

Grzegorz CHOMKA

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

Ocena przydatności stosowania cząstek suchego lodu CO₂ w obróbce powierzchni strugą wodno-lodową

Dr inż. Grzegorz CHOMKA

Jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Od 2007 roku zatrudniony jako adiunkt w Zakładzie Teorii Mechanizmów i Podstaw Konstrukcji Maszyn w Katedrze Inżynierii Mechanicznej. Przedmiotem jego zainteresowań jest wytwarzanie i stosowanie wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej do obróbki różnych materiałów.



e-mail: grzegorz.chomka@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki termodynamicznych analiz cząstek suchego lodu w czasie kreowania wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej. Zaprezentowano efekty badań eksperymentalnych wpływu wydatku suchego lodu na wydajność usuwania powłok lakierniczych strugą wodno-lodową. Dokonano oceny stanu powierzchni podłoża, które po obróbce nie wykazują żadnych zmian w stosunku do stanu pierwotnego.

Słowa kluczowe: suchy lód, usuwanie powłok lakierniczych, wysokociśnieniowa struga wodno-lodowa.

An evaluation of the usefulness of using CO₂ dry ice particles in surface treatment with a water-ice jet

Abstract

The paper covers theoretical analyses and experimental results aimed at an evaluation of the usefulness of CO₂ dry ice particles for the removal of varnish coats. In the first section, there is performed a thermodynamic analysis of CO₂ dry ice particles of the temperature lower than the sublimation temperature, during the creation of a water-ice jet. In this case, there was determined the impact of individual treatment parameters (Figs. 2 and 3) that are of significance to the mechanical properties of dry ice particles. Furthermore, a thermodynamic analysis of a high-pressure water-ice jet for ice particles of the temperature being equal to the sublimation temperature is conducted. It was established that during the transport of dry ice particles from a tank to a concentric multi-hole nozzle, a maximum of 4.7% of CO₂ could be sublimated. Additionally, in a high-pressure water-ice jet, where 30% of dry ice will be sublimated, the water jet temperature will be reduced by a maximum of 1.03 K, when the initial air temperature is 293 K and the initial water temperature is also 293 K. In the further part of the paper, the influence of the dry ice expenditure on the treatment efficiency (Fig. 6) is discussed. There was found the occurrence of the maximum limiting expenditure of dry ice particles, with the use of which the best cleaning results are obtained. There was also carried out an analysis of the macro- and micro-structure of the substrate surface, from which varnish coats were removed with the aid of a high-pressure water-ice jet.

Keywords: dry ice, lacquer coating removing, high-pressure water-ice jet.

1. Wstęp

Technologia obróbki materiałów strugą wodną o dużej prędkości sięga lat 70-tych ubiegłego wieku. Wśród jej licznych zastosowań należy głównie wymienić usuwanie różnego typu osadów, a także cięcie materiałów. Ostatnio prowadzono badania cięcia węgla [1], czy też próby zastosowania ultra wysokiego ciśnienia (600 MPa) do obróbki stopów tytanu [2], stali austenitycznej [3], a także przygotowania i wykańczania powierzchni metali [4]. Obiecujące wyniki badań zaprezentowano także jeśli chodzi o czyszczenie ściernic szlifierskich strugą wodną stosując różne typy dysz [5]. Prowadzono także prace nad stosowaniem wysoko-

prędkościowej strugi wodnej do renowacji konstrukcji betonowych [6].

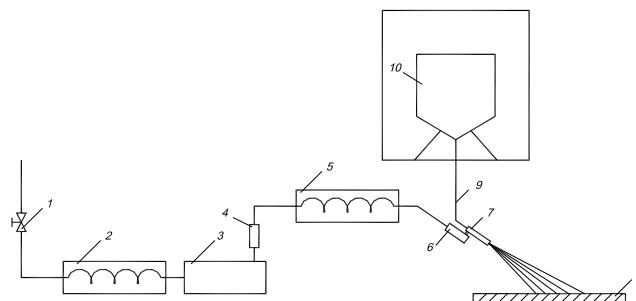
W celu zwiększenia wydajności obróbki do wysokociśnieniowej strugi wodnej dodaje się ziarna ściernic (najczęściej granat). W przypadku stosowania strugi wodno-ściernic dochodzi do zapylenia w pobliżu miejsca prowadzonej obróbki, tworzonego przez ziarna ściernic rozbijające się o obrabianą powierzchnię. Ponadto struga wodno-ściernic odznacza się bardzo dużą erozyjnością powodującą uszkodzenie tzw. materiału podłoża, co w licznych przypadkach dyskwalifikuje tę metodę obróbki. Dodatkowo pozostające w materiale podłoża drobiny ściernic, powodujące tzw. zbrojenie powierzchni, prowadzą do pogorszenia jej jakości i w konsekwencji np. zmniejszenia trwałości nakładanych powłok lakierniczych.

W ostatnich latach szczególnie do czyszczenia powierzchni coraz chętniej stosuje się strugę wodno-lodową [7, 8, 9] i gazowo-lodową [10, 11, 12]. Strugę nośną stanowi najczęściej wysokociśnieniowy strumień wody lub gazu (najczęściej powietrza). Nośnikiem takiej strugi bywa także ciekły azot, amoniak oraz ciekły dwutlenek węgla. Typowe ziarna ściernic zastępuje kruszony lód wodny lub cząsteczki suchego lodu CO₂. Technika czyszczenia strugą wodno-lodową znajduje zastosowanie tam gdzie nie można stosować strugi wodno-ściernic (np. przemysł spożywczy, motoryzacyjny itp.), a struga wodna zapewnia niewielką efektywność obróbki. Cząstki lodu wodnego lub suchego lodu CO₂ stanowią więc swoisty zamiennik ziaren ściernic i prowadzą do intensyfikacji procesu obróbki [13]. Zaletą ich jest brak kłopotliwych pozostałości poobrobkowych.

Ze względu na uzyskiwanie większej wydajności obróbki strugę powietrzno-lodową zastępuje się strugą wodno-lodową. Taka metoda czyszczenia jest bardziej wydajna od strugi powietrzno-lodowej [14] dzięki większej energii strumienia wynikającej z możliwości stosowania wyższych ciśnień strugi nośnej.

2. Wytwarzanie wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej

Do wytwarzania wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej należy zastosować instalację eksperymentalną [7], której przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowe stanowisko do wytwarzania strugi wodno-lodowej
Fig. 1. An example of a stand for creation of a water-ice jet

Woda przez zawór 1 dopływa do chłodnicy 2, w której wstępnie schładzana. Następnie woda o obniżonej temperaturze jest sprężana do wymaganego ciśnienia przez wysokociśnieniową pompę 3. Jej ciśnienie jest stabilizowane systemem kontrolnym 4. Po sprężeniu temperatura strugi wodnej podnosi się, wobec czego konieczne jest ponowne jej ochłodzenie w chłodnicy 5. Po obniżeniu temperatury strugi wodnej trafia ona do pistoletu wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej 6, 7, 9, który tworzy strugę wodno-lodową 8 skierowaną na powierzchnię 10.

śnieniowego 6 i tryskacza 7. Wysokociśnieniowa struga wody przepływająca przez tryskacz 7 wytwarza podciśnienie w przewodzie 9, zasysając cząstki lodu ze zbiornika 10 znajdującego się w pomieszczeniu o regulowanej temperaturze. Cząstki lodu zasane ze zbiornika 10 do dyszy tryskacza 7 zostają przyspieszone przez wysokociśnieniową strugę wody i ukształtowane w ostateczny strumień wodno-lodowy natryskiwany na obrabianą powierzchnię 8, z której ma zostać usunięty osad w postaci powłoki lakierniczej.

3. Termodynamiczna analiza wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej

Temperatura cząstek suchego lodu jest jednym z wielu parametrów mających wpływ na powierzchniową wydajność usuwania powłok lakierniczych. W takim przypadku należy rozpatrzyć dwa warianty, a mianowicie gdy temperatura cząstek lodu CO₂ jest niższa od temperatury sublimacji oraz przypadek drugi, gdy cząstki suchego lodu znajdujące się w zbiorniku 10 (rys. 1) posiadają temperaturę sublimacji.

W przypadku pierwszym w trakcie kreowania strugi wodno-lodowej temperatura cząstek suchego lodu podnosi się w skutek podgrzewania ich przez powietrze, w czasie transportu przez wąż ssawny, jak również w trakcie przepływu w wysokociśnieniowej strudze wodnej. W celu przeprowadzenia analizy teoretycznej przyjęto szereg założeń upraszczających: cząstki lodu są kulkami o średnicy d , ich masa, objętość i powierzchnia są niezmiennie w czasie, zaś temperatura powietrza oraz wody jest stała. Teoretyczną analizę zmian temperatury cząstek suchego lodu przeprowadzono w oparciu o nieustalony model przewodzenia ciepła w układzie o małym oporze cieplnym przewodzenia [7].

Temperaturę końcową cząstki lodu (T_{Lk}), po podgrzaniu przez powietrze oraz wysokociśnieniową strugę wody, oblicza się na podstawie równania:

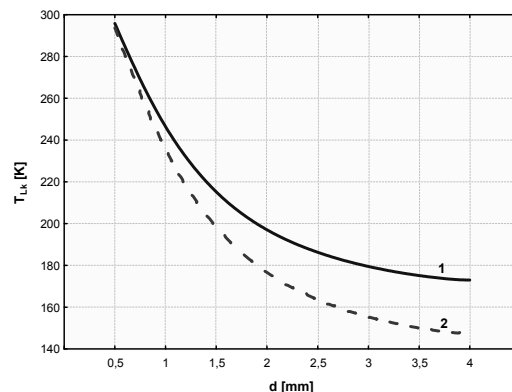
$$T_{Lk} = T_w - (T_w - T_{Lp}) \cdot e^{\frac{-\alpha_2 S}{c_L \rho_L V_L t_2}}, \quad (1)$$

gdzie: T_w – temperatura wysokociśnieniowej strugi wody, α_2 – współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni cząstki lodu podczas jej przepływu przez wysokociśnieniową strugę wody, S – powierzchnia cząstki lodu CO₂, c_L – ciepło właściwe cząstki suchego lodu, ρ_L – gęstość cząstki suchego lodu, V_L – objętość cząstki suchego lodu CO₂, t_2 – czas kontaktu cząstki lodu przepływającej w wysokociśnieniowej strudze wody, T_{Lp} – temperatura cząstki lodu po podgrzaniu przez powietrze

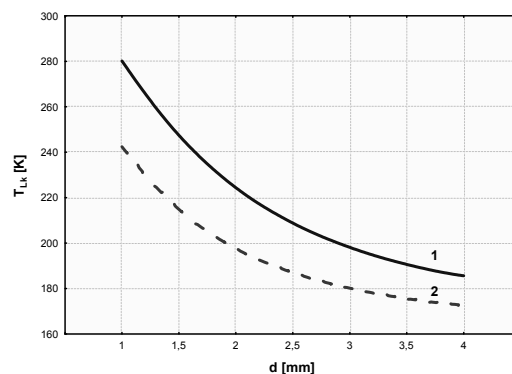
w węźu ssawnym ($T_{Lp} = T_f - (T_f - T_L) \cdot e^{\frac{-\alpha S}{c_L \rho_L V_L t_1}}$), T_f – temperatura powietrza, T_L – temperatura początkowa cząstki lodu.

Przeprowadzone obliczenia stanów termodynamicznych cząstek suchego lodu [15] oraz dokonana analiza wyników pozwoliła na sklasyfikowanie czynników, według stopnia ich oddziaływania, mających wpływ na temperaturę końcową cząstek suchego lodu, a więc i na ich przydatność w procesie czyszczenia:

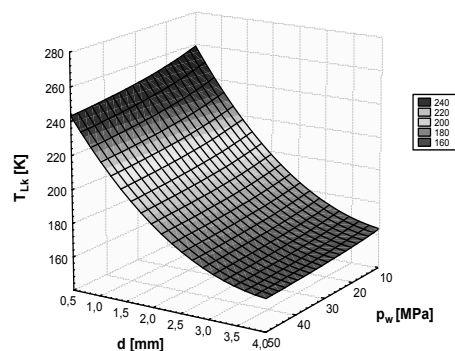
- Najsilniej oddziaływującym czynnikiem na końcową temperaturę cząstek lodu jest ich temperatura początkowa (rys. 2).
- Tuż za nią plasuje się robocza długość strugi wodno-lodowej (rys. 3).
- Nieco mniejszy wpływ na temperaturę końcową cząstek suchego lodu wywiera ich wielkość (rys. 4).
- Następnymi w kolejności pod względem intensywności oddziaływania na końcową temperaturę cząstek suchego lodu jest temperatura wody oraz jej ciśnienie (rys. 4).
- W niedużym stopniu na temperaturę końcową lodu oddziałuje długość węzła ssawnego.
- Najmniejszy wpływ na temperaturę końcową cząstek suchego lodu wywiera temperatura powietrza.



Rys. 2. Zależność końcowej temperatury lodu od średnicy cząstek lodu i jego temperatury początkowej: 1 – $T_L=153$ K, 2 – $T_L=123$ K; dla $p_w=20$ MPa
Fig. 2. Dependence of the final ice temperature on the diameter of ice particles and the ice initial temperature: 1 – $T_L=153$ K, 2 – $T_L=123$ K; for $p_w=20$ MPa



Rys. 3. Zależność końcowej temperatury lodu od średnicy cząstek lodu dla różnych roboczych długości strugi wodno-lodowej: 1 – $l_2=500$ mm, 2 – $l_2=250$ mm; dla $p_w=20$ MPa
Fig. 3. Dependence of the final ice temperature on the diameter of ice particles for various working lengths of the water-ice jet: 1 – $l_2=500$ mm, 2 – $l_2=250$ mm; for $p_w=20$ MPa



Rys. 4. Zależność końcowej temperatury lodu od średnicy cząstek lodu dla różnych wartości ciśnienia strugi wody. $T_L=153$ K, $T_p=293$ K, $T_w=293$ K
Fig. 4. Dependence of the final ice temperature on the diameter of ice particles for various pressure values of the water jet: $T_L=153$ K, $T_p=293$ K, $T_w=293$ K

W przypadku gdy cząstki lodu mają temperaturę początkową równą temperaturze sublimacji, to w trakcie kreowania strugi wodno-lodowej nie występuje podnoszenie ich temperatury lecz pobierane ciepło jest zużywane na przesublimowanie suchego lodu. Temperatura powietrza może maksymalnie obniżyć się do temperatury sublimacji lodu. Maksymalną ilość lodu, jaka może ulec przesublimowaniu, określa się z zależności:

$$z_{LI} = \frac{\dot{m}_p c_p}{\dot{m}_L c_s} (T_{pp} - T_{kp}), \quad (2)$$

gdzie: \dot{m}_p - masowe natężenie przepływu powietrza, c_p - ciepło właściwe powietrza, T_{pp} - temperatura początkowa powietrza, T_{kp} - temperatura końcowa powietrza, \dot{m}_L - masowe natężenie przepływu CO₂, c_s - ciepło sublimacji lodu CO₂.

W przypadku gdy temperatura początkowa powietrza wynosi $T_{pp}=293$ K, przesublimowaniu może ulec maksymalnie 4,7% CO₂, co przy masowym natężeniu przepływu lodu $\dot{m}_L = 95$ kg/h daje 4,47 kg/h.

Temperaturę końcową strugi wody można obliczyć ze wzoru:

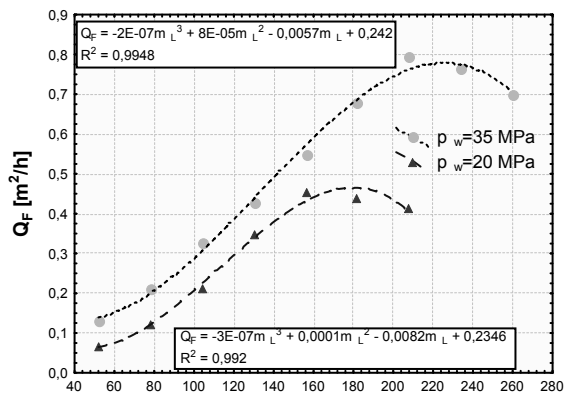
$$T_{kw} = T_{pw} - \frac{z_{L2} \dot{m}_{L2} c_s}{\dot{m}_w c_w}, \quad (3)$$

gdzie: T_{pw} - temperatura początkowa wody, z_{L2} - ilość przesublimowanego CO₂ w czasie od zetknięcia ze strugą wodną do momentu zetknięcia z obrabianą powierzchnią, \dot{m}_{L2} - masowe natężenie przepływu CO₂ w chwili mieszania ze strugą wodną, \dot{m}_w - masowe natężenie przepływu wody, c_w - ciepło właściwe wody.

W trakcie transportu i kreowania strugi maksymalnie sublimuje około 30 % suchego lodu. Jeśli wziąć pod uwagę iż struga powietrza będzie najpierw ochłodzona z 293 K do 251,09 K, a następnie pobierać będzie maksymalną ilość ciepła od wody oraz, że suchy lód ulegnie sublimacji w 30%, podczas całego procesu kreowania strugi wodno-lodowej, to temperatura wody przy styku z obrabianą powierzchnią ulegnie obniżeniu maksymalnie o 1,03 K.

4. Badania eksperymentalne

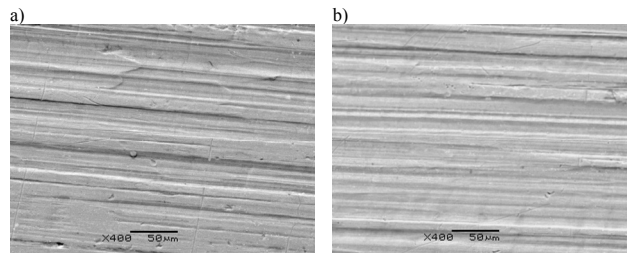
Do badań użyto cząstek suchego lodu o temperaturze niższej od temperatury sublimacji. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wydatku cząstek suchego lodu dodanego do wysokociśnieniowej strugi wodnej uzyskuje się zwiększenie powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych. W początkowym okresie zwiększanie masowego natężenia przepływu CO₂ prowadzi do intensywnego wzrostu powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych, po czym obserwuje się występowanie maksymalnego tzw. granicznego wydatku CO₂, który zapewnia największą wydajność obróbki. Dalszy wzrost wydatku suchego lodu prowadzi do powolnego spadku powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych. Typowymi przykładami takich przebiegów są wykresy, uzyskane podczas obróbki próbek pokrytych dwiema warstwami farby podkładowej, zamieszczone na rys. 5.



Rys. 5. Wpływ wydatku suchego lodu CO₂ na powierzchniową wydajność usuwania dwóch warstw farby podkładowej ze stopu aluminium PA2 strugą wodno-lodową o ciśnieniu $p_w=20$ MPa i $p_w=35$ MPa

Fig. 5. Impact of CO₂ dry ice on the surface efficiency of the removal of two priming paint layers from PA2 aluminum alloy with a water-ice jet of pressure $p_w=20$ MPa and $p_w=35$ MPa

O przydatności cząstek suchego lodu do usuwania powłok lakierniczych świadczą także badania makro- i mikrostruktury powierzchni podłoża. Przykładowe zdjęcie skaningowe powierzchni, dość miękkiego materiału jakim jest stop aluminium PA2, przed malowaniem i przed obróbką przedstawiono na rys. 6a.

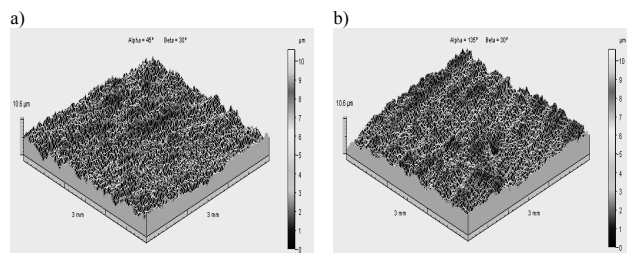


Rys. 6. Obrazy mikroskopowe powierzchni stopu aluminium PA2: a) przed malowaniem i przed obróbką wysokociśnieniową strugą wodno-lodową, b) po obróbce wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w=35$ MPa, $\dot{m}_L = 208$ kg/h)

Fig. 6. Microscopic images of the PA2 aluminum alloy surface: a) prior to painting and treatment with a high-pressure water-ice jet, b) after treatment with a high-pressure water-ice jet ($p_w=35$ MPa, $\dot{m}_L = 208$ kg/h)

Charakterystyczne rysy, przebiegające pod różnym kątem do śladów powstałych w wyniku walcowania, oraz drobne zanieczyszczenia zalegające w mikroporach powierzchni, widoczne jako ciemne punkty, obserwuje się dopiero przy 400 krotnym powiększeniu. Zdjęcie skaningowe powierzchni stopu aluminium PA2, z którego usunięto dwie warstwy farby podkładowej wysokociśnieniową strugą wodno-lodową przedstawiono na przykładowym rys. 6b. Na analizowanej fotografii widoczne są ślady po walcowaniu oraz rysy i mikropory powierzchni oczyszczone z farby podkładowej. Należy zaznaczyć, że struktura powierzchni, stosunkowo miękkiego materiału, jaki stanowi stop aluminium, nie została naruszona. Jest to przekonujący dowód na to, że obróbka strugą wodno-lodową jest bezpiecznym narzędziem obróbki dla materiału podłoża.

Usuwanie powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową posiada niewątpliwą zaletę, bowiem nie powoduje naruszenia struktury geometrycznej oczyszczonej powierzchni. Strukturę geometryczną powierzchni (SGP) stopu aluminium PA2 przed nałożeniem powłok lakierniczych przedstawiono na przykładowym rys. 7a. Tą samą próbkę po usunięciu czterech warstw powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową zaprezentowano na rys. 7b. Stwierdzono, że morfologia powierzchni w obu przypadkach jest niemal identyczna. W SGP stopu aluminium PA2, zarówno dla próbki przed nałożeniem powłoki lakierniczej jak i po jej usunięciu, widoczne są ułożone równolegle i naprzemiennie wobec siebie wgłębienia i wzniesienia będące charakterystycznymi śladami po walcowaniu.



Rys. 7. Struktura geometryczna powierzchni stopu aluminium PA2: a) powierzchnia przed nałożeniem powłok lakierniczych, b) powierzchnia po usunięciu powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w=35$ MPa, $\dot{m}_L = 208$ kg/h)

Fig. 7. Geometric structure of PA2 aluminum alloy surface: a) surface before application of varnish coats, b) surface after removal of varnish coats with a high-pressure water-ice jet ($p_w=35$ MPa, $\dot{m}_L = 208$ kg/h)

Ponadto o braku naruszenia struktury geometrycznej oczyszczonej powierzchni świadczy również wysokość nierówności (S_z) określona jako odległość między najwyższym i najniższym punktem powierzchni, która w obu przedstawionych przypadkach wynosi 10,6 μm . Średnie arytmetyczne odchylenie chropowatości powierzchni (S_a) wyniosło 1,04 μm dla próbek przed obróbką wysokociśnieniową strugą wodno-lodową oraz 1,06 μm dla próbek, z których usunięto cztery warstwy powłok lakierniczych. Niemal identyczne rezultaty uzyskano po usunięciu dwóch warstw powłok lakierniczych.

5. Podsumowanie

W procesie kreowania wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej największą rolę w zwiększaniu temperatury lodu CO_2 odgrywa jego temperatura początkowa.

Gdy cząstki suchego lodu w stanie początkowym mają temperaturę sublimacji to podczas ich transportu ze zbiornika do dyszy przesublimowaniu może ulec maksymalnie 4,7% CO_2 .

Stosowanie cząstek suchego lodu jako dodatku do wysokociśnieniowej strugi wodnej zapewnia uzyskiwanie zwiększonej wydajności usuwania powłok lakierniczych. Dodatkowo obróbka strugą wodno-lodową nie powoduje zmian makro- i mikrostruktury powierzchni podłoża, co w wielu przypadkach jest najważniejszym argumentem do jej stosowania.

6. Literatura

- [1] Sharma V., Chattopadhyaya S., Hloch S.: Multi response optimization of process parameters based on Taguchi-Fuzzy model for coal cutting by water jet technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 56, s. 1019–1025, 2011.
- [2] Huang L., Folkes J., Kinnell P., Shipway P. H.: Mechanisms of damage initiation in a titanium alloy subjected to water droplet impact during ultra-high pressure plain waterjet erosion. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, s. 1906–1915, 2012.
- [3] Azhari A., Schindler Ch., Kerscher E., Grad P.: Improving surface hardness of austenitic stainless steel using waterjet peening process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI: 10.1007/s00170-012-3962-1, 2012.
- [4] Chillman A., Ramulu M., Hashish M.: Waterjet peening and surface preparation at 600 MPa: A preliminary experimental study. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 129, Issue 4, s. 485–490, 2007.
- [5] Heinzel C., Antsupov G.: Prevention of wheel clogging in creep feed grinding by efficient tool clearing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 61, s. 323–326, 2012.
- [6] Bodnárová L., Sitek L., Hela R., Foldyna J.: New potential of highspeed water jet technology for renovating concrete structures. *Slovak Journal of Civil Engineering*, vol. XIX, No. 2, s. 1–7, 2011.
- [7] Borkowski J., Borkowski P., Chomka G.: Thermodynamical aspects of high-pressure water-ice jet formation. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. Wrocław, vol. II, No.1, s. 35–46, 2002.
- [8] Geskin E. S., Shishkin D., Babets K.: Application of ice particles for precision cleaning of sensitive surfaces. *Proc. of the 10th American Waterjet Conference*. vol. 1, Houston, Texas, s. 315–333, 1999.
- [9] Ivey R. B.: Carbon dioxide pellets blasting paint removal for potential application on Warner Robins Managed Air Force Aircraft. 1st Ann. Int. Workshop on Solvent Substitution. Phoenix, s. 88–90, 1990.
- [10] Dunsy C. M., Hashish M.: Feasibility study of the use of ultrahigh-pressure liquefied gas jets for machining of nuclear fuel pins. *Proceedings of the 8th American Water Jet Conference*, vol. II, Houston, Texas, s. 505–517, 1995.
- [11] Liu H. T., Fang S., Hibbard C., Maloney J.: Enhancement of ultrahigh-pressure technology with LN2 cryogenic jets. *Proceedings of the 10th American Waterjet Conference*. vol. I, Huston, Texas, s. 297–313, 1999.
- [12] Rex J.: A review of recent developments in surface preparation methods. *Journal of Protective Coatings and Linings*, s. 50–58, 1990.
- [13] Chomka G., Bil T.: Interpretacja wyników pomiarów powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych strugą wodno-lodową. *PAK*, vol. 57, nr 5, s. 538–541, 2011.
- [14] Liu B.-L., Liu L.-H., Wu L.: Research on the preparation of the ice jet and its cleaning parameters. *Proceedings of the 14th International Conference on Jetting Technology*. Brugge, Belgium, s. 203–210, 1998.

otrzymano / received: 09.04.2013

przyjęto do druku / accepted: 03.06.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczone:

- spis treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK