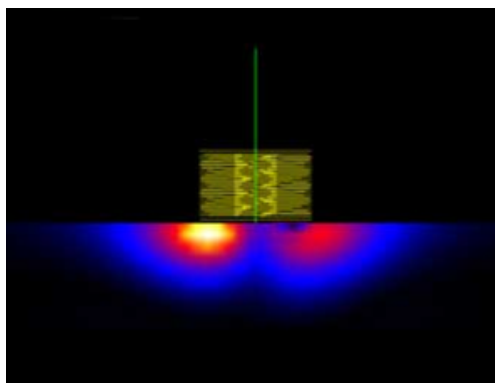
Obrázek 2.14 Vytváření magnetického pole cívkou



Obrázek 2.15 Vytváření vířivých proudů v materiálu



Obrázek 2.16 Materiál bez vady



Obrázek 2.17 Materiál s vadou

Výhody vířivého proudu :

- Citlivý na malé trhliny
- Odhalí povrchové a vady uložení blízko povrchu
- Dává okamžité výsledky
- Vybavení je mobilní
- Minimální potřebná příprava vzorků
- Nepotřebuje přímý kontakt se součástkou
- Umožňuje vyšetření složitých tvarů

Omezení metody vířivého proudu :

- Použitelná pouze pro vodivé materiály
- Sonda musí mít dostatečný přístup k povrchu
- Nutná zručnost a zaškolení
- Konečná úprava nebo nerovnost povrchu může překážet
- Nezbytné nastavení pomocí etalonu
- Hloubka penetrace je omezená
- Nelze zjistit vady, které jsou orientovány v určitém směru

Sondy

Sondy vířivých proudů jsou dostupné v široké škále tvarů a velikostí. Sondy se liší provozním režimem a uspořádáním zkušebních cívek. Podle provozního režimu sondy obecně rozdělujeme do čtyř kategorií: absolutní, diferenční, odrazové a hybridní.

3 NÁVRH OPTIMÁLNÍ METODY PRO KONTROLU KONKRÉTNÍCH SOUČÁSTÍ

Zvolená součást a její parametry

Jedná se o ložiskový váleček (obr. 3.1). Průměr váleček je 30 mm, délka 48 mm. Na obou stranách je rádius $R = 2$ mm. Ložiskový váleček je vyroben z ložiskové oceli ČSN 14109.



Obrázek 3.1 Ložiskový váleček

Na ložiskovém válečku byly kontrolovány tyto plochy:

- válcová plocha
- čelní plocha (obou stran)
- rádius (obou stran)

3.1 Vady vyskytující se na ložiskovém válečku

Na ložiskovém válečku se mohou vyskytnout různé vady. Výrobce dodané kusy s vadami, byly rozčleněny do kategorií, podle typu vady.

- **Zábrus na válcové ploše**

Tyto vady se mohou vyskytovat jak v různých velikostních, tak v různých tvarových variacích. Rovněž jejich orientace vůči podélné ose otáčení ložiskového válečku, může být různá. V našem případě se jedná o zábrus s orientací souhlasnou s orientací osy otáčení a velikostí vady (délka x šířka) 6,5 x 2 mm (obr. 3.2).



Obrázek 3.2 Zábrus na válcové ploše

- **Materiálové vady - lunkry**

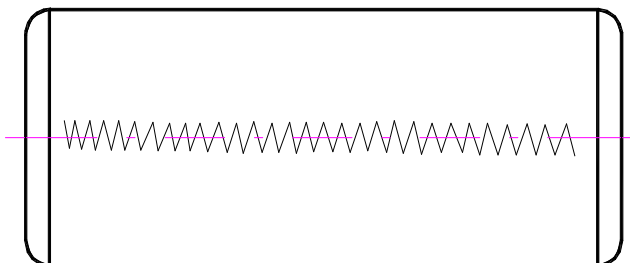
Tyto vady mohou vzniknout několika způsoby. Jedním ze způsobů je, že při obrábění dojde k vytrhání materiálu. Dalším způsobem vzniku těchto vad, je odkrytí vnitřních vad (dutin) při obrábění. Rovněž jedním z činitelů zodpovědných za vytvoření lunkry je i koroze (bodová), díky které dochází k „vydrolení“ materiálu. Tento typ vady se vyskytuje převážně na válcové ploše. Liší se jak velikostí tak i hloubkou. V našem případě se vyskytovaly na zkoušeném válečku lunkry o této velikosti (délka x šířka) 0,8 x 0,8 mm (obr. 3.3).



Obrázek 3.3 Lunkry

- **Nedosuperfinašované plošky**

Tyto vady jsou zapříčiněny nedostatečnou dobou po kterou je ložiskový váleček superfinašován. Následkem čehož se na subjektu vyskytnou plošky, jenž se táhnou po celé délce válcové plochy. Takové to plošky se vyskytují v šířkách od 1mm až do 3mm. Jejich viditelnost je velice špatná, proto jako obrázek je zde umístěn jenom náčrt (obr. 3.4).



Obrázek 3.4 Nedosuperfinašovaná ploška

- **Zábrusy na čele**

Tyto vady se převážně vyskytují v krajních oblastech čelních ploch. Zdrojem jejich vzniku je nedostatečná doba po kterou je součást dokončována. Velikost těchto vad se pohybuje v rozmezí (délka x šířka) (10 – 12) mm x (2 – 3) mm. Tyto vady jsou velice dobře rozeznatelné lidským zrakem. Tvarová výchylka od ideálního tvaru čela je minimální (obr. 3.5).



Obrázek 3.5 Zábrus na čele

- **Zábrusy na čele v přechodu do rádiusu**

Tyto vady se vyskytují při přechodu plochy čela do rádiusu. Jsou zapříčiněny technologickou nekázní v procesu broušení. Velikost těchto vad se pohybuje v rozmezí (délka x šířka) (7 – 10) mm x (2 – 3) mm, hloubka se pohybuje v rozmezí (1 – 1,5) mm (obr. 3.6).



Obrázek 3.6 Zábrus na čele při
přechodu do rádiusu

- **Záseky na čele**

Tyto vady rovněž spadají do kategorie vad způsobených technologickou nekázní. Vznikají nevhodnou manipulací během procesu výroby a nebo chybou při obsluze

stroje. Výskyt těchto vad je převážně na čelních plochách. Velikost těchto vad se pohybuje v rozmezí (délka x šířka) (1,5 – 4) mm x (0,5 – 1) mm (obr. 3.7).



Obrázek 3.7 Zásek na čele

3.2 Detekce povrchových vad metodou digitálního zpracování obrazu

Nejčastěji se systémy pro digitální zpracování obrazů uplatňují při vizuální kontrole. U průmyslových výrobků sestavených z velkého množství různých dílů je tento systém použit nejenom pro kontrolu přesných rozměrů a geometrického tvaru, ale i ke kontrole povrchu a správného označení, ale také zda jsou předepsaným způsobem smontovány.

Rovněž lze v průmyslu systémy digitálního zpracování obrazů použít k přesnému, bezdotykovému proměření obrobků, spolehlivému třídění dílů dle zadaných parametrů, rychlému a spolehlivému rozpoznávání tvarů, barev, kódů, přesnému polohování, lokalizování součástek a dílů při automatizované výrobě s použitím osazovacích automatů, manipulátorů a robotů.

Systémy digitálního zpracování obrazů jsou složeny ze tří hlavních částí:

- a) snímací kamery,
- b) vyhodnocovací jednotky,
- c) uživatelského softwaru.

Podle provedení, výkonnosti a použití se rozdělují do těchto kategorií:

- inteligentní obrazové snímače (vision senzors),
- kamerové senzory,
- kompaktní systémy,
- systémy na bázi průmyslových počítačů (IPC).

Inteligentní obrazové snímače patří do kategorie těch nejjednodušších a cenově nejdostupnějších optických kontrolních přístrojů. Snímač obrazu s jednoduchou optikou a vyhodnocovací elektronika jsou umísťovány do jednoho společného pouzdra a to včetně LED osvětlení. Použití těchto nejjednodušších systémů se vyplatí pouze v méně složitých aplikacích, například třídění, kontrola úplnosti, proměřování nebo identifikace barev. Pro externí přenos dat bývá k dispozici digitální výstup nebo sériové rozhraní[8].

Důležitou skupinu, představují kamerové senzory, neboli inteligentní kamery s integrovaným procesorem, díky kterému je umožněno snímaná obrazová data zpracovat ještě v kameře a na výstup posílat rovnou výsledky analýzy obrazu. Kamera skrývá klasický PC procesor nebo signálový procesor DSP s velkou pamětí pro programy (flash) a snímané obrazy (DRAM). Tyto systémy bývají standardně vybaveny sériovým rozhraním (RS-232C/RS-485), rozhraním pro síť Ethernet a digitálními v/v, popř. speciálními rozhraními pro přenos obrazů LVDS (Low Voltage Differential Sensing), FireWire (IEEE 1394) nebo Camera-Link. Jejich použití je ideální pro automatickou kontrolu, monitorování výroby a rozpoznávání součástí v montážních linkách.

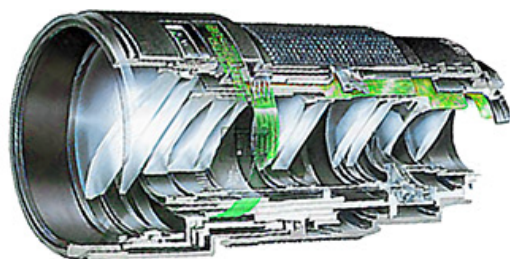
Kompaktní systémy mají samostatnou vyhodnocovací jednotku malých rozměrů. Jsou vybaveny CPU se srovnatelným výkonem běžného PC, s pevnou konfigurací, menší kapacitou pamětí a pevně stanoveným typem rozhraní. Využívají se pro podobné aplikace jako systémy na bázi IPC, oproti kterým jsou zpravidla jenom méně flexibilní a variabilní.

Špičkové systémy na bázi průmyslových počítačů (IPC) se používají pro nejsložitější aplikace. Pracují se samostatnými kamerami a využívají výhody modulárního uspořádání počítače s mnoha volnými zásuvnými sloty. Oproti kompaktním systémům nemají od výrobce pevně stanovené žádné rozhraní. Uživatel si může pomocí zásuvných karet zvolit vedle standardních rozhraní, jako jsou digitální v/v a RS-232C nebo RS-485 i rozhraní pro připojení k běžným průmyslovým sběrnicím (CAN nebo Profibus) [7].

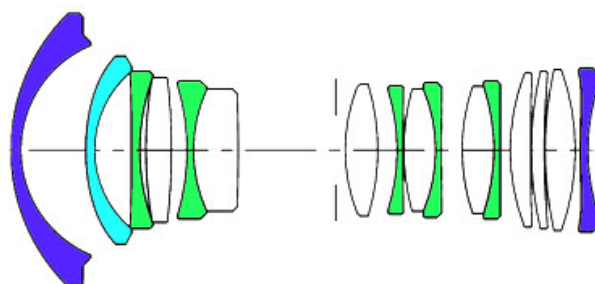
Snímací zařízení

Na kvalitě výsledného obrazu se podílí nejenom snímač, ale i optika a software. Přesto je za základní prvek v digitální kameře považován CCD (Charge Coupled Device – nábojově vázaný prvek) čip. Při dopadu světelného záření se v jednotlivých snímacích elementech tvoří elektrický náboj, který se pak načítá jako napěťový signál. Analogový signál, odpovídající jednotlivým obrazovým bodům (pixelům) se A/D (analogově digitálním) převodníkem mění na číselný (digitální) údaj o jasu daného bodu. Protože není možné zaznamenat všechny obrazové informace, software v digitální kameře „dopočítá“ chybějící data. Takto doplněný digitální obraz se ukládá na paměťové médium nebo je pomocí propojovacího kabelu přenášen rovnou do počítače [6].

I ten nejjednodušší objektiv (obr. 3.8), je složen ze soustavy několika čoček, které jsou uspořádány do skupin (obr. 3.9). Tyto skupiny se vůči sobě pohybují při ostření nebo změně ohniskové vzdálenosti (zoom). Jednotlivé čočky mají různé průměry, tloušťky, tvary a dokonce jsou vyrobeny z různých materiálů nebo různě povrchově upraveny. Na kvalitě jednotlivých čoček, jejich přesnému umístění a celková robustnost konstrukce objektivu, závisí jeho odolnost vůči používání, otřesům, životnosti a kvalita obrazu.



Obrázek 3.8 Objektiv



Obrázek 3.9 Uspořádání čoček v objektivu



Obrázek 3.10 Kamera používaná v průmyslu

A poslední „základní“ částí digitální kamery je procesor. Důležitá je jeho kvalita, ale hlavně kvalita programu, jenž má za úkol ovládat všechny prvky digitální kamery (obr. 3.10), ale rovněž se stará o zpracování obrazu a zejména o odstranění obrazových vad, které vytvořil objektiv a CCD čip.

Tato technologie detekce povrchových vad broušených povrchů nemohla být prakticky ověřena z důvodů její finanční náročnosti a dostupnosti těchto zařízení. Proto je návrh použití tohoto systému pro detekci povrchových vad čistě teoretickou spekulací.

3.3 Detekce povrchových vad metodou snímání rozptylu laserového paprsku

Toto slovo bylo vytvořeno z počátečních písmen anglického popisu činnosti tohoto zařízení (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesilování světla pomocí stimulované emise záření). Již v roce 1916 Albert Einstein předpověděl

princip laseru. K jeho realizaci ale došlo až v roce 1960 v Hughes Research Laboratories panem Theodorem Maimanem.

V dnešní době laserový paprsek zasahuje do mnoha oborů lidské činnosti. Jako jemný chirurgický nástroj pomáhá v medicíně, zaznamenává a čte informace z kompaktních disků, přenáší data, vrtá díry do diamantu, brousí nástroje, zaměřuje letící tělesa, rozpouští molekuly látek, dokáže proniknout do nitra atomů a zažehnout termonukleární reakci a tak bychom mohli pokračovat ještě hodně dlouho. Nejvíce se však uplatňuje v optoelektronice a kvantové elektronice.

V moderní fyzice mluvíme o tzv. duálním charakteru světla. Je to proto, že na světlo musíme nahlížet nejenom jako na elektromagnetické vlnění (mluvíme o vlnovém charakteru světla) ale i jako na proud částic (korpuskulární charakter světla) [9].

Způsoby vytvoření laserového aktivního prostředí

Způsob, jakým bude po přívodu budící energie do určitého objemu látky dosaženo stavu s inverzní populací, závisí na uspořádání energetických hladin příslušných kvantových soustav i na dalších fyzikálních vlastnostech těchto soustav, zejména na působení výběrových pravidel pro přeskoky elektronů mezi hladinami a na dobách, po které se mohou elektrony na jednotlivých energetických hladinách udržet. Podle způsobu, kterým je v látkách možné vytvořit laserové aktivní prostředí, můžeme látky rozdělit na látky s tříhladinovou a na látky s čtyřhladinovou soustavou kvantových přechodů.

Činnost a konstrukční principy laserů

Pod slovem laser rozumíme generátor (zdroj) světla, jenž ke své činnosti kvantové zesilování světla využívá.

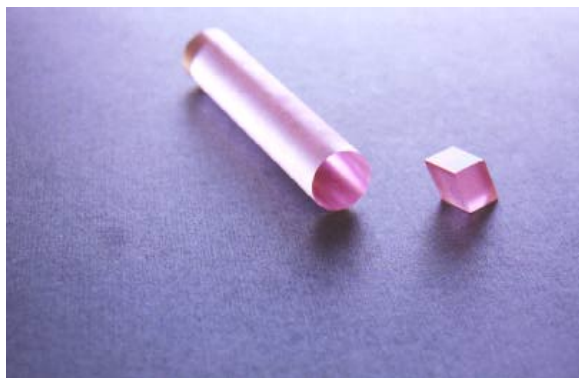
Tří základní typy laserů:

- s aktivním prostředím tvořeným pevnou látkou s výjimkou polovodičů,
- plynové,
- polovodičové.

3.3.1 Rubínový laser

První skutečně fungující laser, sestavený roku 1960 americkým vědcem T. Mainmanem. V jeho konstrukci jsou použity principy, které jsou v různých menších či větších modifikacích využívány ve všech, a to i v těch nejmodernějších konstrukcích laserů.

Aktivní prostředí rubínového laseru tvoří krystal (obr. 3.11) syntetického rubínu (Al_2O_3), ve kterém jsou rovnoměrně rozptýleny ionty trojmocného chromu Cr^{3+} v koncentraci pohybující se okolo 0,05 %. Užívá se optického buzení.



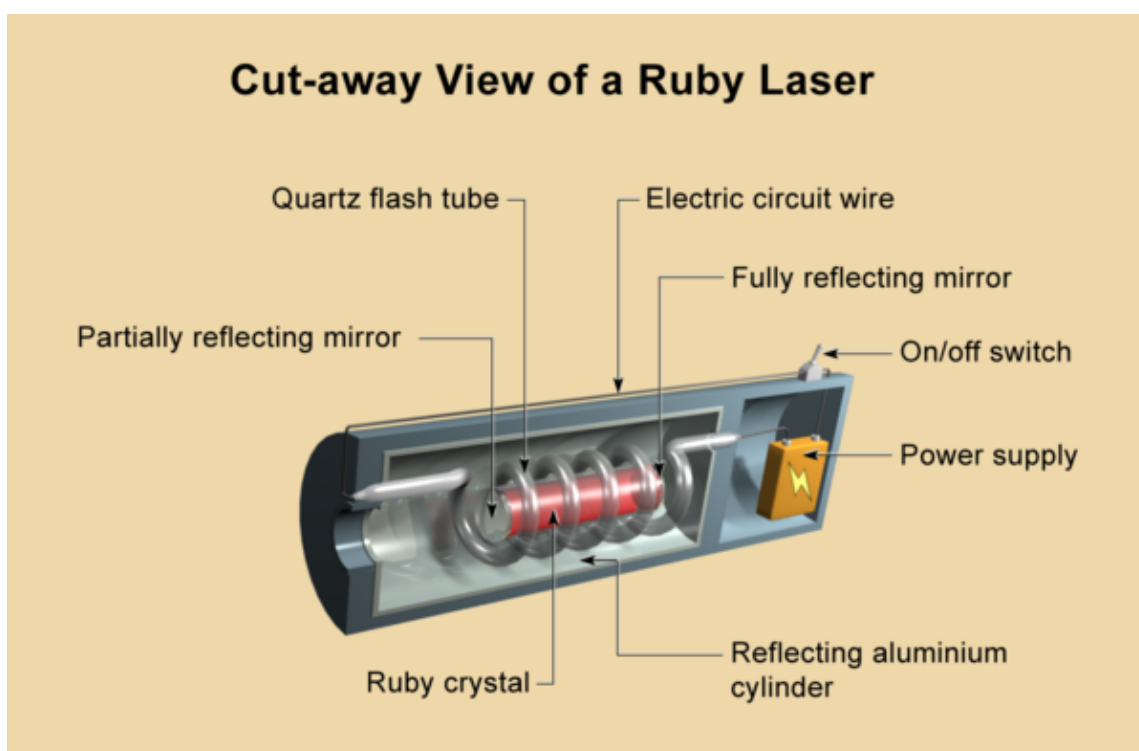
Obrázek 3.11 Rubínový krystal

Při osvětlení krystalu intenzivním impulsem světla vhodné vlnové délky, jako například z xenonové výbojky (trvání impulsu je v řádu desetin milisekundy), dochází k excitaci iontů chromu (obr. 3.14). Po splnění ještě několika dalších podmínek, utvoří se uvnitř krystalu laserově aktivní prostředí, schopné stimulovanou emisí několika násobně zesílit vstupní světelný paprsek (obr. 3.15).

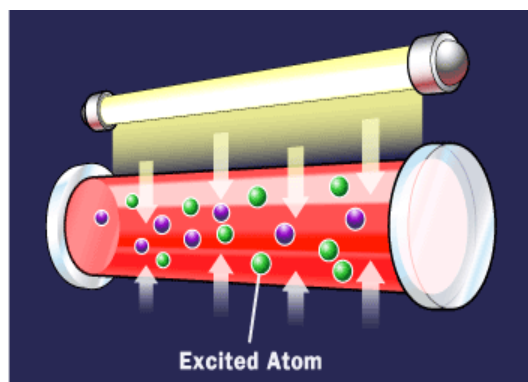
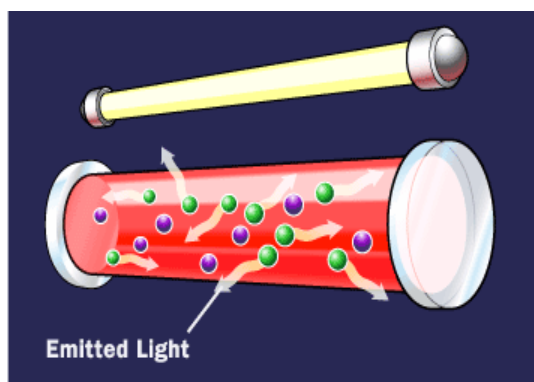
V laserovém aktivním prostředí probíhá souběžně se stimulovanou emisí fotonů, také emise spontánní. Z toho vyplývá, že funkci vstupních fotonů by mohly zastávat fotony spontánně emitované v tomto prostředí. Toho se dá dosáhnout vhodně umístěnou zrcadlovou plochou, díky které by se odrazily z výstupu zpět do prostoru, kde dochází k emisím. Takto odražené fotony při cestě od výstupní strany krystalu ke vstupní straně vyvolají stimulovanou emisí fotonů. Jestliže-by také druhá z čelních

stěn krystalu byla opatřena zrcadlem, bude docházet k dalšímu odrazu již zesíleného světla zase zpět do prostoru krystalu atd.

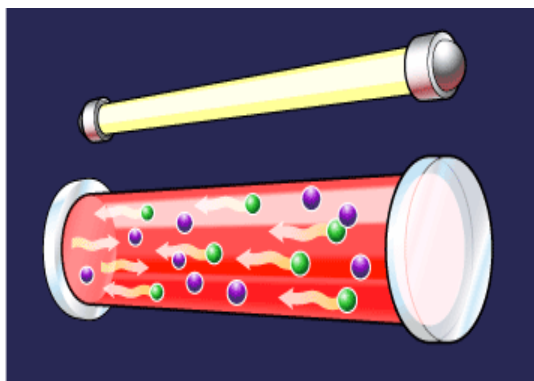
Rubínový laser pracuje nejčastěji v impulsním režimu. Délka budícího impulsu je několik desetin milisekundy, až jedna milisekunda. Doba trvání výstupního impulsu by měla být co možná nejkratší, aby se dosáhlo co největší časové koncentrace energie, tj. co největší hustoty zářivého toku. Při použití určitých konstrukčních úprav je možné laser používat i v kontinuálním provozu, ale je nezbytné, aby při takovém to provozu bylo zařízení účinně chlazeno [9].



Obrázek 3.12 Schéma rubínového laseru

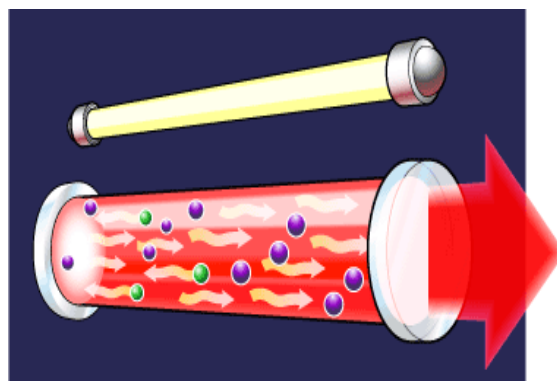


Obrázek 3.13 Počáteční stav



Obrázek 3.15 Emitované světlo

Obrázek 3.14 Osvětlení krystalu a následná excitace atomů



Obrázek 3.16 Laserový paprsek

3.3.2 Plynové lasery

Pracovním prostředím takovýchto laserů je směs plynů uzavřená v trubici kruhového průřezu ze speciálního skla. Vnitřní průměr těchto trubic bývá několik milimetrů, až desítek milimetrů. Rovněž délka trubice může být od několika desítek milimetrů, až po několik metrů. Ukázka plynového laseru (obr. 3.17).

Pro buzení plynových laserů se nejčastěji používá elektrického výboje v plynu, který tvoří aktivní prostředí [9].



Obrázek 3.17 Argon - iontový laser

3.3.3 Polovodičové lasery

Abychom pochopili děje podílející se na vzniku laserového paprsku v polovodičích, musíme znát princip fungování polovodičových součástek. Elektrony z polovodiče typu N a díry P se driftovými rychlostmi přibližují oblasti přechodu PN, kde dochází k rekombinaci párů elektron-díra. Při rekombinaci zaplňuje elektron (s energií příslušné vodivostní sféry) místo v nenasycené vazbě akceptoru, které odpovídá menší energetické úrovni než sféra vodivostní. Atom akceptoru se mění na excitovaný iont (záporný iont s přebytkem energie). Přebytku energie se iont (a kvantová soustava) za velmi krátkou dobu zbaví a přitom uvolní množství energie odpovídající zmenšení energie příslušného elektronu.

K uvolnění energie dochází:

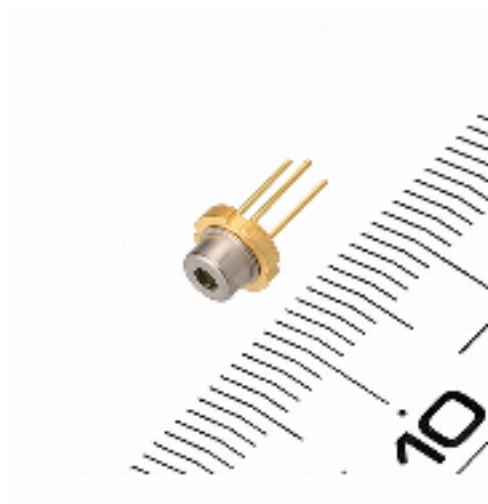
- postupně tzv. nepřímým přechodem. Elektron přestupuje na nízkou stabilní energetickou hladinu po malých skocích přes nižší hladiny, na kterých se nemůže udržet. Přitom vznikají fotony a dochází k zahřívání krystalu.
- naráz tzv. přímým přeskokem, přičemž je vyzářen foton. Dochází k zářivé rekombinaci.

V některých materiálech působí oba popsané jevy.

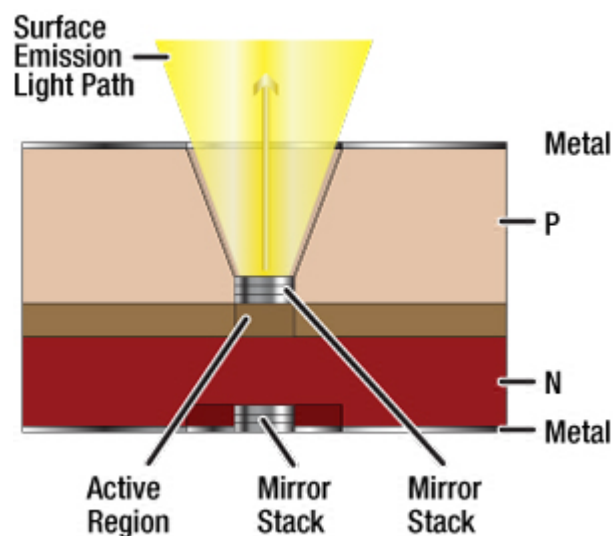
Napájecí zdroj odsává z části P elektrony a vstříkne je do vodivostního pásu části N. Tím zajišťuje dostatečný počet volných nosičů náboje pro vznik a udržení popsaného děje (obr. 3.19).

Počet rekombinací, k nimž v oblasti přechodu PN dochází je přímo úměrný procházejícímu proudu. Energie vyzářených fotonů je závislá na šířce pásu základního materiálu a na příměsích, kterými je materiál dotován. Volbou příměsi je možné do určité míry měnit a tím ovlivnit vlnovou délku generovaného záření.

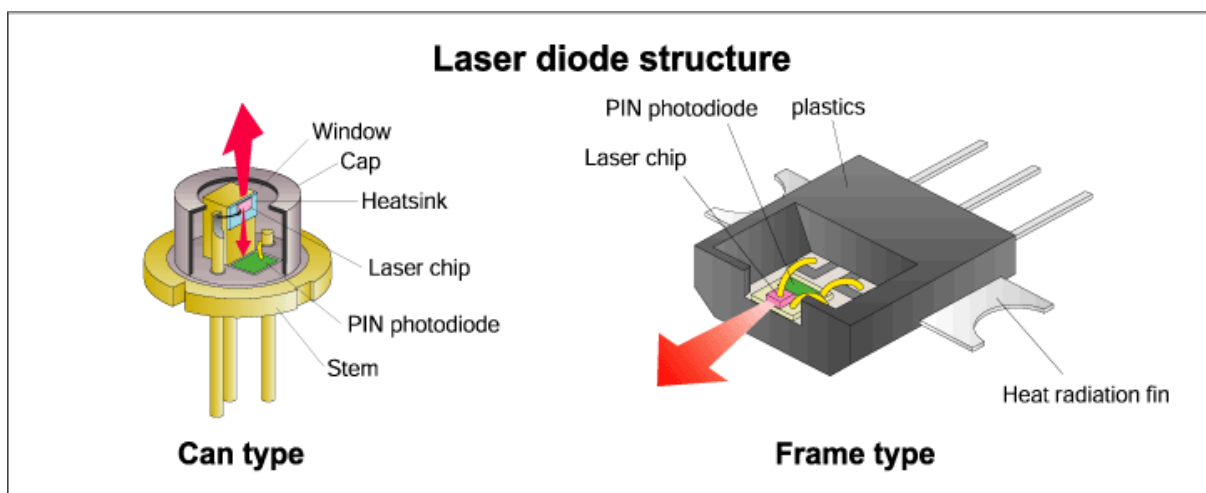
Záření je nekoherentní, a je využíváno ve světelných diodách, nebo polovodičových laserech [9].



Obrázek 3.18 Velikost polovodičového laseru



Obrázek 3.19 Schéma uspořádání v polovodičovém laseru



Obrázek 3.20 Základní typy polovodičových laserů

3.3.4 Fotodetektory

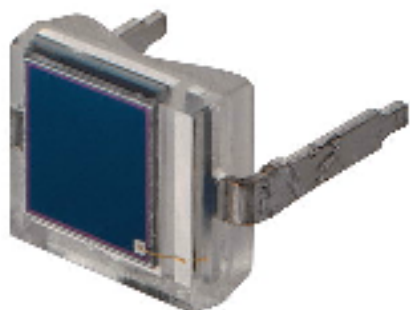
Fotodetektor je fyzikální čidlo pro objektivní světelná měření, které obsahuje detektor citlivý na světlo, jenž toto světlo nebo jinou část elektromagnetického záření převádí na elektrický signál.

Fotodetektor je většinou součástí fotometrické hlavičky, obsahující další doplňkové příslušenství jako jsou například filtry pro korekci spektrální citlivosti, nastavce pro směrové přizpůsobení, atd.

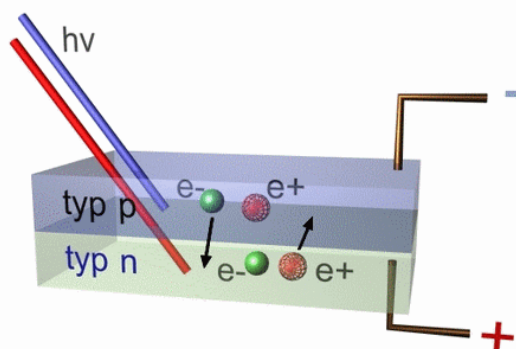
- **Fotodiody**

Jsou to v dnešní době nejčastěji používané detektory umístěné ve fotodetektorech. Nejspolehlivější a nejvšestrannější jsou křemíkové fotodiody (obr. 3.22). Někdy se používají i jiné polovodiče jako například InGaAs pro vyšší vlnové délky.

Povrch citlivý na světlo tvoří vrstva P o tloušťce 1 μm nebo méně. Změnou tloušťky P, N, N+ vrstvy, vhodnou volbou polovodiče a koncentrací příměsí lze měnit spektrální a frekvenční citlivost. PN přechod pracuje jako fotoelektrický měnič, kde vzniká proud úměrný příslušné osvětlenosti: po absorbování fotonu se vytvoří pár elektron-díra, elektrony přechází do N vrstvy, díry do P vrstvy (obr. 3.23), vzniká proud (fotovoltaický jev) [10].



Obrázek 3.22 Fotodioda



Obrázek 3.23 Princip fotodiody

- **Emisní fotonky**

Emisní fotonky (obr. 3.24) jsou fotodetektory využívající vnějšího fotoelektrického jevu, kdy světlo působí emisi elektronů z povrchu elektrody ve vakuu nebo v plynném prostředí. Anodu tvoří drátěná smyčka nebo síťka, katodu tvoří světlo citlivá kovová vrstva z alkalických prvků nanosená na vnitřní stěně skleněné baňky. Emisní fotonky

vyžadují vnější napájecí zdroj. Pro přesná fotometrická měření jsou vhodné zejména vakuové emisní fotonky a to pro svou vysokou stabilitu bez setrvačnosti a lineárnost.



Obrázek 3.24 Emisní fotonka

Podle směrové selektivity fotodetektory dělíme na:

- fotočlánky pro měření rovinné osvětlenosti,
- fotočlánky pro měření prostorových charakteristik osvětlení,
- fotočlánky, jejichž snímací úhel obvykle nepřesahuje $\pm 10^\circ$ od osy snímání.

Fotočlánky pro měření rovinné osvětlenosti se kalibrují pro kolmý dopad světla, při šikmém dopadu světla je osvětlenost úměrná kosinu úhlu dopadu. Obvyklá odchylka od tohoto zákona (způsobená částečným zrcadlovým odrazem, sníženou propustností horní vrstvy, polarizací a cloněním obrubou) se eliminuje nasazením tzv. kosinusového nástavce. Tato korekce je důležitá při venkovních měřeních a při měřeních denního světla v interiérech. Měření, při kterých dopadá světlo na fotočlánek kolmo, nebo měření bodových zdrojů nevyžaduje kosinusovou korekci [11].

Spektrální citlivost

Pro zajištění jednotnosti světelně technických výpočtů přijala Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) průměrnou spektrální citlivost oka normálního pozorovatele při fotopickém vidění ve dne $V(\lambda)$ a při skotopickém vidění za tmy $V'(\lambda)$.

Pro světelná měření je důležité, aby se průběh křivky spektrální citlivosti fotočlánku co nejvíce shodoval s křivkou spektrální citlivosti $V(\lambda)$. Korekčními filtry lze dosáhnout velmi dobrého přizpůsobení křivce $V(\lambda)$.

Pro měření v jiných než viditelných částech elektromagnetického spektra, např. UV (ultrafialové) či IR (infračervené) oblasti, nebo pro specifická měření jsou vhodné fotočlánky s jinou křivkou spektrální citlivosti než $V(\lambda)$ [12].

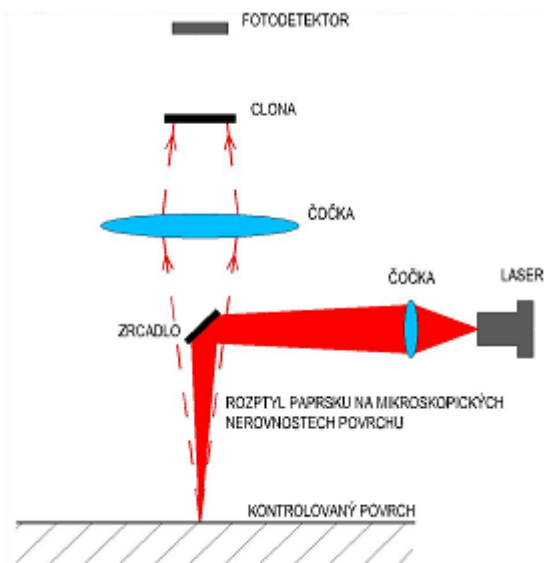
Závislost vlastností fotočlánku na teplotě

Při teplotách okolo 25°C se křemíkové fotočlánky nejvíce přibližují lineární závislosti fotoproudu na osvětlení a křivka spektrální citlivosti se nejvíce podobá $V(\lambda)$. Při těchto teplotách se také provádí nejvíce měření a regulace teploty fotočlánků není potřebná. V ostatních případech je možné zvolit speciální fotočlánky, u nichž je výrobcem garantována nezávislost na teplotě (až do 45°C) [12].

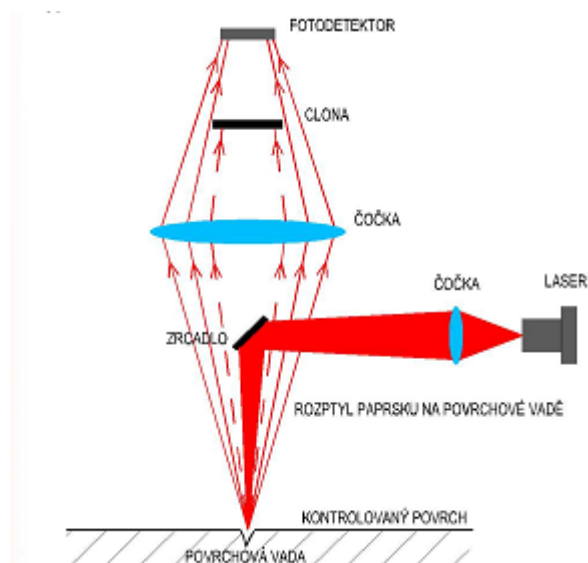
3.4 Princip detekce povrchových vad metodou snímání rozptylu laserového paprsku

Princip detekce povrchových vad je následující. Laserový paprsek je pomocí optiky zaostřen kolmo k povrchu zkoušeného materiálu. Dle zákona o úhlu dopadu a odrazu světla, dochází při dopadu paprsku na povrch k jeho rozptylu na mikroskopických nerovnostech. Takto odražený a rozptýlený paprsek vstupuje do optiky, jenž má za úkol soustředit tyto paprsky na fotodetektor. V tom mu ale částečně brání clona jenž má za úkol právě výše zmíněné vlivy mikro nerovností odfiltrovat (obr. 3.25).

V případě, že paprsek narazí na povrchovou vadu, dojde k mnohonásobně většímu rozptylu paprsku. Rozptýlené paprsky pod takovýmto úhlem už clona není schopna (ani nemá být schopna) odstínit a tudíž tyto paprsky dopadnou na fotodetektor (obr. 3.26).



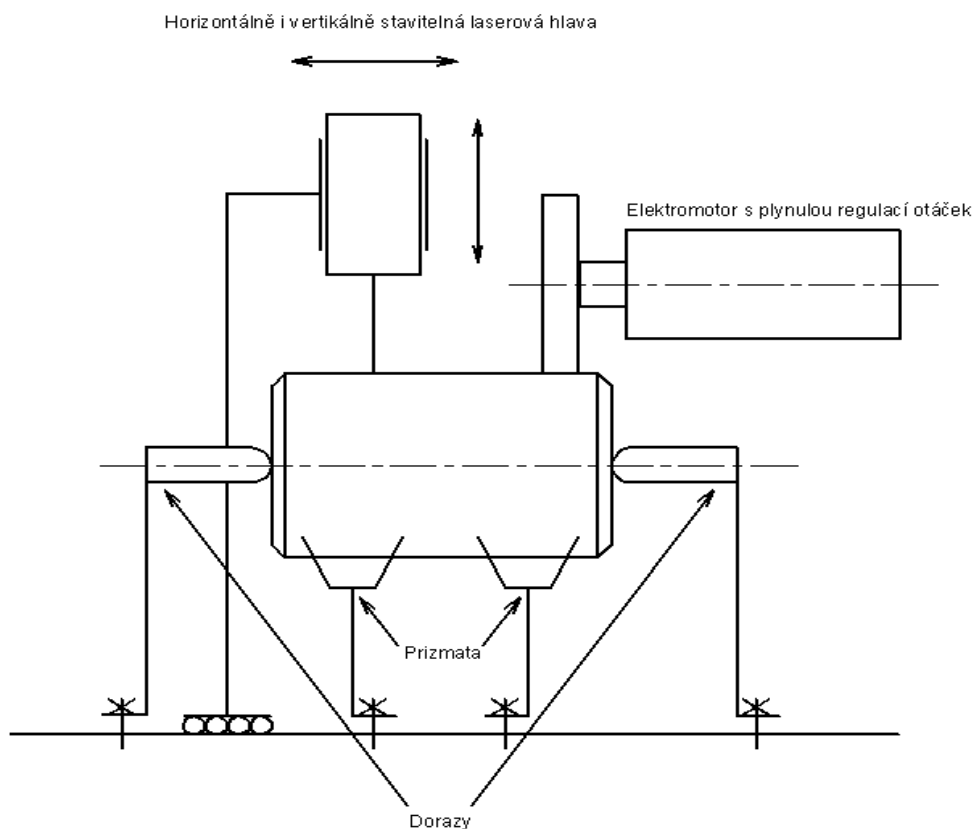
Obrázek 3.25 Schéma při kontrole povrchu bez vady



Obrázek 3.26 Schéma při kontrole povrchu s vadou

Návrh konstrukce zařízení pro detekci povrchových vad metodou snímání rozptylu laserového paprsku

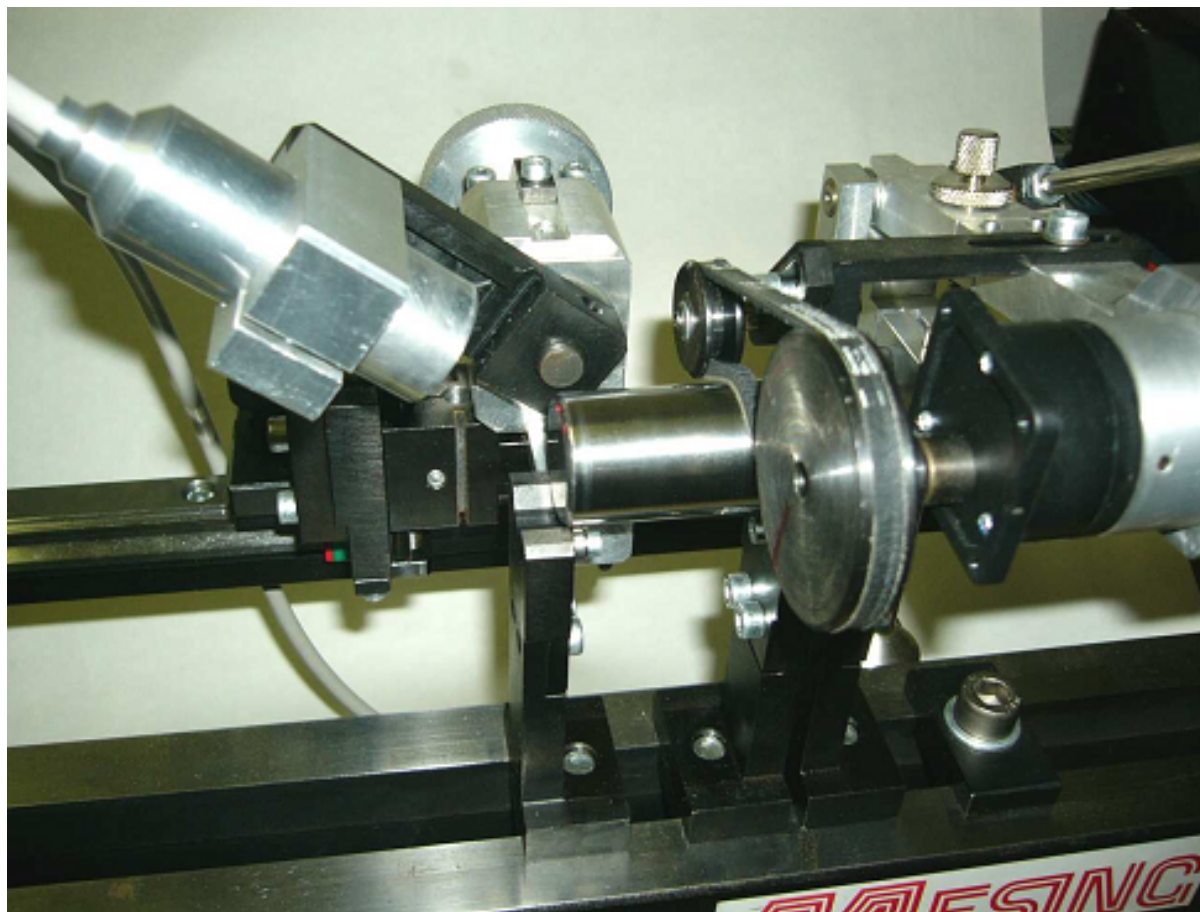
Základním stavebním prvkem celé měřící sestavy je dostatečně tuhá základna na ,které jsou upevněny kontrolované součástky a snímací prvek. Uchycení součástek bude realizováno pomocí podélně stavitelných prizmat. Celé toto uchycení bude navíc jištěno koncovými posuvnými dorazy na obou stranách. Jelikož pro kontrolu celého povrchu součásti je nutné ,aby tato součástka konala rotační pohyb, bude použit elektromotor. Otáčky elektromotoru bude možno regulovat v rozsahu $5 - 20 \text{ s}^{-1}$ Samotná kontrola bude probíhat za současného rotačního pohybu součástky a translačního pohybu snímače podél osy rotace součástky, díky čemuž bude dosaženo kontroly celého povrchu. Podélný posuv snímače bude obstarávat elektromotor s lineárním vedením rovněž vybaven regulátorem otáček, umožňující plynulou regulaci rychlosti pohybu (obr. 3.27).



Obrázek 3.27 Schéma konstrukce měřícího přístroje

3.5 Praktické ověření metody detekce povrchových vad broušených povrchů metodou snímání rozptylu laserového paprsku

Měření bylo provedeno na experimentálním přístroji (obr. 3.28) firmy Mesing s.r.o. Jedná se o univerzální verzi přístroje pro detekci povrchových vad pomocí rozptylu laserového paprsku. Přístroj se skládá z dvojice stavitelných prizmatických podložek, jenž umožňují umístění rotačních součástí různých délek a průměrů. Rotační pohyb kontrolované součásti je zajištěn elektromotorkem s řemenovým převodem. Změnu rychlosti otáčení elektromotoru zajišťuje frekvenční měnič. Laserový snímač je umístěn ve speciální naklápěcí hlavě, která umožňuje plynulý pohyb snímače podél osy otáčení součásti, rovněž umožňuje výškové nastavení laserového snímače a také je možno tento snímač naklápět v rozsahu $\pm 90^\circ$.



Obrázek 3.28 Měřicí přístroj

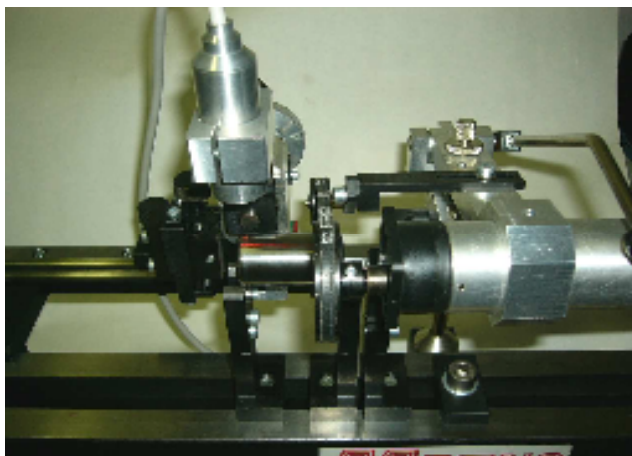
3.5.1 Provedené zkoušky

Rozdělení zkoumaných vad:

- a) vady válcové plochy (zábrusy, lunkry, nedosuperfinišované plochy)
- b) vady čelních ploch (zábrusy, záseky)
- c) vady rádiusů (zábrusy)

Vady válcové plochy

Při kontrole povrchových vad válcové plochy válečku byla laserová hlava natočena tak, aby paprsek dopadal kolmo na kontrolovanou plochu (obr. 3.29). Vzdálenost čela laserového snímače od povrchu kontrolované součásti činila 30 mm.



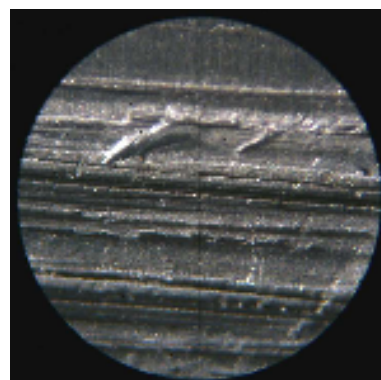
Obrázek 3.29 Nastavení měřicího přístroje při měření vad na válcové ploše

- Zábrusy na válcové ploše

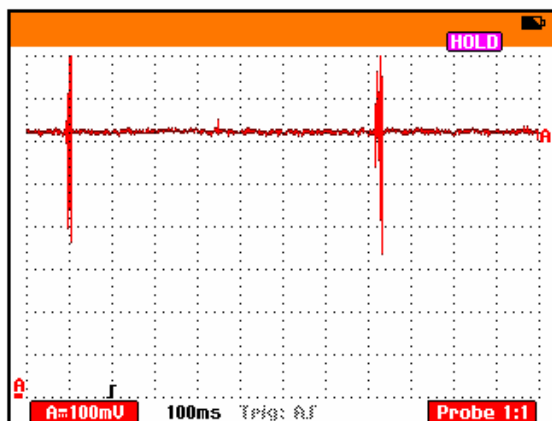
Tento typ vady byl spolehlivě detekovatelný, jak je možno vidět na obrázku získaného z osciloskopu (obr. 3.32). Aby bylo možno určit zda je tato metoda schopná detekovat určitý konkrétní druh povrchové vady, je nutno porovnat signál na němž se vyskytují povrchové vady se signálem na kterém žádné povrchové vady nejsou (obr. 3.39).



Obrázek 3.30 Zábrus



Obrázek 3.31 Detail zábrusu pod mikroskopem



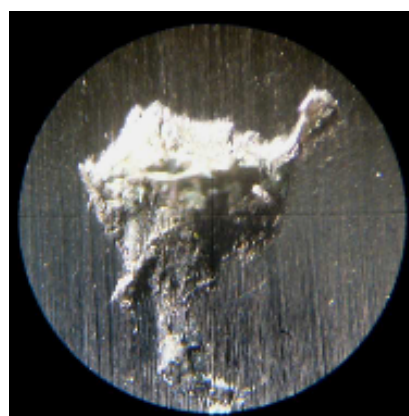
Obrázek 3.32 Signál vytvořený zábrusem
zobrazený na osciloskopu

- Lunker

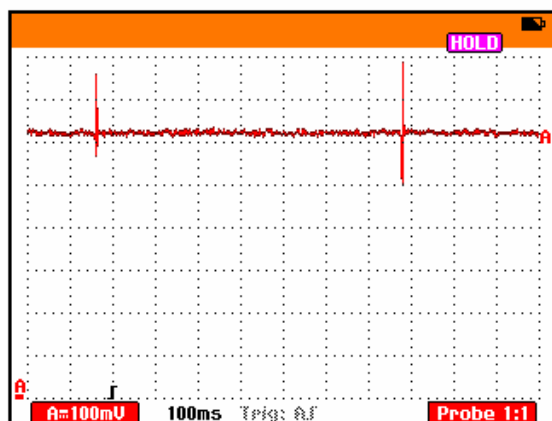
Rovněž tento typ vady byl spolehlivě detekován, jak je možno si ověřit na obrázku z osciloskopu (obr. 3.35).



Obrázek 3.33 Luncky



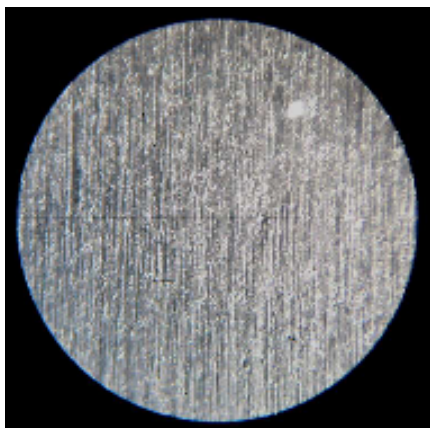
Obrázek 3.34 Detail lunkeru
pod mikroskopem



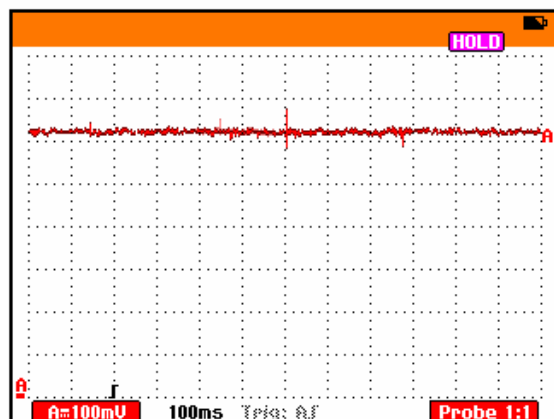
Obrázek 3.35 Signál vytvořený lunckem
zobrazený na osciloskopu

- Nedosuperfinašované plochy

Pro detekci tohoto druhu vad nelze tuto metodu použít. Ze signálu získaného skenováním takového povrchu nelze rozlišit signál z nedosuperfinašované plochy od povrchu bez vady. Nedosuperfinašovaná plocha se v signálu projevuje nepatrným zvýšením šumového signálu (obr. 3.37).



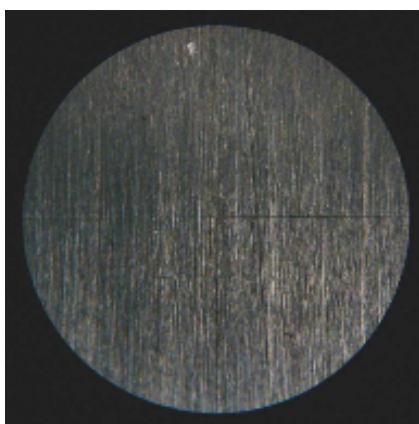
Obrázek 3.36 Detail nedosuperfinašované plocha pod mikroskopem



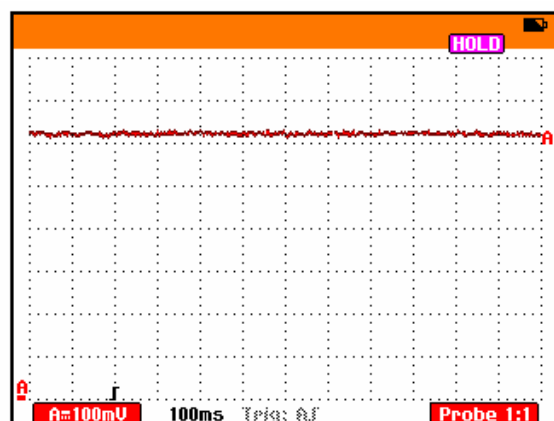
Obrázek 3.37 Signál vytvořený nedosuperfinašovanou plochou zobrazený na osciloskopu

- Povrch bez vady

Pro možnost vizuálního srovnání je přiložen obrázek z osciloskopu. Na tomto povrchu nebyla nalezena žádná vada, pouze je zde vidět drobný šum způsobený drsností povrchu (obr. 3.39).



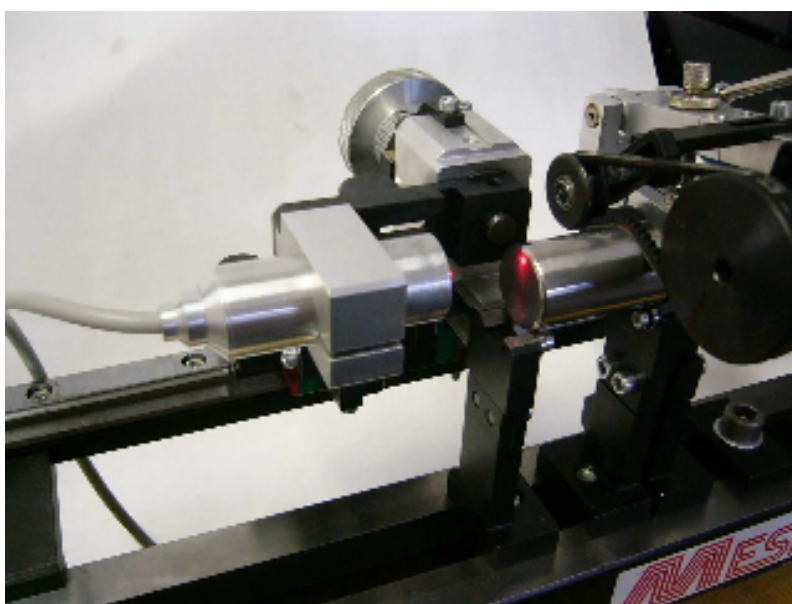
Obrázek 3.38 Povrch bez vady pod mikroskopem



Obrázek 3.39 Signál vytvořený povrchem bez vady zobrazený na osciloskopu

Vady čelních ploch

Při kontrole tohoto typu vad byla laserová hlava (oproti kontrole válcové plochy) natočena o úhel 90° . Z toho vyplývá, že laserový paprsek dopadal kolmo na plochu čela (obr. 3.40). Vzdálenost čela laserové hlavy od čela válečku byla jako u předchozí zkoušky nastavena na 30 mm. Laserovou hlavou se plynule přejíždělo ve směru od největšího průměru do středu válečku.



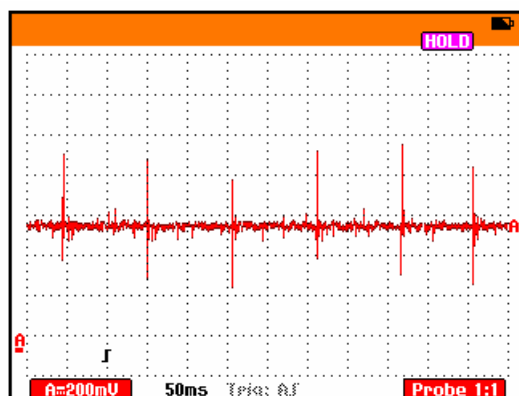
Obrázek 3.40 Nastavení měřícího přístroje při měření vad čelních ploch

- Záseky na čelních plochách

Tento typ vady je detekovatelný touto metodou, pouze za určitých podmínek. Vady musí být orientovány kolmo na směr otáčení a nebo šikmo na směr otáčení (obr. 3.41). Pokud se vyskytne vada, jenž je orientována ve směru otáčení (obr. 3.43), nelze ji s jistotou detekovat. Proto tato metoda není vhodná pro kontrolu tohoto konkrétního typu vad na čelních plochách. Na obrázcích z osciloskopu je jasně patrné, jak orientace a hloubka vady ovlivňuje možnost její detekce (obr. 3.42 a 3.44).



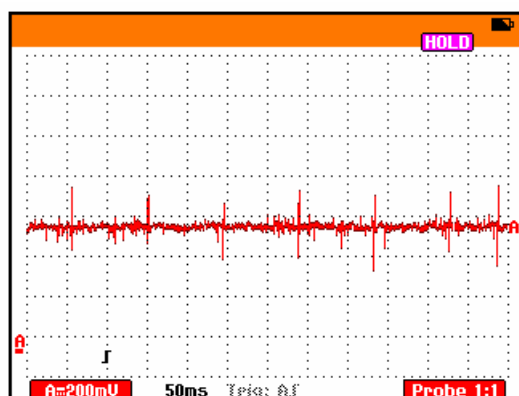
Obrázek 3.41 Hluboký zásek



Obrázek 3.42 Signál vytvořený hlubokým zásekem zobrazený na osciloskopu



Obrázek 3.43 Mělký zásek



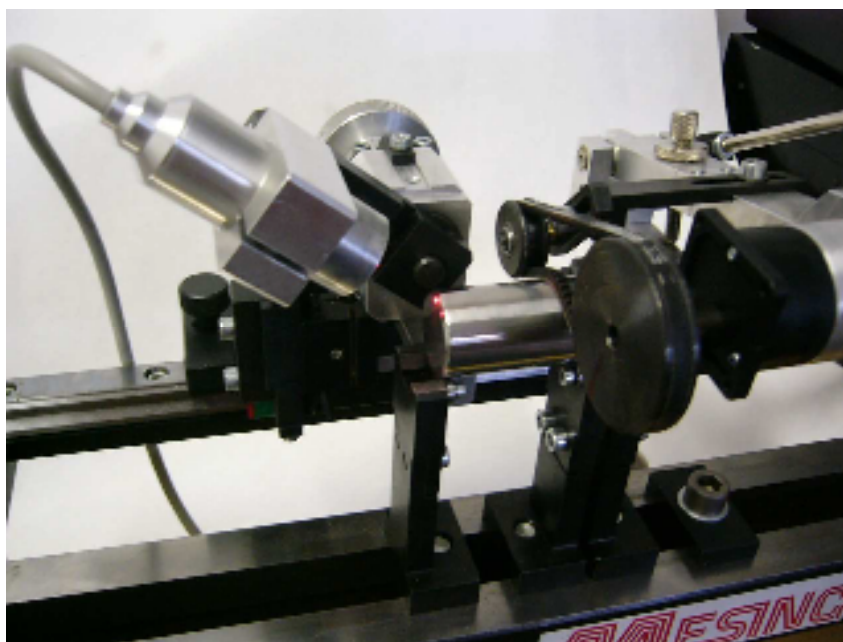
Obrázek 3.44 Signál vytvořený mělkým zásekem zobrazený na osciloskopu

- Zábrusy na čelních plochách

Tyto vady se touto metodou nedají detekovat vůbec. Při detekci není možné spolehlivě oddělit šumovou složku signálu od té, jež představuje zábrus. Graficky se tento typ vady na osciloskopu projevuje podobně jako nedosuperfinašovaná plocha.

Vady rádiusů

Pro detekci tohoto typu vad se nejvíc osvědčilo natočení laserové hlavy o 55° vůči válcové ploše válečku. Díky této poloze, paprsek směřoval na čelní plochu válečku v těsné blízkosti rádiusu (obr. 3.45). Vzdálenost od čela laserové hlavy k čelní ploše válečku zůstala zachována a činila 30 mm.



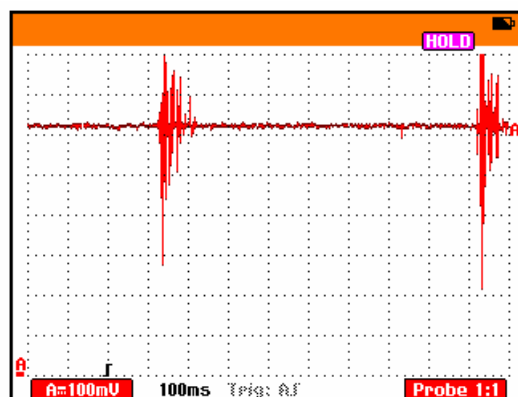
Obrázek 3.45 Nastavení měřícího přístroje při měření vad rádiusů

- Zábrusy na rádiusech

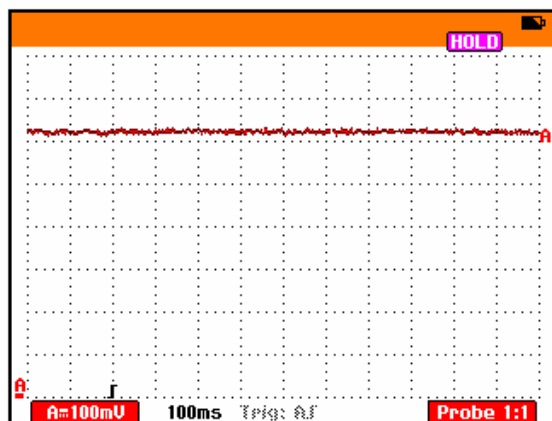
Pro detekci tohoto typu vad lze metodu rozptylu laserového paprsku použít. Toto si lze vizuálně ověřit na snímcích z osciloskopu, srovnáním snímku se zábrusem na rádiusu a bez zábrusu (obr. 3.47 a 3.48).



Obrázek 3.46 Zábrus



Obrázek 3.47 Signál vytvořený zábrusem zobrazený na osciloskopu



Obrázek 3.48 Signál vytvořený povrchem
bez zábrusu zobrazený na osciloskopu

4 ZHODNOCENÍ

Díky výsledkům získaným při použití námi zvolené součástky a experimentálního přístroje firmy Mesing a.s., můžeme konstatovat, že metoda detekce povrchových vad pomocí rozptylu laserového paprsku je vhodná pro použití u těchto druhů vad na této konkrétní součástce:

- a) Materiálové vady na válcové ploše,
- b) Zábrusy na válcové ploše,
- c) Záseky na čelních plochách,
- d) Zábrusy na rámusech.

Rovněž bylo zjištěno ,že u uvedených typů vad na nebyla tato metoda spolehlivá:

- a) Nedosuperfinašované plošky na válcové ploše,
- b) Nedosuperfinašované plošky na čelních plochách,
- c) Zábrusy na čelních plochách.

Technicko-ekonomické zhodnocení

Předpokládaná cena strojního automatu pro kontrolu povrchových vad pomocí rozptylu laserového paprsku pro zvolenou součást byla stanovena na 1 350 000kč.

Náklady na kontrolu těchto součástí byly stanoveny takto dle počtu pracovníku podílejících se na kontrole. Na procesu kontroly se podílí celkem 3 lidé na každé ze 3 denních pracovních směn. Náklady na každého jednotlivce činí 18 000 Kč (jedná se o hrubou mzdu zaměstnance plus sociální a zdravotní pojištění, jenž za něj odvádí státu zaměstnavatel). Z toho vyplývá, že náklady na kontrolu za jeden měsíc činí 162 000 Kč. Investice vložená do nákupu tohoto zařízení by se vrátila zhruba za 9 měsíců.

5 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo zhodnotit stávající metody kontroly povrchových vad a to z hlediska jejich možnosti plného nasazení do pracovního procesu. Rovněž byly nastaveny kritéria, jenž musela vhodná metoda splňovat. V dnešní době hojně používaná metoda detekce povrchových vad pomocí vizuální kontroly, čili pomocí lidského zraku, je metodou značně subjektivní, pomalou a nespolehlivou. Penetrační zkoušku nelze z časových důvodů provádět přímo v pracovním procesu, rovněž ji nelze zautomatizovat a v neposlední řadě se jedná rovněž o zkoušku subjektivní. Některé magnetoinduktivní a elektroinduktivní zkoušky jsou s úspěchem použitelné k detekci povrchových vad, jelikož splňují podmínku objektivity. Bohužel je nelze integrovat přímo do výrobního procesu.

Byly navrženy dvě metody pro kontrolu povrchových vad. První z těchto metod byla popsána jen v teoretické rovině, jelikož k jejímu ověření zde nebyla možnost. Jedná se o metodu detekce povrchových vad pomocí systému digitálního zpracování obrazu. Metoda detekce povrchových vad pomocí metody snímání rozptylu laserového paprsku byla nejen teoreticky popsána, ale i prakticky ověřena a to díky pomoci firmy Mesing s.r.o.

Při ověření způsobilosti metody detekce povrchových vad pomocí rozptylu laserového paprsku, jsme dospěli k několika zjištěním. Tato metoda splňuje nároky na 100% kontrolu, přitom levnou, rychlou a spolehlivou. Dokáže detekovat velké množství druhů povrchových vad, ale jako každá jiná detekční metoda i tato má svá omezení. Jelikož žádná metoda nedokáže postihnout všechny druhy vad, je proto na uvážení zájemce o tuto metodu detekce, zda je či není tato metoda pro něj vhodná.

Hlavním přínosem této práce je rozbor všech použitelných metod pro kontrolu povrchových vad a ověření metody detekce povrchových vad pomocí rozptylu laserového paprsku.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PTÁČEK, L a kolektiv. *Nauka o materiálu I*. 1. vyd. 2003. ISBN 80-7204-283-1.
- [2] *Elektrika každý den* [online]. c2006. Dostupné z:<http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-04-01.2480110481>
- [3] *NDT Resource Center, EC Testing* [online]. c2001. Dostupné z:http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/cc_ec_index.htm
- [4] BILÍK, O *Obrábění I duhý díl* 1. vyd. 2002. ISBN 80-248-0033-0.
- [5] *Průmyslové kamery s vysokým rozlišením* [online]. 2003 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <http://www.proxis.eu/mega_plus.htm>.
- [6] KRATOCHVÍL, Tomáš . *Digitální video* [online]. 2002 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/02062/index.html>>.
- [7] HAVLE, Otto. *Smart kamery pro strojové vidění*. Automatizace [online]. 2007, roč. 50, č. 1 [cit. 2008-05-06], s. 32. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1588>>.
- [8] KABEŠ, Karel. *Digitální zpracování obrazů v průmyslu*. Automatizace [online]. 2004, roč. 47, č. 11 [cit. 2008-05-06], s. 665. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=376>>.
- [9] *Laser* [online]. 2008 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>>.
- [10] *Fotodioda* [online]. 2008 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotodioda>>.
- [11] *Photoelectric Cells* [online]. 2000 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <http://members.tripod.com/~Eagle_Planet/photoelectric.html>.
- [12] *Čidla zářivé energie* [online]. 2002 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://projektaalfa.ic.cz/fotonky.htm>>.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

σ	[N/m]	povrchové napětí kapaliny
α_1	[°]	úhel v prostředí vzduch
α_2	[°]	úhel na rozhraní materiál – vzduch
R_m	[H ⁻¹]	magnetický odpor
H	[A.m ⁻¹]	intenzita rozptylového pole
B	[T]	magnetická indukce