

Vyšší škola strojí a textilní v Liberci
ústřední řádu práce

Fakulta strojí

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie
zaměření

Strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenská metalurgie

ZJEŠŤOVÁNÍ PODMÍNEK ABSORPCE PLOŠNÉ PRO LASEROVÉ

ZPRACOVÁNÍ OCELI

KON - 281

Ing. Pavel

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. JIŘÍ MORYMA CSc.
VŠST Liberec

Konzultant: RNDr. Ing. Lubomír SOBOŠKA CSc.
KFy - VŠST Liberec

Režim práce a příloh:

Počet stran: 49

Počet tabulek: 8

Počet obrázků: 16

Počet příloh: -

10. května 1988

strojná a textilní
Vysoká škola: **V Liberci** Fakulta: **strojná**
Katedra: **materiálu a strojírenské** Školní rok: **1987/88**
metallurgie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Pavel U X A**
obor **strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Zjišťování podmínek absorpce povrchů pro laserové
spracování oceli**

Zásady pro vypracování:

1. Shrňte poznatky o způsobech snižování odrazivosti povrchů oceli pro jejich laserové zpracování
2. Změřte odrazivost laserového záření různých vlnových délek a sledujte korelaci odrazivosti obou druhů záření na různých opracovaných površích oceli /10,6 μ m a 633 nm/
3. Naneste na povrchy oceli vhodnou látku tak, aby byla sejištěna co největší absorpce /co nejnižší odrazivost/ laserového záření.
4. Zhodnoťte pozitivost nanosených vrstev metodou měření odrazivosti a metodou přímého působení laserového záření na laserem zpracovaný povrch.
5. Měření provádějte na soustružených vzorcích oceli.

V 164 / PLS

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

*Ucel - kate - j. sch
- d. sch - d. sch*

KMM/JM

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: **v oca 50 stran**

Seznam odborné literatury:

- /1/ NOVÁKOVÁ, I. : Sborník přednášek 8. celostátního semináře "Metody sledování povrchů materiálů zpracovaných pomocí laserových paprsků. VŠST 1987, str. 24**
- /2/ SOBOŠKA, L. et al. : Očte , str 42**
- /3/ NEVYHOŠŤENÝ, P. : Diplomová práce. VŠST Liberec, 1986.**
- /4/ NYŠLAVÍ, J. : Diplomová práce VŠST Liberec, 1986**
- /5/ Casopisy - Jemná mechanika a optika, Strojírenství**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Moryna, CSc**

Datum zadání diplomové práce: **7.9.1987**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.5.1988**



Zdeněk Holubec
Doc. Ing. Zdeněk Holubec, CSc

Vedoucí katedry

Vladimír Prašil
Prof. Ing. Vladimír Prašil, DrSc

Děkan

V **Liberci** dne **4.9.1987** 19

**"Vistupfeněně přehledně, že jsou diplomované práce
vypracované samostatně s použitím vhodných literatury".**

v Liberci, dne 10. května 1968

Jin. Čech
.....

Obsah	str.
1. Úvod	6
2. Teoretická část	8
2.1. Odraz laserového záření od povrchů kovových materiálů	8
2.1.1. Teoretický rozbor odrazu světla	8
2.1.2. Odraz laserového záření	11
2.1.3. Odraz světla na opticky hladkých površích	12
2.1.4. Odraz světla na technických površích	13
2.2. Absorpce laserového záření kovovými materiály	15
2.2.1. Význam absorpce pro tepelné zpracování laserem	15
2.2.2. Fyzikální absorpce	15
2.2.3. Interakce laserového záření s povrchem kovu	16
2.3. Způsoby snížení odrazivosti povrchů ocelí	18
2.3.1. Puklinní záření kovu	18
2.3.2. Povrchové úpravy	18
2.3.3. Fyzikální vlastnosti antireflexních povlaků	20
2.3.4. Vliv tloušťky povlaku na absorpci laserového záření	21
2.3.5. Chemické povlaky z anorganických barev při ozáření laserem	23
2.4. Závislost účinnosti povlaku na parametrech lasera	26
2.4.1. Závislost na rychlosti zpracování	26
2.4.2. Závislost na výkonu lasera	27

	str.
3.	Praktická část 28
3.1.	Příprava vzorků 28
3.2.	Příprava povrchových úprav 29
3.2.1.	Zvolené povrchové úpravy 29
3.2.2.	Popis způsobu provedení povrchových úprav 29
3.2.3.	Označení vzorků 31
3.3.	hodnocení účinnosti antireflexních povlaků 33
3.4.	Něfazi odrazivosti laserového záření 34
3.4.1.	Něfazi odrazivosti záření o vlnové délce 633 nm 34
3.4.1.1.	Metoda něfazi 34
3.4.1.2.	Naměřené hodnoty 35
3.4.2.	Něfazi odrazivosti záření o vlnové délce 10,6 μm 37
3.4.2.1.	Metoda něfazi 37
3.4.2.2.	Naměřené hodnoty 38
3.5.	Něfazi absorpce interakcí laserového záření s materiálem 41
3.5.1.	Vyhodnocení označených vzorků 41
3.5.2.	Něfazi tepelné expanzní účinnosti 42
3.5.3.	Výsledky interakce laserového záření s materiálem 43
3.5.4.	Grafické znázornění výsledků 43
4.	Zhodnocení výsledků a závěr 45
4.1.	Zhodnocení odrazivosti laserového záření různých vlnových délek na různě opracova- ných površích soli 45
4.2.	Zhodnocení účinnosti antireflexních povlaků metodou interakce laserového záření s materiálem a metodou odrazivosti 45
4.3.	Závěr 47
5.	Literatura 48

1. Úvod

XVII. sjezd KSČ položil v souvislosti s cíli dalšího sociálního rozvoje velký důraz na strategii urychlení hospodářského rozvoje a jeho intenzifikaci a k zajištění těchto cílů na vědeckotechnický pokrok a jeho rychlé a všestranné uplatňování ve společenské praxi.

Vědeckotechnický pokrok je tak chápán jako základna uskutečňování intenzifikace a strukturální technické přestavby národního hospodářství a na tomto základě jako rozhodující faktor zabezpečování dynamiky dalšího hospodářského a sociálního rozvoje. Všestranná intenzifikace naší ekonomiky je podmíněna podstatným urychlením vědeckotechnického pokroku a důsledným zaváděním jeho výsledků do praxe. Je nutné rychle a v největší míře uplatňovat technologické inovace, přinášející výrazný společenský efekt, vysokou technickou úroveň a kvalitu výroby. Je to jedna z cest k růstu produktivity práce.

Strategie budoucího hospodářského a sociálního rozvoje je založena na urychlení dynamiky hospodářského rozvoje a opírá se o další růst národního důchodu o více než 2/3 do roku 2000, oproti roku 1969, při snížené energetické náročnosti jeho tvorby nejméně o 1/3, náročnosti na železnou rudy o 40 - 50 %.

8. zasedání ÚV KSČ položilo velký důraz na rozhodnější využívání vědy a technického pokroku jako základního činitele intenzifikace, trvalého růstu produktivity práce a tím i uspokojování potřeb lidu. Jejich prostřednictvím je nezbytné dosáhnout vyššího zhodnocování všech zdrojů a širěji využít vnitřní rezervy. Realizace výsledků vědy a techniky musí přispět zejména k racionalizaci

výroby, snižování spotřeb paliv, energie, kovů a dalších surovin a materiálů, zvyšovat kvalitu výroby, snižování ztrát ve všech fázích výrobního procesu.

Dlouhodobý program racionalizace spotřeby kovů a jejich využití se zaměřuje na tyto oblasti:

- těžba a úprava rud, kde těžiště úspor kovů spočívá ve výtěžnosti úpravárenských technologií a v zavádění progresivních metod úprav rud,
- v hutní výrobě jde o snižování ztrát kovové substance ve výrobě oceli, modernizaci a intenzifikaci technologických pochodů, u hutních výrobků se racionalizační opatření orientují na pokračové technologie liti a tvářeni, dále na užší tolerance přesnosti paletovarů, zaváděných ekonomických profilů, rozvinutí progresivních metod využití kovového odpadu v hutích, do této oblasti patří i rozvoj práškové metalurgie včetně aplikace supertvrdých a speciálních materiálů,
- aplikace kovových materiálů, která zahrnuje široké pole možností racionalizace při konstrukci strojů i ve strojírenských technologiích a v záměných materiálech,
- opatření systémového, ekonomického a organizačního charakteru zaměřené na zainteresovanost na racionální využívání kovů, na cenovou politiku, na normování spotřeby materiálu, informace, výuce i na rozvoj iniciativy pracujících.

V oblasti technologie se zaměřit na vysoce produktivní a efektivní technologie. Do této oblasti je možné zavést i laserovou technologii.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. ODRAZ LASEROVÉHO ZÁŘENÍ OD FYZICKY KONDYČNÍM MATERIÁLEM

2.1.1. TEORETICKÝ ÚČET ODRAZU SVĚTLA

Dopadá-li na těleso elektromagnetické vlnění, pak energie tohoto vlnění se obecně dělí na tři části:

1. část, která je odražena od povrchu tělesa,
2. část, která prochází tělesem,
3. část, která je tělesem pohlcována.

Zavedeme-li v celkového zářivého toku poměrné veličiny pro každou z těchto energií jakožto poměr k celkové energii na těleso dopadající, dostaneme:

1. poměrnou odrazivost R
2. poměrnou propustnost D
3. poměrnou pohltivost A

Obdobně lze definovat i poměrné veličiny monochromatické jako R_λ , D_λ , A_λ , platící v intervalech vlnové délky λ , $\lambda + d\lambda$.

Jakékoli záření nemění odrazem nebo lomením vlnovou délku. Z věty o zachování energie pak plyne, že

$$A_\lambda + R_\lambda + D_\lambda = 1 \quad (1a)$$

a zároveň

$$A + R + D = 1. \quad (1b)$$

Přitom ovšem obecně platí

$$A_\lambda : R_\lambda : D_\lambda \neq A : R : D. \quad (2)$$

Kovy propouštějí elektromagnetické záření jen v nejtenších vrstvách, proto vyjma nejslabší vrstvy kovů měly by vždy zanadbat a počít

$$R_\lambda + A_\lambda = 1 \quad (3a)$$

$$R + A = 1 \quad (3b)$$

jako vztah charakteristický pro kovy a tím, že pro čisté povrchy je ve viditelné části spektra

$$R \gg \lambda. \quad (4)$$

Tím se čisté kovové povrchy značně liší od tzv. absolutně černého tělesa, u něhož platí, že pro celý vlnový rozsah $\lambda = 0$ až $\lambda = \infty$ je

$$A_\lambda = 1 \quad (5a)$$

$$A = 1. \quad (5b)$$

Jinak je tomu s oxalizenými povrchy, u kterých vždy platí /1/:

$$R_{ox} < R_{čist} \quad (6)$$

$$A_{ox} > A_{čist} \quad (7)$$

Součinitel odrazivosti R závisí jak na veličinách charakteristických pro záření (vlnová délka λ , frekvence ν , intenzita dopadajícího záření I_0 , doba působení pulsu t , polarizace záření p), tak na charakteristikách materiálu, jako je snížená vodivost kovů σ , index lomu n , permittivita ϵ a geometrie uspořádání povrchné dílny dopadu β , drsnosti povrchu d . Je tedy komplikovanou funkcí všech uvedených veličin, takže /2/:

$$R = R(\lambda, \nu, I_0, t, p, \beta, n, \sigma, \epsilon, d) \quad (8)$$

Optické vlastnosti kovů souvisí s přítomností volných elektronů, které kovy obsahují. Dopadnou-li elektromagnetické vlny na kov, uvedou se tyto elektrony do vynucených kmitů.

V případě velkých vlnových délek jsou volné elektrony v kovu přítomny jak velké odrazivosti, tak velké absorpce. Pro krátké vlnové délky, charakteristické pro laserové záření, se stávají obvodové elektrony důležitým faktorem, působícím snížení odrazivosti a absorpce. Uvažujeme-li jen

volné elektrony, je odrazivost při úhlu dopadu $\beta = 0$ přibližně dána vztahem /3/:

$$R = \frac{(n - 1)^2 + \alpha^2}{(n + 1)^2 + \alpha^2} \quad (9)$$

kde n = index lomu

α = index absorpce

Veličiny n a α se nazývají optické ukazatele kovu. Podle /4/ můžeme n a α popsat vztahy:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\bar{v}_c^2 + \omega^2}\right)^2 - \left(\frac{\bar{v}_c}{\omega} \cdot \frac{\omega_p^2}{\bar{v}_c^2 + \omega^2}\right)^2} - \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\bar{v}_c^2 + \omega^2}\right) \right)} \quad (10)$$

$$n = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\bar{v}_c^2 + \omega^2}\right)^2 - \left(\frac{\bar{v}_c}{\omega} \cdot \frac{\omega_p^2}{\bar{v}_c^2 + \omega^2}\right)^2} + \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\bar{v}_c^2 + \omega^2}\right) \right)} \quad (11)$$

kde ω_p = frekvence plazmy

\bar{v}_c = kolizní frekvence elektronů

ω = frekvence laseru

Odrazivost je závislá také na teplotě součásti.

Se vzrůstající teplotou se zvyšuje hustota fononů v pevné látce a tím i kolizní frekvence elektron-fonon /4/:

$$\bar{v}_c = \bar{v}_{rh} + \bar{v}_{st} \quad (12)$$

kde \bar{v}_{st} = kolizní frekvence elektron-efektivní porucha

Podle Debyeova modelu je možné stanovit lineární závislost mezi \bar{v}_{rh} a teplotou T . Peněvedž je pro mnoho kovů známa tepelná vodivost $\lambda(T)$ až k teplotě vypařování, můžeme pomocí Wiedemann-Franzova vztahu k přepočítání teplotní závislosti kolizní frekvence elektronů post /4/:

$$\bar{v}_c(T) = \omega_p^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{L}{\lambda(T)} T \quad (13)$$

kde ... $\nu_e(T)$ = teplotní závislost kolizní frekvence elektronů
 ϵ_0 = dielektrická konstanta
 L = Lorentzovo číslo
 $\lambda(T)$ = teplotní vodivost
 T = teplota

2.1.2. Výraz laserového záření

Dopadá-li laserové záření výkonových laserů na povrch materiálů, dochází k interakci energie laserového záření nejprve s povrchem a později i s vnitřkem materiálu. Celkovou energetickou bilanci interakce laserového záření s materiálem lze popsat rovnicí tvaru /2/:

$$(1-R) P t = \rho V (\epsilon_p ((T_m - T_0) + (T_v - T_m)) + L_m + L_v) + E_R + E_Z \quad (14)$$

kde ... P = výkon laseru
 t = doba působení laserového záření na materiál
 R = součinitel odrazivosti
 ρ = hustota materiálu
 ϵ_p = měrná teplotní kapacita materiálu
 L_m = latentní teplo tání
 L_v = latentní teplo vypařování
 T_m = teplota tání materiálu
 T_v = počáteční teplota materiálu
 E_R = reakční energie vyvolaná v okolí materiálu
 E_Z = ztrátová energie

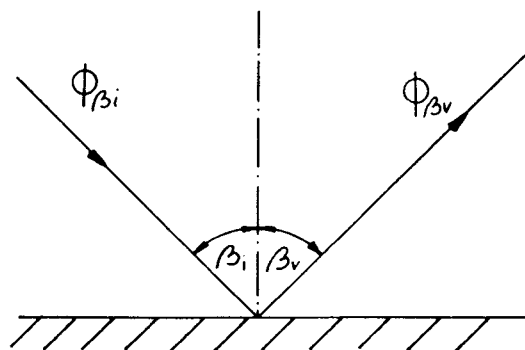
Velkou dílkou při laserovém působení na materiál hraje součinitel odrazivosti R , který představuje tu energii, která se při dopadu na povrch odráží, takže:

$$R = \frac{E_r}{E_0} = \frac{P_r}{P_0} = \frac{I_r}{I_0} \quad (15)$$

kde E_r , P_r , I_r jsou energie, výkon a intenzita odraženého záření a E_o , P_o , I_o jsou stejné veličiny dopadajícího svazku. Ze vztahu (14) je patrné, že pro $R = 1$ se veškerá energie od povrchu odráží a působení laserového záření na materiál je neúčinné. Je třeba povrchy kovových materiálů modifikovat tak, aby odrazivost kvantifikovaná součinitelem odrazivosti byla co nejmenší a v limitě, aby $R = 0$ [2].

2.1.3. Odráž světla na opticky hladkém povrchu [1]

K dokonale zrcadlovému odrazu světla dochází jen na kovevých plochách opticky hladkých, tj. takových, jejichž nerovnosti jsou alespoň o řád menší než nejkratší uvažovaná vlnová délka. Odráž na opticky hladkém povrchu znázorňuje obr. 1 ($\Phi_{\beta i}$ = dopadající zářivá energie, $\Phi_{\beta v}$ = odražená zářivá energie).



Obr. 1. Odráž na opticky hladkém povrchu

$\cos \bar{\beta}$

Pro odraz monochromatického nepolarizovaného světelného svazku platí obecně:

$$R_{\lambda i \beta i} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\beta_i - \bar{\beta})}{\sin^2(\beta_i + \bar{\beta})} + \frac{\text{tg}^2(\beta_i - \bar{\beta})}{\text{tg}^2(\beta_i + \bar{\beta})} \right] \quad (16)$$

kde ... $R_{\lambda i \beta i}$ = odrazivost pro danou vlnovou délku a úhel dopadu

$$\bar{\beta} = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \sin \beta_i \quad \text{nebo} \quad \sin \bar{\beta} = \frac{n_2}{n_1} \sin \beta_i \quad (17)$$

kde ... n_1, n_2 = relativní indexy lomu příslušných prostředí

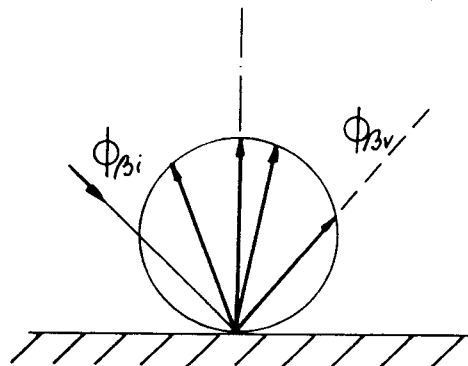
β_i = úhel dopadu

Vztah (16) se nesybojně zjednoduší pro kolmý dopad záření $\beta_i = 0$, kdy:

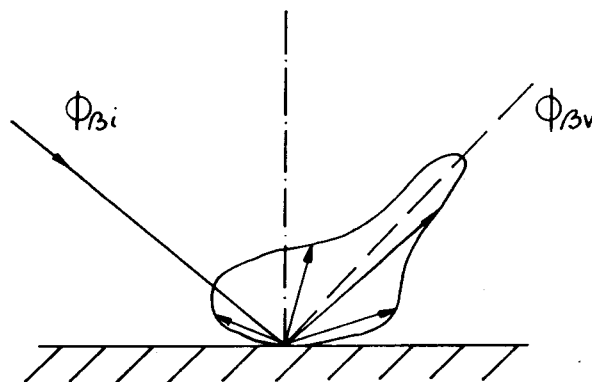
$$R_{\lambda 1} = \frac{\left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)^2}{\left(\frac{n_1}{n_2} + 1 \right)^2} \quad (18)$$

2.1.4. Odraz světla na technickém povrchu [1]

Na každém technickém povrchu dochází vlivem mikrogeometrie povrchu a přítomnosti tenkých vrstev, ať už kovových, nebo nekovových nejraznějšího původu, k odrazu, jenž je odlišný od odrazu na povrchu ideálně hladkém. Odraz na technickém povrchu znázorňuje obr. 2 a obr. 3.



Obr. 2. Odraz na středně lesklém povrchu



Obr. 3. Odraz na dokonale matném povrchu

U technických povrchů jsou namalované útvary přestřevé a vesměs rotační.

Odraz na nerovném povrchu je možno vysvětlit dvojím způsobem:

1. za použití kerpuskulární optiky, kdy skutečný povrch nahrazujeme geometricky ekvivalentním povrchem s optickými konstantami s uvažovaným kosem.
2. za použití vlnové optiky.