

Antoni SARZYŃSKI
Danuta CHMIELEWSKA
Jan MARCZAK
Marek STRZELEC
Krzysztof SZAMAŁEK
Roman GEBEL

AKTYWACJA BARWNEGO SZKLIWA CERAMICZNEGO ZA POMOCĄ PROMIENIOWANIA LASEROWEGO

STRESZCZENIE *W Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, we współpracy z Instytutem Optoelektroniki WAT, realizowany jest projekt dotyczący laserowego zdobienia szkła i ceramiki metodą aktywacji laserowej. Termin „aktywacja” w niniejszym artykule oznacza taki rodzaj obróbki powierzchniowej, w wyniku której kolorowe szkliwo trwale zmienia barwę wyłącznie wskutek naświetlania przez promieniowanie laserowe, a jednocześnie jego powierzchnia nie ulega uszkodzeniu, pozostaje gładka i błyszcząca. W pracy przedstawiono wyniki laserowej aktywacji szkliv produkowanych w ICiMB. Do naświetlania stosowano laser pikosekundowy, pracujący na długości fali 1064 nm. Uzyskano kilkanaście odcieni kontrastu oraz rozdzielczość rzędu 0,2 mm. Wykonano pomiary kolorymetryczne. Zamieszczono dokumentację fotograficzną uzyskanych efektów.*

Słowa kluczowe: *obróbka laserowa, pigmenty ceramiczne, zdobienie laserowe, laserowa aktywacja pigmentów ceramicznych*

dr inż. Antoni SARZYŃSKI, prof. dr hab. inż. Jan MARCZAK
dr inż. Marek STRZELEC

e-mail: [asarzynski; jmarczak; mstrzelec]@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

dr inż. Danuta CHMIELEWSKA
prof. dr hab. Krzysztof SZAMAŁEK, mgr inż. Roman GEBEL
e-mail: [d.chmielewska; k.szamalek; r.gebel]@icimb.pl

Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
ul. Postępu 9, 02-676 Warszawa

1. WSTĘP

Niektóre materiały, po naświetleniu przez promieniowanie laserowe, trwale zmieniają barwę wskutek zachodzących w nich różnych procesów chemicznych lub fizycznych, a jednocześnie ich powierzchnia nie ulega uszkodzeniu, pozostaje gładka i błyszcząca. Zjawisko zmiany barwy po naświetleniu przez promieniowanie laserowe, bez względu na jego mechanizm, w niniejszym artykule będzie nosiło nazwę aktywacji. Zastrzeżenie to jest konieczne, gdyż nazwę „aktywacja” nadaje się różnym procesom obróbki laserowej, np. przygotowaniu powierzchni plastiku do metalizacji. Przegląd zjawisk prowadzących do zmian barwy określonych materiałów oraz stan wiedzy w zakresie ich wykorzystania w procesach znakowania i dekoracji został już przedstawiony we wcześniejszych pracach autorów [1-3].

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki ostatnio wykonanych analiz i badań aktywacji środków barwnych opracowanych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie: czerwonego szkliwa o roboczej nazwie KT-R15 oraz żółtego szkliwa o roboczej nazwie KT-J15. Szczególny nacisk w optymalizacji procesu położono na uzyskanie gradacji odcieni kontrastu bez uszkodzania (grawerowania) powierzchni szkliw, a także na uzyskanie maksymalnej zdolności rozdzielczej uzyskiwanych wzorów. W drugim rozdziale artykułu przedstawiono oszacowania energetyczne związane z określeniem rzeczywistych dawek promieniowania laserowego oddziałującego z próbkami. W trzecim rozdziale opisano metodykę i wyniki optymalizacji procesu aktywacji, a w czwartym – określone eksperymentalnie ilościowe zmiany kontrastu w wyniku zmian dawek energii laserowej. Na zakończenie, przedstawiono przykłady otrzymanych wzorów oraz podsumowanie otrzymanych wyników i innych dotychczasowych prac.

2. ENERGETYCZNE PARAMETRY NAŚWIETLANIA

W badaniach wykorzystywano pompowany diodowo laser pikosekundowy Nd:YAG firmy EKSPLA typ PL2210, emitujący impulsy na podstawowej długości fali 1064 nm. Laser pracował w zmodyfikowanym układzie eksperymentalnym z galwanometrycznym skanerem wiązki, podobnym do układu przedstawionego we wcześniejszej pracy [1]. Modyfikacja polegała na zastosowaniu polaryzatora i teleskopu 10-krotnie poszerzającego wiązkę laserową. Polaryzator umożliwiał regulację energii impulsu laserowego. Dzięki poszerzeniu wiązki, poprawiono przestrzenną zdolność rozdzielczą. Skutkiem zastosowania wspomnianych elementów optycznych był znaczny spadek energii impulsu laserowego padającego na próbkę, z 1600 do 200 μJ . Energia ta okazała się jednak wystarczająca do uzyskania efektu aktywacji, a nawet dość głębokiego grawerowania.

Wynik oddziaływania promieniowania na obrabiany obiekt zależy od mocy szczytowej wiązki, mocy średniej i dawki energii. W opisywanych eksperymentach maksymalna energia impulsu padającego na próbkę wynosiła 200 μJ , czas trwania 70 ps, częstość repetycji 1 kHz. Dane te pozwalają wyznaczyć moc szczytową impulsu i moc średnią:

$$P_{\max} = \frac{200 \cdot 10^{-6} \text{ J}}{70 \cdot 10^{-12} \text{ s}} \cong 3 \text{ MW} \quad (1)$$

$$P_{\text{śred}} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ J} \cdot 1000 \frac{1}{\text{s}} \cong 0,2 \text{ W} \quad (2)$$

Minimalna średnica wiązki laserowej w płaszczyźnie ogniskowej wynosi około 100 μm , a to pozwala oszacować szczytową gęstość mocy oraz dawkę energii na powierzchni obrabianej próbki dla pojedynczego impulsu:

$$I_{\max} = P_{\max} / S = \frac{3 \text{ MW}}{\pi(50 \cdot 10^{-4})^2 \text{ cm}^2} \cong 40 \text{ GW} / \text{cm}^2 \quad (3)$$

$$E_{\max} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ J} / S \cong 3 \text{ J} / \text{cm}^2 \quad (4)$$

Podczas skanowania wiązka laserowa przemieszcza się z zadaną prędkością v , wówczas dawki energii kumulują się, a skumulowaną wartość można oszacować ze wzoru:

$$E_{\text{kumul}} = \frac{4P_{\text{śred}}}{\pi v d} \quad (5)$$

Tak obliczona dawka energii zależy od średnicy wiązki, która z kolei jest funkcją odległości między płaszczyzną roboczą a ogniskową. Na rysunku 2 zamieszczono wykresy średnicy wiązki wyznaczone z eksperymentu, średnicy obliczonej w przybliżeniu optyki geometrycznej oraz wykres dawki energii w funkcji położenia płaszczyzny roboczej (współrzędnej wzdłuż osi ogniskowanej wiązki).

Skumulowana dawka energii wyrażona wzorem (5) dotyczy osi wiązki. Jeśli rozkład gęstości energii w przekroju poprzecznym padającej wiązki laserowej jest jednorodny, to w przekroju poprzecznym naświetlanej ścieżki skumulowana dawka energii zmienia się zgodnie z wzorem (wielkości względne):

$$e_{\text{skumulowana}} = \sqrt{(1-x^2)} \quad (6)$$

Jeżeli, zgodnie z wynikami eksperymentalnymi, przyjmiemy, że minimalna średnica zogniskowanej wiązki wynosi 100 μm , średnica wiązki na wejściu skanera 10 mm, ogniskowa soczewki 250 mm, to średnicę wiązki w funkcji wysokości płaszczyzny roboczej możemy oszacować z wzoru (co do rzędu wielkości):

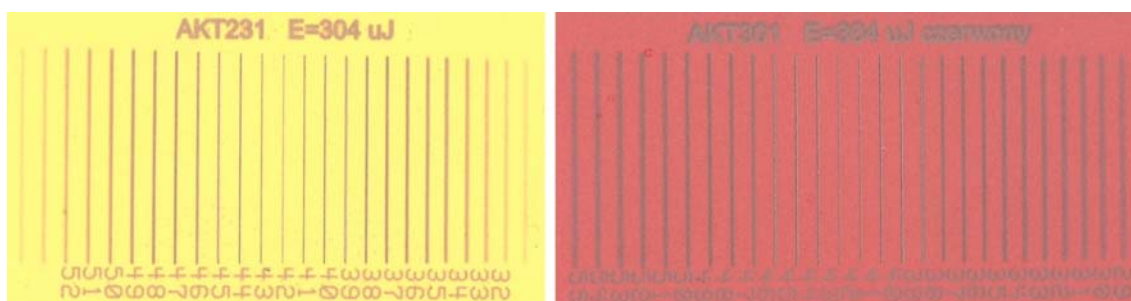
$$d \cong 10 \cdot \left(10 + 4 \cdot \left|z - z_{\text{ognisko}}\right|\right) [\mu\text{m}] \quad (7)$$

Zamieszczone wyżej formuły wykorzystano do obliczenia średnicy wiązki w przybliżeniu optyki geometrycznej (rys. 2a) oraz dawki energii w funkcji współrzędnej wzdłuż osi ogniskowanej wiązki laserowej (rys. 2b) oraz w jej przekroju poprzecznym.

5. OPTYMALNE PARAMETRY NAŚWIETLANIA

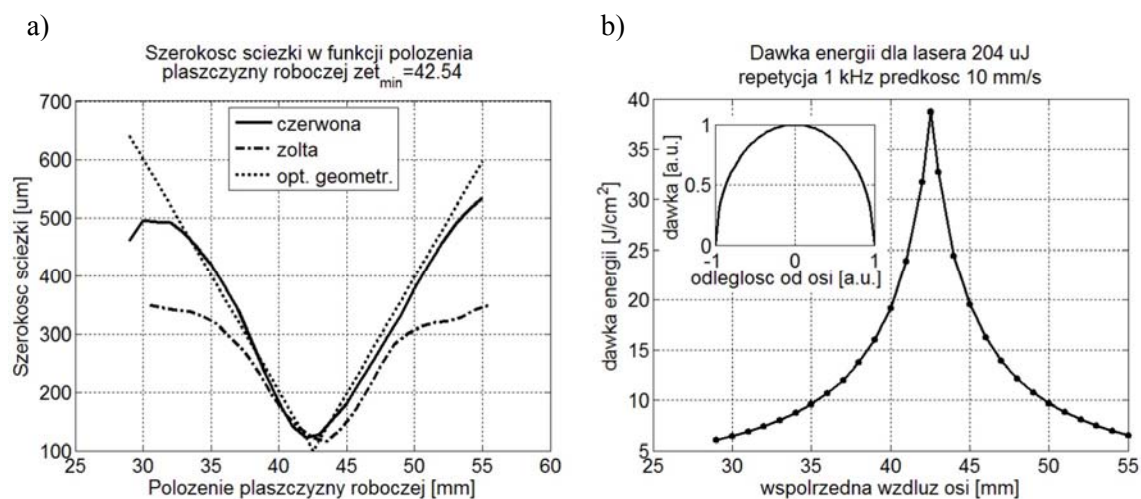
Optymalne parametry obróbki oznaczają taką wartość dawki energii, przy której następuje wyłącznie zmiana barwy szkliwa bez grawerowania (ablacji) obrabianego

materiału. Kluczowym elementem analizy pod kątem maksymalnych zmian barwy materiału i rozdzielczości aktywowanych wzorów jest precyzyjne określenie położenia płaszczyzny ogniskowej w eksperymencie. Następnym krokiem jest znalezienie, na poziomie mikroskopowym, granicy pomiędzy wyłącznie aktywowaniem szkliwa a zmianami jego barwy, którym towarzyszą uszkodzenia powierzchni próbki. Procedurę określenia położenia płaszczyzny ogniskowej w układzie eksperymentalnym pokazano na rysunku 1. Przy różnych odległościach płaszczyzny roboczej od płaszczyzny ogniskowej soczewki F-theta skanera, naświetlono rzędy linii na badanych szklivach. Następnie, za pomocą cyfrowego mikroskopu 3D KH8700 japońskiej firmy Hirox, zmierzono szerokości otrzymanych ścieżek. Wyniki pomiarów i obliczeń (optyka geometryczna) przedstawiono na rysunku 2. Określono, że płaszczyzna ogniskowa znajduje się w umownej odległości około 42,5 mm od apertury wyjściowej skanera.



Rys. 1. Linie o różnej szerokości naświetlone na obrabianych płytkach:

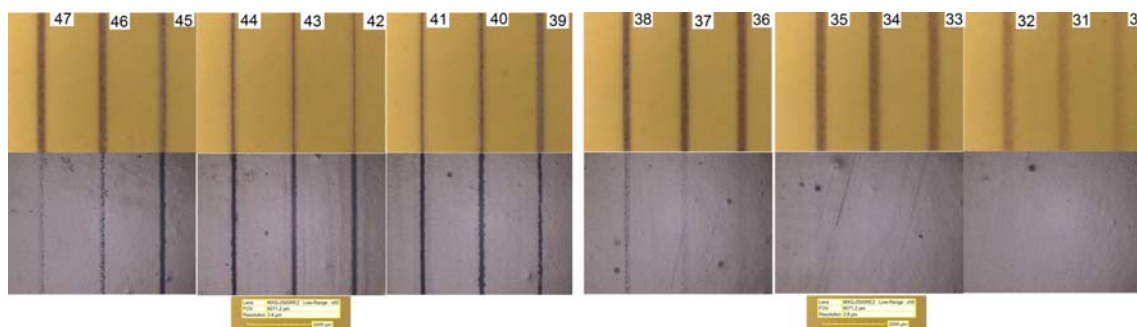
żółta płytka – szkliwo KT-J15, czerwona – szkliwo KT-R15. Liczby pod liniami oznaczają współrzędną wzdłuż osi ogniskowanej wiązki laserowej [mm]. Energia impulsu 200 μJ , prędkość skanowania 10 mm/s



Rys. 2. Szerokość ścieżki i dawka energii:

a) szerokość ścieżki wypalanej przez wiązkę lasera pikosekundowego o energii impulsu 200 μJ w płytce ceramicznej pokrytej czerwonym szkliwem płytkowym KT-R15 i żółtym KT-J15 oraz porównanie z oszacowaniem optyki geometrycznej; b) oszacowanie skumulowanej dawki energii w funkcji współrzędnej wzdłuż osi wiązki przy prędkości skanowania 10 mm/s. We wstawce pokazano rozkład unormowanej skumulowanej dawki energii w przekroju poprzecznym naświetlanej ścieżki

W kolejnym kroku analizy, pokazanym na rysunku 3, porównano mikroskopowe fotografie linii naświetlonych w odległościach zbliżonych do położenia płaszczyzny ogniskowej. Fotografia każdej ścieżki była wykonywana dwukrotnie: raz w oświetleniu kołowym próbki, pokazującym barwy naturalne (u góry), drugi raz w oświetleniu punktowym, zoptymalizowanym do badania topografii powierzchni (u dołu), a w zasadzie jej zmian, oznaczających grawerowanie. Precyzyjną ocenę umożliwiała cyfrowa rejestracja serii mikrofotografii z zachowaniem głębi ostrości pola obserwacji mikroskopu.

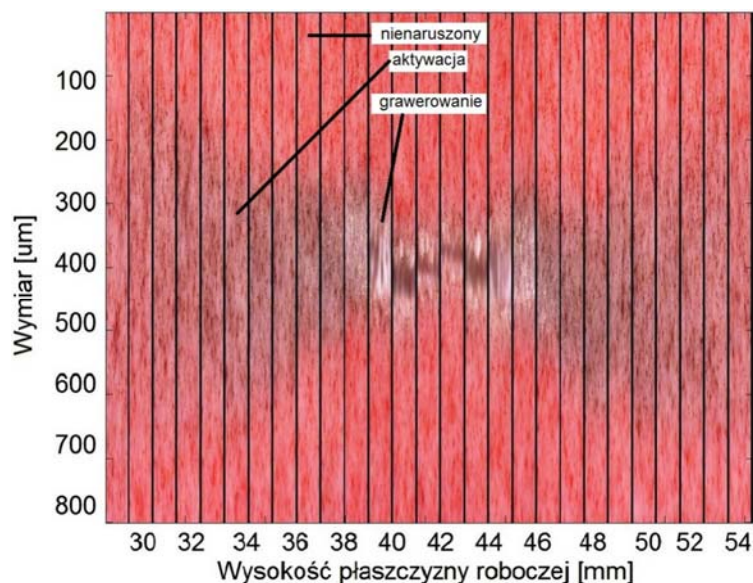


Rys. 3. Mikroskopowe fotografie ścieżek naświetlonych na żółtym szkliwie KT-J15: liczby obok ścieżek oznaczają wartość współrzędnej [mm] wzdłuż osi ogniskowanej wiązki. Energia impulsu 200 μ J, prędkość skanowania 10 mm/s

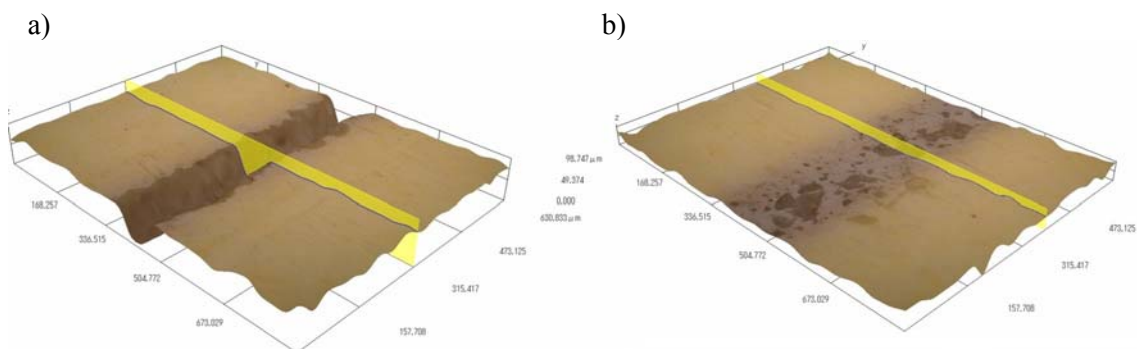
Zaobserwowano, że przy położeniach płaszczyzny roboczej mniejszych od ± 5 mm wokół płaszczyzny ogniskowej, efekt grawerowania przeważa nad efektem aktywacji. Przy odległościach rosnących powyżej ± 5 mm efekt grawerowania słabnie. Na rysunku 3 pokazano aktywację i grawerowanie szkliwa żółtego, jednak w zasadzie szerokość wypalanych ścieżek nie zależy od koloru szkliwa. Ten sam efekt ilustruje bowiem rysunek 4, przedstawiający zbiorczą fotografię aktywowanych linii na czerwonym szkliwie KT-R15. Fotografię skonstruowano za pomocą oprogramowania MATLAB, posługując się fotografiami poszczególnych linii wykonanymi w powiększeniu 350-krotnym. Z każdej fotografii składowej skopiowano górną połowę i po obrocie o 90° wklejono do fotografii zbiorczej. Na rysunku można wyróżnić kilka obszarów: nienaruszony materiał, materiał ulegający aktywacji oraz obszar grawerowania. Głębokość grawerowania, któremu towarzyszy aktywacja może być bardzo duża (rys. 5).

Ciekawym wynikiem, świadczącym o czułości żółtego szkliwa na naświetlanie laserowe, jest fakt, że powstające w obszarze linie są znacznie węższe niż w szkliwie czerwonym (patrz rys. 1a).

Przedstawione w tym rozdziale wyniki, otrzymane za pomocą precyzyjnego mikroskopu cyfrowego 3D, pozwoliły ustalić optymalne parametry obróbki, to znaczy położenie płaszczyzny roboczej względem płaszczyzny ogniskowej, energię impulsu laserowego i prędkość skanowania, razem zapewniające uzyskanie aktywacji o dużym kontraście bez grawerowania naświetlanej powierzchni. Powyżej zamieszczono jedynie nieliczne przykłady takich analiz. Przy naświetlaniu wzorów powierzchniowych, dodatkowym parametrem jest wypełnienie obszaru przy skanowaniu liniowym, a więc odstęp między sąsiednimi liniami zapewniający ciągłość aktywowanego obrazu.



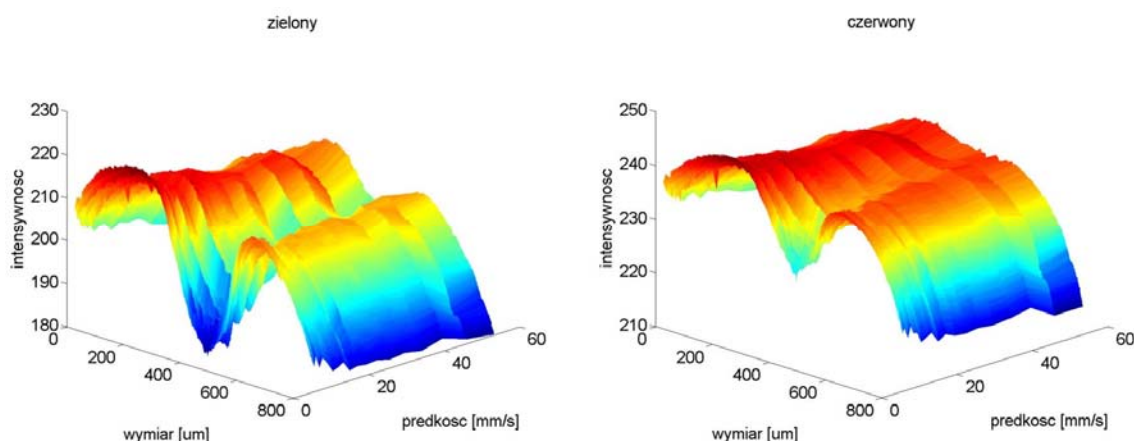
Rys. 4. Zestawienie mikroskopowych fotografii ścieżek na szklivię KT-R15: liczby obok ścieżek oznaczają wartość współrzędnej [mm] wzdłuż osi ogniskowanej wiązki. Energia impulsu 200 μJ , prędkość skanowania 10 mm/s. Pionowymi kreskami oddzielono fragmenty poszczególnych fotografii składowych



Rys. 5. Przykład głębokiego (a) i nieznacznego (b) grawerowania szklivię KT-J15: Mikroskop cyfrowy HIROX KH8700. Energia impulsu 200 μJ , prędkość skanowania 10 mm/s

6. ZMIANY BARWY NAŚWIETLANYCH PRÓBEK

Przeprowadzono próbę obiektywnego określenia zmian barwy wzorów, naświetlanych w najlepiej aktywującym się żółtym szklivię KT-J15, wykorzystując oprogramowanie MATLAB. W tym celu, z obrazów mikroskopowych (350x) linii aktywowanych przy różnych parametrach naświetlania, odczytano wartości podstawowych składowych kolorów w paśmie RGB (*red*, *green*, *blue*), a otrzymaną intensywność poszczególnych składowych przedstawiono na wykresach przestrzennych, przedstawiających wymiar w kierunku poprzecznym do linii oraz prędkość skanowania (dawka energii).



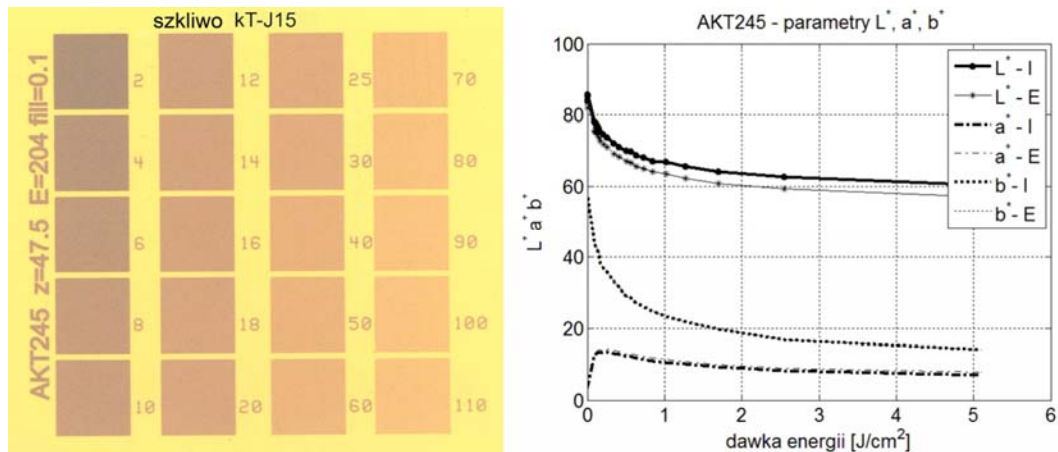
Rys. 6. Przechywny wykres natężenia zielonej G i czerwonej R składowej barwy: szkliwo KT-J15. Energia impulsu 91 μJ, prędkość skanowania od 2 do 60 mm/s

Jak pokazano na rysunku 6, dla najsilniej aktywowanych obszarów linii, czyli przy niewielkiej prędkości skanowania (dużej dawce energii laserowej), następował intensywny spadek składowej zielonej G i nieco mniejszy – składowej czerwonej R koloru szkliwa. Składowa niebieska B praktycznie nie zmieniała się, dlatego nie zamieszczono jej na rysunku 6. Spadek dawki energii promieniowania laserowego powoduje również obserwowalne obniżenie kontrastu koloru próbki.

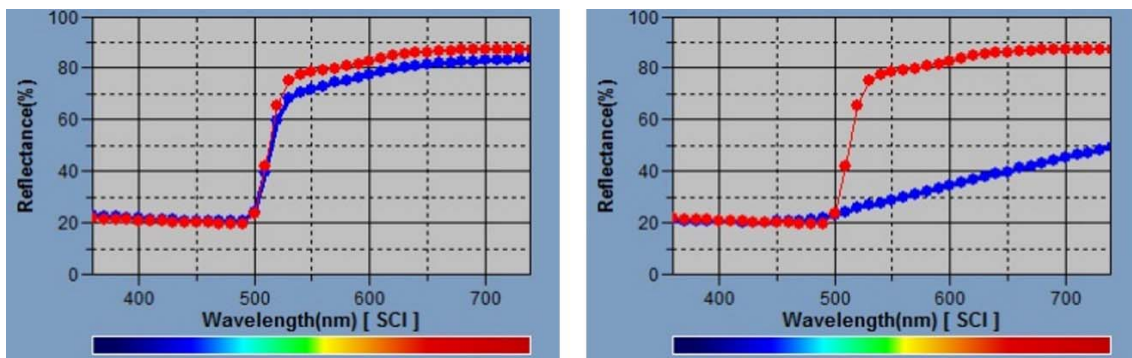
Przedstawione wyżej wstępne obserwacje zostały potwierdzone ilościowymi pomiarami kolorymetrycznymi aktywowanych obszarów żółtego szkliwa, prowadzonymi w trójwymiarowej przestrzeni barwowej CIELab [4, 5] przy wykorzystaniu przenośnego kolorymetru Konica Minolta CM2600d. Przestrzeń barwowa CIELab opisywana jest trzema parametrami: L^* – jasnością, a^* – zakresem barw od czerwieni do zieleni i b^* – zakresem barw od żółtego do niebieskiego. Wyniki badań zmian parametrów kolorymetrycznych przedstawiono na rysunku 7. Z lewej strony zamieszczono fotografię kwadratów naświetlonych różnymi dawkami energii. Tak zwany „test kwadratów” jest powszechnie wykorzystywany w optymalizacji procesów znakowania i dekoracji laserowej [6-8]. Pokazane z prawej strony rysunku 7 zmiany parametrów kolorymetrycznych ze wzrostem dawki energii promieniowania laserowego wyraźnie wskazują na: (1) spadek jasności kwadratów i wzrost kontrastu wzorów; (2) wyraźny ubytek składowej b^* odpowiadającej za barwę żółtą materiału. Widoczny na rysunku 6 spadek składowej zielonej i czerwonej w paletce RGB, w przestrzeni $L^*a^*b^*$ odzwierciedlony jest jedynie przez lekkie przejście od barw zielonych do czerwonych, a więc potwierdzenie większego zaniku barwy zielonej (rys. 6a). Dawkę energii regulowano w eksperymentach przez zmianę prędkości skanowania wiązki laserowej.

Na rysunku 8 przedstawiono z kolei wykres współczynnika odbicia w funkcji długości fali, z lewej strony dla kwadratu o najniższym kontraście, z prawej o najwyższym kontraście (rys. 7). Można zaobserwować, że aktywacja powoduje znaczne obniżenie wartości współczynnika odbicia w zakresie promieniowania długofalowego.

W pomiarach mikroskopowych przekroju poprzecznego próbek w miejscu aktywacji zaobserwowano, że zmiany barwy zachodzą tylko do pewnej głębokości szkliwa. Pokazano to na rysunku 9. Warstwa żółtego szkliwa ma grubość około 380 μm, a grubość aktywowanego obszaru sięga około 80 μm. W przypadku niektórych szkliw aktywacja zachodziła na całej grubości.



Rys. 7 Fotografia kwadratów o zmiennym kontraście i ich pomiary kolorymetryczne: szkliwo KT-J15. Energia impulsu 204, prędkość skanowania od 2 do 110 mm/s. Liczby obok kwadratów oznaczają prędkość skanowania. I, E – odpowiednio włączona i wyłączona składowa zwierciadlana współczynnika odbicia



Rys. 8. Widmowy rozkład współczynnika odbicia szkliwa dla próbek z rysunku 7: z lewej strony najniższa dawka energii, z prawej najwyższa. Czerwona krzywa przed aktywacją, niebieska po aktywacji. Energia impulsu 204 μJ , prędkość skanowania 2 i 110 mm/s



Rys. 9. Mikroskopowa fotografia poprzecznego przekroju żółtego szkliwa po aktywacji: szkliwo KT-J15, kolor żółty, próbka AKT245 (rys. 7), prędkość skanowania 2 mm/s, kwadrat o najwyższym kontraście

Zjawiska będące przyczyną aktywacji laserowej w badanych rodzajach szklów są przedmiotem badań z wykorzystaniem metod inżynierii materiałowej. Dotychczas, przy wykorzystaniu metody dyfrakcji rentgenowskiej, ustalono jedynie, że w obszarze aktywacji żółtego szkliwa KT-J15 następuje zanik krzemianu cyrkonu ($ZrSiO_4$), stanowiącego element składowy pigmentu [9]. Świadczyć to może o temperaturowym rozkładzie związków odpowiedzialnych za barwę szkliwa. Problemem w badaniach są bardzo niewielkie ilości materiału o zmienionych parametrach fizykochemicznych.

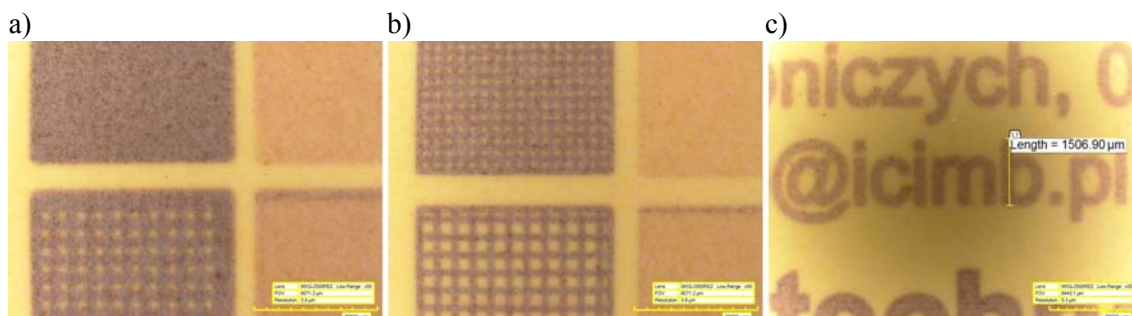
6. PRZYKŁADOWE WYNIKI AKTYWACJI LASEROWEJ

Na rysunku 10 zamieszczono fotografię ilustrującą możliwości praktycznego wykorzystania metody aktywacji. Jest to rodzaj wizytówki projektu, naświetlonej w płaszczyźnie 2,5 mm poniżej ogniskowej. Zaprezentowano możliwość regulacji kontrastu przez zmianę prędkości skanowania oraz rozdzielczość metody. Górne kwadraty naświetlano z odstępem skanowania 0,4; 0,3; 0,2 i 0,1 mm z wypełnieniem liniowym bądź krzyżowym. Zadaniem tych kwadratów jest prezentacja przestrzennej rozdzielczości metody. Dolny rząd kwadratów naświetlano ze stałym odstępem skanowania 0,1 mm i zmienną prędkością skanowania, dzięki czemu uzyskano różne odcienie aktywowanych obszarów. Przy odstępem skanowania 0,1 mm następuje pełne wypełnienie naświetlanych obszarów.



Rys. 10. Przykład ilustrujący zakres uzyskanych kontrastów i rozdzielczości: wizytówka wykonana 2,5 mm poniżej płaszczyzny ogniskowej. Szkliwo KT-J15

Umieszczenie płaszczyzny roboczej w odległości 2,5 mm poniżej płaszczyzny ogniskowej pozwala uniknąć grawerowania, a jednocześnie nie powoduje dużego pogorszenia zdolności przestrzennej, dzięki czemu linie skanowania stają się widoczne nawet przy odstępem skanowania 0,2 mm (rys. 11b lewy górny kwadrat). Możliwe jest również nanoszenie miniaturowych napisów. Na rysunku 11c pokazano tekst o wysokości 1,5 mm.



Rys. 11. Przykład ilustrujący uzyskaną rozdzielczość metody:

- a) 5 mm poniżej płaszczyzny ogniskowej, energia 200 μJ , rozdzielczość 0,3 mm;
- b) 2,5 mm poniżej płaszczyzny ogniskowej, energia 120 μJ , rozdzielczość 0,2 mm;
- c) tekst o wysokości 1,5 mm. Szklivo KB1 3021

7. PODSUMOWANIE

W podsumowaniu przedstawionych w artykule wyników istotne są następujące stwierdzenia:

- uzyskano wyraźny efekt aktywacji szkliwa żółtego o oznaczeniu roboczym KT-J15 i czerwonego oznaczonego jako KT-R15. Uzyskano dużą gradację odcieni kontrastu bez uszkodzania szkliwa;
- kontrast aktywacji czerwonego szkliwa jest niższy niż szkliwa żółtego. Szklivo przebarwione na ciemno szary kolor słabo kontrastuje z ciemnoczerwonym otoczeniem;
- przekroczenie progu ablacji powierzchni szkliwa powoduje grawerowanie, które w obydwu szklivach zachodzi podobnie;
- nieznaczne grawerowanie towarzyszące aktywacji powoduje zmatowienie powierzchni i wzmacnia kontrast znakowanych obszarów, co daje możliwość uzyskania ciekawych efektów estetycznych, a tym samym może znaleźć zastosowanie praktyczne;
- możliwe jest uzyskanie rozdzielczości procesu znakowania na poziomie 200-300 μm pod warunkiem, że płaszczyzna robocza jest oddalona od płaszczyzny ogniskowej co najwyżej o 5 mm. Pozwala to nanosić miniaturowe napisy o wysokości znaku 1 mm;
- wielokrotne skanowanie przy zastosowaniu lasera impulsowego w celu poprawienia kontrastu jest skuteczne tylko przy najniższej prędkości skanowania, 2 mm/s.

W podsumowaniu wszystkich dotychczasowych prac, realizowanych od połowy 2011 roku, stwierdzono:

- aktywację pigmentów zawierających układy CdS i $(\text{CdS})\text{ZrSiO}_4$ oraz CdSeS i $(\text{SeCdS})\text{ZrSiO}_4$, zarówno na podłożach szklanych, jak i ceramicznych;
- występowanie zjawiska aktywacji w zależności od rodzaju pigmentu, a nie obecności bądź jej braku w składzie szkliwa związków cyrkonu;

- sprzyjającą aktywacji obecność ołowiu w składzie szkliwa;
- brak wpływu obecności nanocząsteczek metali (np. srebro, platyna) na skuteczność aktywacji;
- możliwość znakowania/dekoracji wyrobów w następujących układach barwowych (wyjściowa – zaktywowana):
 - żółta – brązowa,
 - czerwona – brunatnoszara,
 - czarna – jasnoszara,
 - zielona – ciemnozielona,
 - pomarańczowa – fioletowa.

Podziękowania

Praca została wykonana w ramach projektu: Aktywacyjna, laserowa technologia znakowania i dekoracji ceramiki i szkła – Nr. 6196/B/T02/2011/40.

Artykuł został przedstawiony na konferencji POOMT 2014 w Baranowie Sandomierskim w dniach 28-30 maja 2014 r., dofinansowanej przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

1. Sarzyński A., Chmielewska D., Marczak J., Olszyna A., Strzelec M., Szamałek K.: Aktywacja pigmentów ceramicznych za pomocą promieniowania laserowego, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 256, 238-247, 2012.
2. Strzelec, M., Marczak J., Chmielewska D., Sarzyński A., Olszyna A., Szamałek K., Zasada D.: Activation of colour changes in ceramic glazes by means of the Nd:YAG picosecond laser, *Photonics Letters of Poland*, 5, 134-136, 2013.
3. Chmielewska D., Gebel R., Szamałek K., Olszyna A., Marczak J., Sarzyński A., Strzelec M.: Application of laser radiation in decoration and marking of ceramic products, *Proceedings of SPIE*, 8703, 87030I, 2013.
4. Berns R.S.: *Principles of Color Technology*, JohnWiley & Sons. Inc., 2000.
5. Hunt R.W.G.: *Measuring Colour*. London, Fountain Press, 1998.
6. Feng K.: patent WO1998056594 A1, Controlled color laser marking of plastics, 1997.
7. Dusser B., Sagan Z., Bruneel D., Jourlin M., Audouard E.: Laser deep marking of metals and polymers: potential interest for information coding, *Journal of Physics: Conference Series*, 77, 012002, 2007.
8. Chmielewska D. et al.: *Metodyka badań w inżynierii procesowej laserowej dekoracji porcelany: I – badania profilometryczne*, *Inżynieria Materiałowa*, nr. 5, 2011.
9. Strzelec M., Marczak J., Sarzyński A., Chmielewska D., Olszyna A., Szamałek K., Gebel R.: Laser decoration and marking of ceramic and glass products, *NAMF 2013 Book of Abstracts*, pp. 65-67. <http://science24.com/events/7502/boa/boa.pdf>. Dostęp sprawdzony 23.03.2014 r.

Rękopis dostarczono dnia 15.04.2014 r.

ACTIVATION OF COLOUR CERAMIC GLAZE WITH THE USE OF LASER RADIATION

Antoni SARZYŃSKI, Danuta CHMIELEWSKA
Jan MARCZAK, Marek STRZELEC,
Krzysztof SZAMAŁEK, Roman GEBEL

ABSTRACT *The project on laser decorating of glass and ceramics by laser activation is realized at the Institute of Ceramics and Building Materials in collaboration with the Institute of Optoelectronics, MUT. The term “activation” in this paper means such a type of surface treatment which causes permanent colour change of enamel only as a result of laser irradiation, while its surface is not damaged, remains smooth and shiny. Some results of laser activation of glazes produced at IC&MB are shown in this work. The samples were processed with the use of picosecond laser (repetition rate 1 kHz, mean power 0.2 W, wavelength 1064 nm). Several different shades of contrast and resolution of 0.2 mm were obtained. Some results of colorimetric measurements are presented. Selected photos of obtained results are included.*

Keywords: *laser processing, mineral pigments, laser adornment, laser activation of mineral pigments*



Prof. dr hab. Krzysztof SZAMAŁEK – profesor nadzwyczajny w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych oraz w Instytucie Geochemii, Mineralogii i Petrologii Uniwersytetu Warszawskiego. Autor ponad 150 publikacji, artykułów i książek z zakresu geologii gospodarczej, geologii złóż, mineralogii, problematyki bezpieczeństwa surowcowego. Autor prac o przemianach fazowych surowców ilastych pod wpływem temperatury.