

Tadeusz BURAKOWSKI

ROLA POCHŁANIANIA PROMIENIOWANIA W PROCESIE NAGRZEWANIA LASEROWEGO

STRESZCZENIE *Omówiono oddziaływanie promieniowania świetlnego z obrabianym materiałem i rodzaje współczynnika pochłaniania (całkowity, monochromatyczny, półprzestrzenny i kierunkowy). Podano ogólną zależność pochłaniałości od 9 zmiennych. Przedstawiono wpływ chropowatości i stopnia skorodowania powierzchni metalowych na pochłaniałość promieniowania. Omówiono emisję i absorpcję promieniowania laserowego, różnicę między mocą (i gęstością mocy) padającą a pochłoniętą. Podano sposoby zwiększania współczynnika absorpcji.*

Słowa kluczowe: *promieniowanie, absorpcja, nagrzewanie laserowe*

1. WPROWADZENIE

We wszystkich technologiach, w których do obróbki materiału wykorzystuje się energię promieniowania elektromagnetycznego zakresu widzialnego (długości fal promieniowania $\lambda = 0,36-0,76 \mu\text{m}$) i niewidzialnego: nadfiolet ($\lambda = 0,01-0,36 \mu\text{m}$) i podczerwień ($\lambda = 0,76 \mu\text{m}$ do 1 mm), istotną rolę odgrywa pochłanianie promieniowania przez materiał obrabiany.

prof. dr hab. inż. Tadeusz BURAKOWSKI

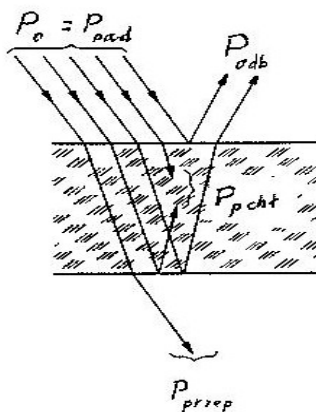
Politechnika Koszalińska
Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie

Od pochłaniałości promieniowania zależy sprawność energetyczna procesu, efektywność i racjonalność stosowania tych zakresów promieniowania elektromagnetycznego do obróbki materiałów, w tym również technologii laserowych, a zatem i energochłonność procesu.

Najczęściej wykorzystuje się efekt cieplnego działania pochłanianego promieniowania elektromagnetycznego.

2. ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA ŚWIETLNEGO Z OBRABIANYM MATERIAŁEM

Padająca na powierzchnię ciała moc promienista P_o zostaje: odbita P_{odb} , pochłonięta P_{pochl} i przepuszczona P_{przep} (rys. 1) [1-3].



Rys. 1. Odbijanie, pochłanianie i przepuszczanie promieniowania (mocy promienistej) przez ciało [1]

$$P_o = P_{odb} + P_{pochl} + P_{przep} \quad (1)$$

Po podzieleniu obu stron równania przez P_o uzyskuje się udziały w promieniowaniu całkowitym promieniowania odbitego, pochłoniętego i przepuszczonego, określane mianem współczynników:

$$1 = r + a + t \quad (2)$$

gdzie:

$r = P_o/P_{odb}$ – współczynnik odbicia (refleksyjności),

$a = P_o/P_{pochl}$ – współczynnik pochłaniania (absorpcji),

$t = P_o/P_{przep}$ – współczynnik przepuszczania (transmisji).

Wartości współczynników teoretycznie zawierają się w przedziale 0 – 1; mogą być również wyrażane w procentach (0 – 100%). Tylko dla teoretycznego

pojęcia ciała doskonale czarnego $a = 1$ lub $a = 100\%$. Praktycznie dla ciał nieczarnych zawsze $a < 1$.

W przypadku obróbki ciał nieprzezroczystych dla określonego zakresu promieniowania, współczynnik przepuszczania wynosi 0 ($t = 0$), zatem:

$$a = 1 - r \quad (3)$$

Zgodnie z prawem G.R. Kirchhoffa [1-3], współczynnik pochłaniania a wartościowo jest równy współczynnikowi emisyjności ε (emisji) – różny tylko jest ich sens fizyczny: jeden wyraża zdolność ciała do pochłaniania, drugi – do emitowania promieniowania temperaturowego, czyli

$$a = \varepsilon = 1 - r \quad (4)$$

Znając wartości liczbowe współczynnika odbicia r lub współczynnika emisji ε można określić wartość współczynnika pochłaniania a .

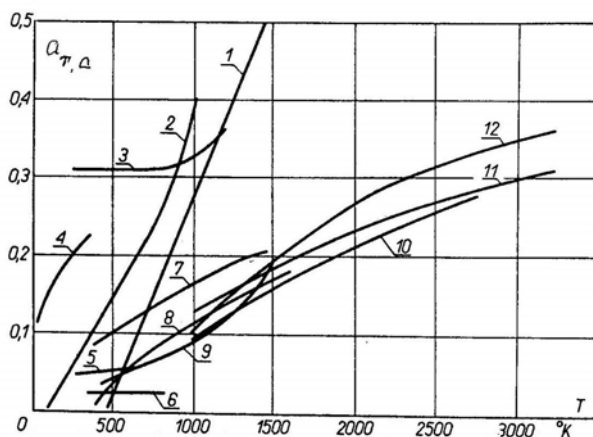
3. WSPÓŁCZYNNIKI POCHŁANIANIA (ABSORPCJI)

Rozróżnia się 5 współczynników pochłaniania (absorpcji) w zależności od zakresu widmowego i kierunku, z którego pada promieniowanie na rozpatrywany obszar [1-7].

Przyjmując za podstawę podziału:

1) rozpatrywany obszar widma promieniowania, można wyróżnić współczynnik pochłaniania a (podobnie jak współczynniki ε , r i t):

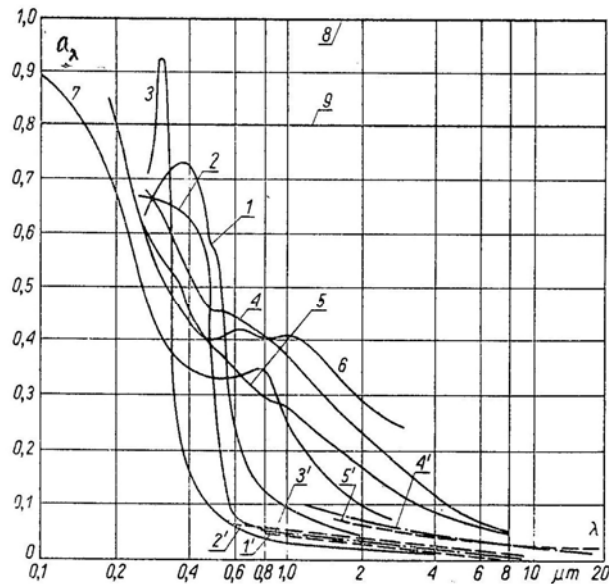
- całkowitego promieniowania, dotyczący całego obszaru widmowego promieniowania temperaturowego, oznaczanego zwykle indeksem T , czyli oznaczeniem a_T podkreślającym jego zależność od temperatury; $a_T = f(T)$ (rys. 2);



Rys. 2. Współczynnik półprzezroczysty pochłaniania promieniowania całkowitego metali w funkcji temperatury (z pracy [1]) na podstawie różnych źródeł:

1 – chromu; 2 – żelaza; 3 – tytanu;
4 – srebra; 5 – aluminium; 6 – miedzi;
7 – niklu; 8 – platyny; 9 – palladu;
10 – molibdenu; 11 – tantalu;
12 – wolframu

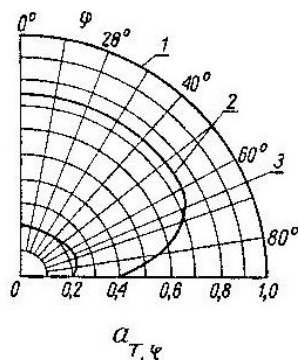
- monochromatycznego promieniowania, dotyczącego promieniowania o jednej tylko długości fali λ i oznaczanego przez $a_\lambda = f(\lambda)$ (rys. 3);



Rys. 3. Zależność współczynnika pochłaniania monochromatycznego a_λ od długości fali λ w temperaturze otoczenia; linie kreskowe są wynikiem aproksymacji liniowej; przykładowo podano również a_λ dla ciała doskonale czarnego i szarego (z pracy [1] na podstawie różnych źródeł): 1, 1' – miedź; 2, 2' – złoto; 3, 3' – srebro; 4, 4' – żelazo; 5, 5' – nikiel; 6, 6' – chrom; 7, 7' – aluminium; 8, 8' – ciało doskonale czarne; 9, 9' – ciało szare

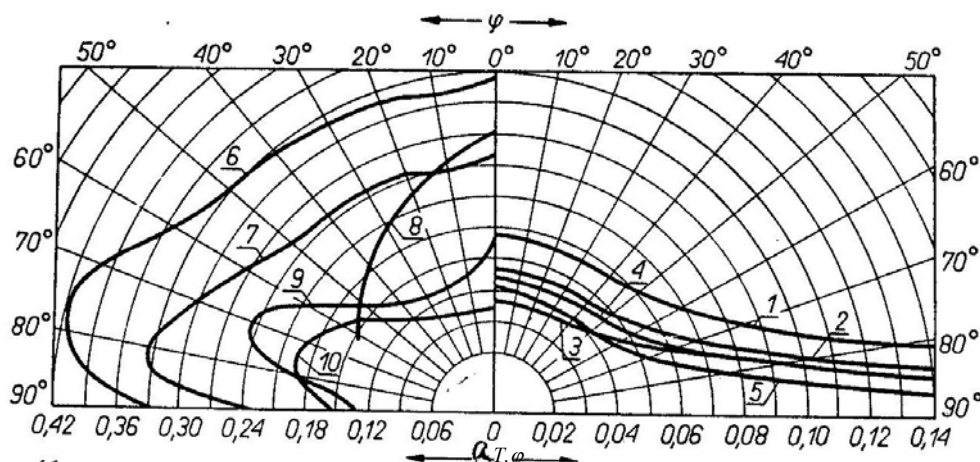
2) obszar, z którego pada promieniowanie na rozpatrywany element je pochłaniający, można wyróżnić współczynnik pochłaniania:

- półprzestrzenny (promieniowanie z półprzestrzeni pada na element pochłaniający, oznaczany a_p i często utożsamiany z a_T ,
- kierunkowy, informujący o zdolności pochłaniania promieniowania z kierunku odchylonego o kąt φ od normalnej n do powierzchni absorbującej i oznaczany jako a_φ , współczynnik pochłaniania z kierunku normalnego $\varphi = 90^\circ$ oznacza się zwykle jako a_n ; $a_T = f(\varphi)$ (rys. 4-6).

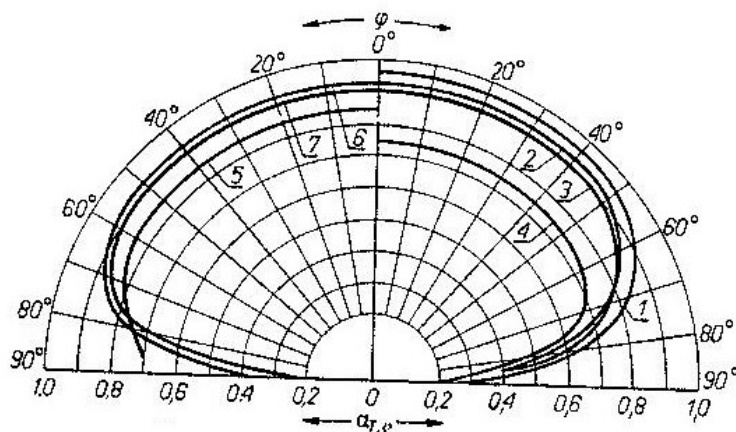


Rys. 4. Zależność współczynnika pochłaniania a_T od kąta φ między normalną do powierzchni a rozważanym kierunkiem dla typowych grup materiałów:

- 1 – ciało doskonale czarne;
- 2 – dielektryki;
- 3 – metale



Rys. 5. Zależność $a_{T,\varphi} = f(\varphi)$ dla niektórych metali (z pracy [1] na podstawie różnych źródeł): 1 – chrom; 2 – mangan; 3 – aluminium; 4 – nikiel o powierzchni polerowanej; 5 – nikiel o powierzchni matowej; 6 – bizmut; 7 – brąz aluminiumowy; 8 – żeliwo; 9 – mosiądz; 10 – żelazo



Rys. 6. Zależność $a_{T,\varphi} = f(\varphi)$ dla niektórych dielektryków o powierzchni matowej (z pracy [1] na podstawie różnych źródeł): 1 – lód (mokry); 2 – szkło; 3 – glina; 4 – tlenek miedzi; 5 – korund; 6 – drewno; 7 – papier

Oczywiście współczynniki a_T i a_λ są również funkcją kąta φ , czyli $a_{T,\varphi} = f(T, \varphi)$ i $a_{\lambda,\varphi} = f(\lambda, \varphi)$.

Z pewnym przybliżeniem można przyjąć, że między $a_{T,p}$ i $a_{T,n}$ istnieją następujące, określone doświadczalnie zależności [1-2]:

- dla polerowanych powierzchni metali $a_{T,n} \cong 0,83 a_{T,p}$
- dla gładkich powierzchni niemetali $a_{T,n} \cong 1,05 a_{T,p}$
- dla chropowatych powierzchni niemetali $a_{T,n} \cong 1,25 a_{T,p}$

W technologiach laserowych wykorzystuje się w zasadzie współczynniki monochromatyczne a_λ i kierunkowe normalne $a_{\lambda,n}$.

4. OGÓLNA FUNKCJA POCHŁANIALNOŚCI

Pochłanianie, podobnie jak emisyjność, można wyrazić jako funkcję trzech grup parametrów [8]:

$$a = F[\varphi(m), f(k_s), \Psi(n)] \quad (5)$$

gdzie:

- m – grupa parametrów zależnych od materiału pochłaniającego promieniowanie, głównie od jego składu chemicznego i struktury,
- k_s – grupa parametrów określających stopień skorodowania (zgorzenia) powierzchni materiału pochłaniającego promieniowanie,
- n – grupa parametrów uwzględniających nierówność (chropowatość) powierzchni pochłaniającej promieniowanie.

Stopień skorodowania (zgorzenia) określa skomplikowana funkcja pięciu parametrów:

$$k_s = \xi(t_u, \tau_u, \tau_p, \nu_t, k_w) \quad (6)$$

gdzie:

- t_u – temperatura utleniania warstwy wierzchniej materiału pochłaniającego promieniowanie,
- τ_u – czas utleniania warstwy wierzchniej,
- τ_p – temperatura pomiaru utleniania ($t_p \neq t_u$),
- ν_t – szybkość zmian temperatury odpowiednio t_u i t_p ,
- k_w – warunki korozyjne otoczenia warstwy wierzchniej materiału, które są funkcją rodzaju środowiska korozyjnego u , jego ciśnienia p i wilgotności w .

W technice laserowej otoczenie korozyjne może tworzyć powietrze lub gazy ochronne (albo ich mieszanina); może nim być również obłok plazmy gazu i cząsteczek materiału obrabianego.

Pochłanianie jest więc uwikłaną funkcją dziewięciu zmiennych, w większości wzajemnie ze sobą związanych:

$$a = F\{\varphi(m), f[t_u, \tau_u, \tau_p, \nu_t, \varphi(u, p, w)], \Psi(n)\} \quad (7)$$

Dla określonego materiału zależność upraszcza się o wielkość m , ale tylko w przypadku, gdy skład chemiczny i struktura warstwy wierzchniej pochłaniającej promieniowanie nie zmieniają się. W przeciwnym przypadku,

zachodzącym praktycznie w 90%, skład chemiczny i fazowy oraz struktura metalograficzna i stereometryczna powierzchni warstwy wierzchniej ulegają zmianie [8].

Istnieją bardzo duże trudności z rozdzieleniem wpływu poszczególnych parametrów na wartość współczynnika pochłaniania. Wyznaczenie funkcji (7) nie jest możliwe na drodze teoretycznej – można to zrobić jedynie empirycznie przez badanie pochłaniania promieniowania w funkcji poszczególnych parametrów – przy zachowaniu stałości pozostałych.

5. WPŁYW CHROPOWATOŚCI I STOPNIA SKORODOWANIA NA POCHŁANIALNOŚĆ PROMIENIOWANIA

Spośród wymienionych we wzorze (7) parametrów największy wpływ na pochłanianie promieniowania wywierają [8]:

- chropowatość powierzchni, w mniejszym stopniu wady struktury stereometrycznej powierzchni, w bardzo nieznacznym stopniu falistość powierzchni,
- stan fizykochemiczny warstwy wierzchniej, głównie stopień jej utlenienia lub wytworzenia na niej innych związków.

Metale i stopy znajdujące się w określonym środowisku, zwykle korozyjnym, w niskich temperaturach zazwyczaj korodują nieznacznie, wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się intensywność korozji, zwłaszcza tlenowej, aż od pewnych temperatur metal jest pokryty całkowicie grubą warstwą produktów korozji, najczęściej warstwą tlenków. Początkowo zatem promieniowanie pochłania sama czysta powierzchnia metalu, potem ta powierzchnia i pokrywająca ją warstewka korozyjna, która wreszcie staje się tak gruba, iż tylko ona pochłania padające promieniowanie. Przy tym jednocześnie ze stopniem skorodowania zmienia się chropowatość powierzchni oraz skład chemiczny i fazowy materiału pochłaniającego (metal → tlenki metali i inne produkty korozji).

Pochłanianie metalu, pracującego w atmosferze powietrza wynosi [8]:

$$a_T = a_{T(pocz.)} + \Delta a_T \quad (8)$$

gdzie:

$a_{T(pocz.)}$ – pochłanianie początkowe materiału nieutlenionego, zależna tylko od rodzaju materiału pochłaniającego i jego gładkości,

Δa_T – przyrost utlenialności w wyniku utleniania warstwy wierzchniej materiału pochłaniającego promieniowanie, przy czym:

$$\Delta a_T = \Delta a_{T(ch)} + \Delta a_{T(mt)} \quad (9)$$

gdzie:

$\Delta a_{T(ch)}$ – przyrost pochłaniałości wynikający ze wzrostu chropowatości powierzchni na skutek utleniania,

$\Delta a_{T(mt)}$ – przyrost pochłaniałości wynikający ze zmiany składu chemicznego i fazowego materiału pochłaniającego (metal \rightarrow tlenki).

Gdy charakter profilu nierówności można sprowadzić do szeregu wnęk o kształcie klina, a wnęki na profilogramie są odwzorowane przez zęby o kształcie trójkątów niezależnie od kierunku wykonywania profilogramu oraz określa się średnią pochłaniałość wnęki, składową pochłaniałości powodowaną przez zmianę chropowatości zgorzeli tlenkowej można określić ze wzoru [4, 6, 7]:

$$\Delta a_{T(ch)} = \Delta a_{T(pocz.)} \frac{W}{1 + (W - 1) \cdot a_{T(pocz.)}} \quad (10)$$

gdzie: W – wnękowość względna określana ze wzoru:

$$W = \frac{\eta_{w(t)}}{\eta_{w(pocz.)}} \quad (11)$$

gdzie:

$\eta_{w(t)}$ – wnękowość w temperaturze t ,

$\eta_{w(pocz.)}$ – wnękowość początkowa,

przy czym:

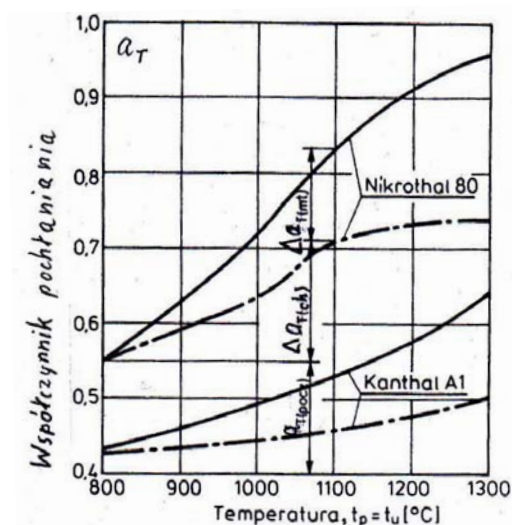
$$\eta_w = \sqrt{1 + h \left(\frac{Rz}{S} \right)^2} \quad (12)$$

gdzie:

Rz – wysokość nierówności powierzchni,

S – odstęp chropowatości powierzchni.

Na rysunku 7 pokazano wpływ składowej $\Delta a_{T(ch)}$ na pochłaniałość całkowitą a_T .



Rys. 7. Wpływ nierówności powierzchni (ch) i stopnia utlenienia materiału (mt) na współczynnik pochłaniania A_T w różnych warunkach temperaturowych (t_p – temperatura pomiaru, t_u – temperatura utleniania) dwóch różnych oporowych stopów grzewczych [1, 5, 8]

Wpływ drugiej składowej $\Delta a_{T(mt)}$ można określić ze wzoru (9) i (10), mierząc w określonych warunkach pochłaniałość a_T .

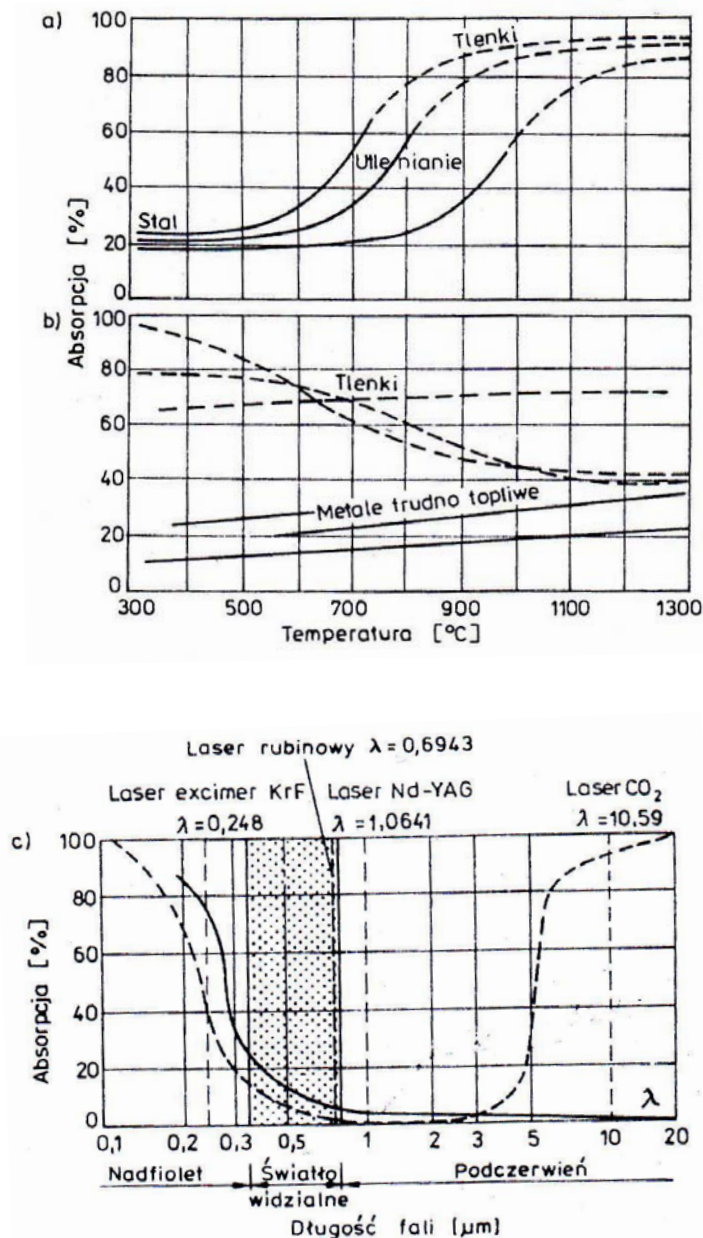
6. EMISJA I ABSORPCJA PROMIENIOWANIA LASEROWEGO

Lasery emitują wyłącznie promieniowanie optyczne monochromatyczne o różnej długości fal – od początków nadfioletu do średniofalowej podczerwieni – zależnej od budowy lasera, a ściślej – od rodzaju ośrodka laserującego.

Spośród najczęściej używanych w technice laserów, molekularne lasery CO_2 emitują promieniowanie podstawowe o długości fali $10,59 \mu m$, lasery Nd-YAG – $\lambda = 1,0641 \mu m$, ekscimerowy KrF – $\lambda = 0,248 \mu m$.

Ogólnie pochłaniałość promieniowania laserowego przez powierzchnie jasne, gładkie, błyszczące, lustrzane jest mała, zwłaszcza srebra, złota, miedzi (np. monochromatyczny współczynnik pochłaniania promieniowania lasera CO_2 przez polerowaną miedź wynosi zaledwie 2% [22]), aluminium, brązu. Rośnie ze wzrostem nierówności powierzchni, korozyjności środowiska (kwasowości, wilgotności) i stopniem skorodowania, które z kolei rosną ze wzrostem temperatury. Największą pochłaniałością odznaczają się powierzchnie chropowate, matowe, ciemne, utlenione, skorodowane. Pochłaniałość dielektryków (ceramik) jest większa niż metali. Poza tym pochłaniałość promieniowania przez warstwę wierzchnią zależy od długości fali padającego promieniowania oraz od stanu skupienia materiału pochłaniającego.

Ogólnie materiały metalowe dobrze absorbują promieniowanie nadfioletowe, słabiej widzialne i bardzo słabo – bliską i średnią podczerwień; tlenki metali nieco słabiej niż metale pochłaniają promieniowanie nadfioletowe i widzialne, za to zdecydowanie lepiej – średnią i długofalową podczerwień (rys. 8). Pochłanianie promieniowania nadfioletowego przez metale i niemetały zawiera się w obszarze ok. 10 do 90%, widzialnego – w obszarze od kilku do ok. 20%, bliskiej i średniej podczerwieni wynosi kilka procent, aby dla $\lambda > \sim 5 \mu\text{m}$ zmaleć prawie do zera dla metali i rosnąć do ponad 90% dla dielektryków [7, 9, 10].



Rys. 8. Typowe zależności współczynnika pochłaniania promieniowania dla metalu (linie ciągłe) i tlenków (linie kreskowe) [1]:

a) w funkcji temperatury dla stali czystej i utlenionej;

b) w funkcji temperatury dla większości metali trudno topliwych i tlenków;

c) w funkcji długości fali promieniowania laserowego padającego na nagrzewany materiał

Wzrost temperatury powierzchni nagrzewanego laserowo materiału powoduje wzrost absorpcji promieniowania. Dla metali obrabianych w atmosferze powietrza wzrost współczynnika pochłaniania występuje również w wyniku utleniania się powierzchni, a tlenki zazwyczaj – w tej samej temperaturze – lepiej pochłaniają promieniowanie niż metale. Dalszy bardzo gwałtowny, nawet skokowy wzrost absorpcji powoduje zmiana stanu skupienia nagrzewanego materiału (przetopienie). Powstający przy jeszcze większych gęstościach mocy i przy nagrzewaniu bardzo krótkimi impulsami promieniowania (np. nanosekundowymi) obłok plazmy ekranuje nagrzewany materiał.

7. GĘSTOŚĆ MOCY PADAJĄCEJ I POCHŁONIĘTEJ

Aby zapewnić możliwie wysoką efektywność nagrzewania laserowego, urządzenia, którego sprawność energetyczna wynosi zaledwie kilka procent, współczynnik pochłaniania monochromatycznego promieniowania laserowego powinien być możliwie duży, gdyż moc użyteczna P_u , która może być wykorzystana do obróbki, równa jest mocy pochłoniętej P_a , która z kolei równa się mocy emitowanej P_e przez laser pomniejszonej o współczynnik pochłaniania:

$$P_u = P_a = a_\lambda P_e \quad (13)$$

Praktycznie współczynnik a_λ może być większy od 0 i mniejszy od 1, czyli zawierać się w przedziale $0 < a_\lambda < 1$. Zakładając przedział od $a_\lambda = 0,1$ do $a_\lambda = 0,9$ ze wzoru (13) wynika, że wartość P_u może być 9-krotnie różna i np. może wynosić dla $P_e = 1000$ W odpowiednio $P_u = 100$ W lub $P_u = 900$ W. Jest to moc o blisko rząd wielkości różna.

W technice laserowej nie tylko ważna jest moc pochłonięta (użyteczna) P_u , ale ważniejsza jest gęstość mocy pochłoniętej:

$$q_u = \frac{P_u}{d} \quad (14)$$

gdzie: d – średnica plamki laserowej, a ściślej rozkład tej gęstości w plamce laserowej, bowiem od niego zależy wartość temperatury w różnych miejscach plamki laserowej, która dodatkowo zależy od zmiennej z temperaturą współczynnika pochłaniania. Najczęściej rozkład gęstości mocy emitowanej przez laser ma charakter gaussowski, przydatny zwłaszcza w procesach cięcia i spawania, rzadziej gęstość mocy ma stałą wartość w całej plamce laserowej (np. w laserach diodowych i włóknowych) – przydatną zwłaszcza w obróbkach areologicznych.

8. SPOSOBY ZWIĘKSZANIA WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA POCHŁANIANIA

Współczynnik pochłaniania zwiększa się przez [8]:

- chropowacenie warstwy wierzchniej (np. przez piaskowanie, kulowanie, moletowanie, obróbkę papierem ściernym), co pozwala na wzrost pochłaniałości do 30-40% [6-10];
- utlenianie pozwalające na wzrost pochłaniałości promieniowania do 30-40%, rzadziej do 70%;
- uprzednie nagrzanie warstwy wierzchniej (dowolnym sposobem) powodujące wzrost pochłaniałości promieniowania o 10-30%;
- naniesienie powłoki absorpcyjnej (w większości przypadków spełniającej również powłoki antyrefleksyjnej): malarskiej (w postaci farb, lakierów, zawiesin), proszkowej, pastowej, galwanicznej, chemicznej lub innej dobrze pochłaniającej promieniowanie monochromatyczne emitowane przez określony rodzaj lasera. Powłoki absorpcyjne najczęściej są wytwarzane z kompozycji soli (fosforany magnezu i cynku), tlenków metali (np. cynku, tytanu, krzemu, chromu, żelaza, aluminium) i niemetalu, siarczków, węglików (krzemu, molibdenu), grafitu, sadzy, czerni i in. Zwiększają one pochłaniałość promieniowania nawet do 90% w temperaturach niskich i do 50% w temperaturach wysokich (do ok. 1500°C).

Na przykład farby typu gwasz zwiększają pochłaniałość do 60-90% [7-9], powłoki z fosforanu cynku lub fosforanu magnezu do 55-90%, z siarczku żelaza do 20-40%, grafitowe do 40-70% [7, 9, 10]. Interesujące mogą być egzotermiczne powłoki tlenkowo-metalowe (np. FeO+Al, FeO+Si), które powodują wydzielenie ciepła intensyfikujące nagrzewanie laserowe (na skutek reakcji egzotermicznej między składnikami powłoki zapoczątkowanej promieniowaniem laserowym) [10].

Możliwa jest również kombinacja ww. metod.

Przy doborze metody zwiększającej pochłaniałość promieniowania przez warstwę wierzchnią należy uwzględnić fakt, że:

- zwiększenie chropowatości powoduje pogorszenie jakości stereometrycznej powierzchni, jednak nie powoduje zmiany składu chemicznego nagrzewanej strefy materiału;

- utlenianie i nanoszenie powłok absorpcyjnych może nieznacznie pogarszać jakość stereometryczną a ponadto powodować dyfuzję składników powłoki do podłoża lub w przypadku przetapiania powłoki i warstwy wierzchniej podłoża – stopowanie podłoża.

Przed utlenianiem warstwy wierzchniej można chronić materiał nagrzewany przez nadmuch gazu ochronnego (najczęściej azotu lub argonu), chroniący ponadto soczewki głowicy lasera przed naparowaniem.

9. WNIOSKI

1. Znajomość wartości współczynnika pochłaniania a_λ promieniowania laserowego nie jest niezbędna dla obróbki laserowej, ale jest pożądana dla racjonalnego doboru lasera do obróbki określonego materiału.
2. Przez zwiększanie wartości współczynnika pochłaniania a_λ można blisko 10-krotnie zwiększyć gęstość mocy pochłoniętej q_a .
3. Przy stosowaniu powłok absorpcyjnych należy uwzględnić fakt, że przy nagrzewaniu, przetapianiu lub odparowaniu materiału powłok – składniki powłoki mogą dyfundować do materiału podłoża.

LITERATURA

1. Burakowski T., Giziński J., Sala A.: Promienniki podczerwieni. WNT, Warszawa, 1970.
2. Bramson M.A.: Infrakrasnoje izlucenije nagretych tieł. Izd. „Nauka”, Moskwa, 1964.
3. Hackforth H.L.: Promieniowanie podczerwone (tłum. z ang.). WNT, Warszawa, 1960.
4. Sala A.: Emisyjność metali i stopów jako funkcja ich stanu powierzchniowego. IMP, Warszawa, 1973.
5. Burakowski T.: Emisyjność oporowych stopów grzejnych. IMP, Warszawa, 1976.
6. Sala A.: Radiacyjna wymiana ciepła. WNT, Warszawa, 1982.
7. Sala A.: Radiant properties of metals. Oxford Press, London, 1990.
8. Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa, 1995.
9. Cruciani D., Cantello M., Lavona G., Ramous E., Tiziani A.: Laser surface treatment with different absorption coating. Raport No C3-1. XI Congress International de Electrotermia, Malaga, 1988.
10. Przybyłowicz J., Przybyłowicz K.: Egzotermiczne powłoki antyrefleksyjne przy obróbce laserowej stali. Mat. Konf. II Konferencji Naukowej „Obróbki powierzchniowe”, s. 117-119, Kule 13-15.10.1993.

Rękopis dostarczono dnia 26.04.2010 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Maciej Rafałowski

THE ROLE OF ABSORPTION RADIATION IN THE PROCESS OF LASER HEATING

Tadeusz BURAKOWSKI

ABSTRACT *The interaction of light radiation with treated material and kinds of coefficient absorption (total, monochromatic, semi-spherical and directional) was presented. The general absorptivity from 9 variables was done. The influence of surface roughness and corrosion stage on radiation absorptivity, was described. The emission and absorption of laser radiation and the difference between the incidence and absorbed radiation power (and radiation density power) was done. The methods of coefficient absorption increasing were presented.*



Prof. dr hab. inż. Tadeusz BURAKOWSKI

Zainteresowania naukowe prof. T. Burakowskiego chronologicznie dotyczą: techniki raketowej, podczerwieni, termometrii i termokinetyki, urządzeń grzejnych, energochłonności obróbki cieplnej, inżynierii materiałowej i inżynierii powierzchni. Ostatnie 20 lat poświęcił Profesor inżynierii powierzchni, w której to dziedzinie najpełniej uwidoczniły się jego przemyslenia, badania i możliwości. Jest uznawany za „ojca” polskiej inżynierii powierzchni. Założyciel (w 1991 r.) i przewodniczący (do dziś) Międzysekcyjnego Zespołu Inżynierii Powierzchni Komitetu Budowy Maszyn PAN. Łączny dorobek Profesora obejmuje ponad 650 pozycji (ok. 180 autorskich), w tym 6 monografii (w 6 językach, m.in. polskim, chińskim, rosyjskim, angielskim), 21 podręczników i książek, 180 artykułów naukowych (42 za granicą), ok. 220 artykułów technicznych, 180 wygłoszonych referatów (63 za granicą) i 31 patentów. W ostatnich latach wiele uwagi poświęca nowoczesnym technologiom laserowym mającym zastosowanie w inżynierii powierzchni (m.in. mikroobróbce laserowej w zakresie czyszczenia oraz umacniania warstwy wierzchniej materiałów z wykorzystaniem fal uderzeniowych generowanych impulsem laserowym). Kilkadziesiąt prac jego współautorstwa znalazło zastosowanie przemysłowe, w tym kilka konstrukcji urządzeń i aparatury pomiarowej. W 1985 r. uzyskał zespołową nagrodę Mistrza Techniki NOT. Jest członkiem trzech Rad Programowych czasopism PAN. Jest redaktorem działowym w dwóch czasopismach naukowo-technicznych. Członek wielu sekcji naukowych w kraju i za granicą.