

Grzegorz CHOMKA

JAKOŚCIOWE ASPEKTY USUWANIA LAKIERU STRUGĄ WODNO-LODOWĄ

Streszczenie

W artykule omówiono oddziaływanie wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej na powierzchnie lakiernicze. Zaprezentowano także rezultaty uzyskane w wyniku działania strugi na materiał podłoża po usunięciu powłok lakierniczych.

Słowa kluczowe: mikropęknięcia, mikrostruktura powierzchni, struktura geometryczna powierzchni, struga wodno-lodowa.

WSTĘP

Do usuwania powłok lakierniczych najczęściej wykorzystuje się metody strumieniowo-ścierne i mechaniczne. Jednak nieumiejętne ich stosowanie prowadzi do naruszenia struktury materiału podłoża. Dlatego poszukując metod obróbki powierzchniowej nienaruszającej podłoża coraz większą uwagę zwraca się w kierunku strugi powietrzno-lodowej [5, 7, 9] lub wodno-lodowej [1, 2]. Na znaczeniu zyskują również metody obróbki prowadzone przy zastosowaniu zamrożonego gazu [3, 8], a także strugi kriogeniczne z ciekłego azotu [4, 8] lub amoniaku [6]. Istotną zaletą obróbki wysokociśnieniową strugą wodno-lodową jest usuwanie warstw wierzchnich bez wprowadzania naprężeń powierzchniowych [2].

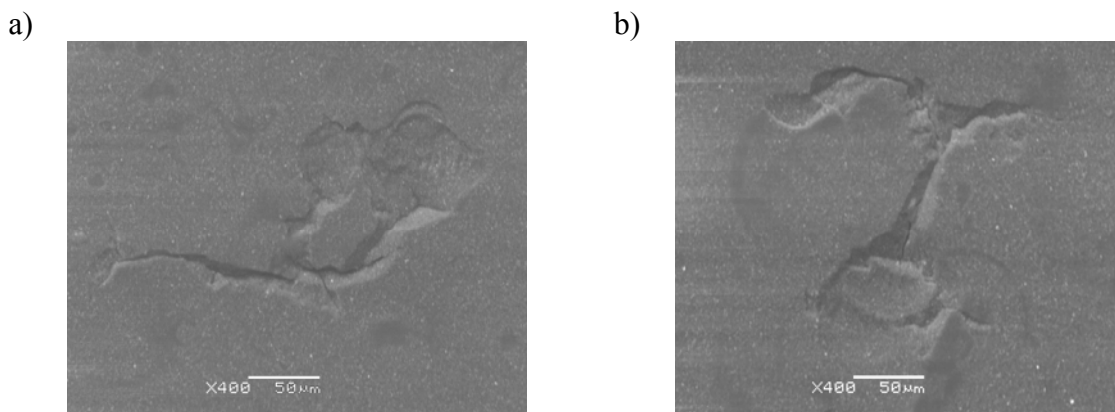
Badania makro- i mikrostruktury powierzchni przeprowadzono metodami mikroskopowymi wykorzystując w tym celu mikroskop skaningowy JOEL JSM-5500LV. Ponadto dla wyjaśnienia mechanizmu odspajania powłok lakierniczych oraz określenia stanu powierzchni materiału podłoża po obróbce strugą wodno-lodową wykonano analizy struktury geometrycznej kształtowanych powierzchni, do czego używano profilografometru przestrzennego Taly-surf CLI 2000 firmy Taylor-Hobson.

1. ODDZIAŁYWANIE STRUGI NA POWIERZCHNIĘ LAKIERNICZĄ

1.1. Powstawanie mikropęknięć

W procesie usuwania powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową zasadniczą rolę odgrywa skoncentrowany strumień energii strugi wodnej i rozprzeczonych przez nią cząstek suchego lodu CO₂. W wyniku zderzenia cząstek suchego lodu z czyszczoną powierzchnią dochodzi do oddziaływania termicznego i mechanicznego. Zderzające się z powłoką lakierniczą cząstki suchego lodu wywołują w niej punktowe, lokalne obniżenie temperatury wierzchniej warstwy lakierniczej. W wyniku spadku temperatury dochodzi do utraty elastyczności powłoki lakierniczej. Równoległe cząstki suchego lodu, w wyniku mechanicz-

nego udarowego oddziaływania prowadzą do powstawania mikropęknięć. Przykładowe mikropęknięcia powstające w wierzchniej warstwie lakierniczej przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Obrazy mikroskopowe typowych mikropęknięć powierzchni pokryw lakierniczych obrabianych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową o ciśnieniu $p_w = 35$ MPa i wydatku suchego lodu $m_L = 104$ kg/h)

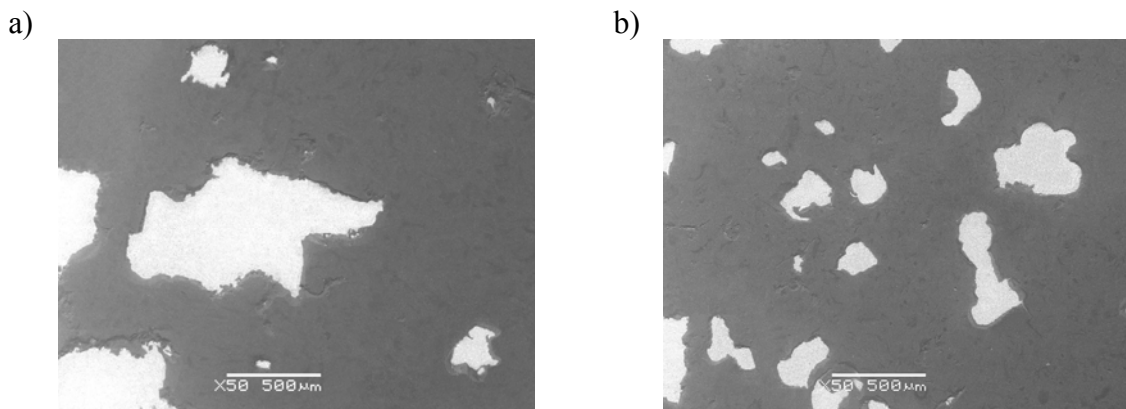
Źródło: Opracowanie własne.

Średnia długość pęknięć wynosi około 300 μm, zaś ich szacunkowa głębokość jest w przybliżeniu równa 25 μm. Na przedstawionych fotografiach oprócz mikropęknięć widać różne, nieregularne formy odprysków i wykruszeń. W przeważającej liczbie przypadków przybierają one postać „leja” rozciągniętego wzdłuż powstałego pęknięcia, czyli ich największa powierzchnia występuje na zewnętrznej części powłoki lakierniczej zaś „ścianki boczne” „zbiegają się” ku dolnym warstwom tej powłoki.

1.2. Odspojenia lakiernicze

Sublimującym w strefie obróbki cząstkom suchego lodu towarzyszy gwałtowne powstawanie gazu CO_2 o objętości ponad 800 razy większej od cząstek suchego lodu w stanie stałym. Bardzo duże spiętrzenia dynamicznego ciśnienia gazu wciskają wodę w powstałe mikropęknięcia zwiększając tam jej ciśnienie.

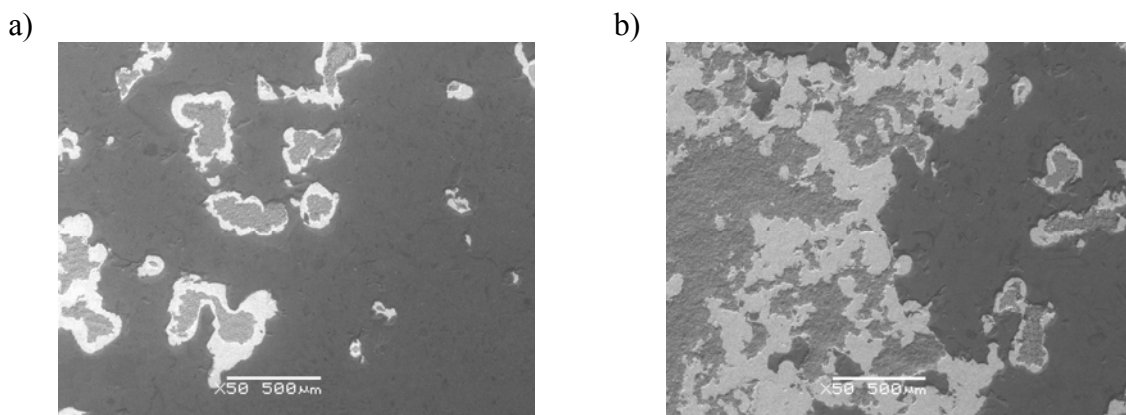
W następstwie złożonych oddziaływań (termicznego, udarowego i ciśnienia płynu) dochodzi do powiększania i rozrostu szczelin skutkujących rozrywaniem pęknięć, co prowadzi do odspajania warstw lakieru. Odspojenia mogą powstawać tylko w wierzchniej warstwie lakierniczej, lub sięgać kilku warstw w głąb, w zależności od zastosowanych parametrów obróbki. Typowe przykłady odspojen wierzchniej warstwy lakierniczej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Obrazy mikroskopowe typowych odspojen wierzchniej warstwy lakierniczej powstałych po obróbce wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w = 20$ MPa, $m_L = 156$ kg/h)

Źródło: Opracowanie własne.

Odspojenia dwóch warstw lakierniczych zaprezentowano natomiast na przykładowym rysunku 3. Widać na nich wyraźnie, że oprócz wierzchniej (najciemniejszej) warstwy lakierniczej usunięciu uległa również druga (występująca jako biała) warstwa lakiernicza, pod którą znajduje się farba podkładowa.



Rys. 3. Obrazy mikroskopowe typowych odspojen dwóch warstw lakierniczych powstałych po obróbce wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w = 35$ MPa, $m_L = 156$ kg/h)

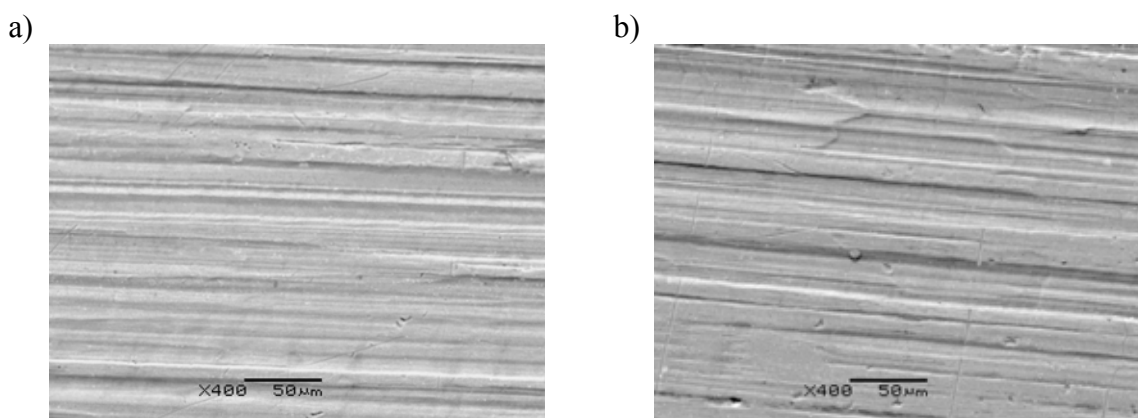
Źródło: Opracowanie własne.

Dobierając parametry obróbki, uzyskuje się tzw. „delikatną” strugę, w wyniku oddziaływania której można usunąć pojedyncze warstwy lakiernicze w zasadzie bez naruszania warstw leżących głębiej. Zwiększenie ciśnienia strugi wodnej przynajmniej do $p_w = 30$ MPa oraz wydatku suchego lodu zbliżonego do wielkości zapewniającej maksymalną powierzchniową wydajność usuwania powłok lakierniczych, powoduje powstawanie strugi tzw. „agresywnej”. W wyniku jej oddziaływania dochodzi do usunięcia jednocześnie kilku warstw lakierniczych.

2. OCENA STANU POWIERZCHNI PODŁOŻA

2.1. Mikrostruktura powierzchni podłoża

Usuwanie powłok lakierniczych strugą wodno-lodową, zarówno „delikatną” jak i „agresywną” nie powoduje naruszenia struktury powierzchni stopu aluminium PA2. Świadczą o tym przykładowe zdjęcie skaningowe (rys. 4a) powierzchni PA2, z którego usunięto dwie warstwy farby podkładowej „agresywną” wysokociśnieniową strugą wodno-lodową. Dla porównania na rys. 4b zamieszczono zdjęcie powierzchni PA2 przed malowaniem.

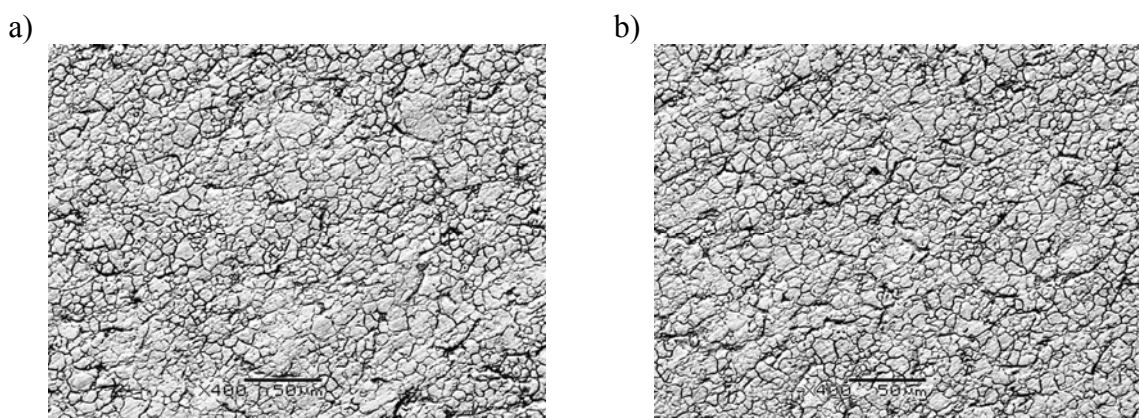


Rys. 4. Obrazy mikroskopowe powierzchni stopu aluminium PA2: a – po obróbce wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w = 35$ MPa, $m_L = 208$ kg/h), b – przed malowaniem

Źródło: Opracowanie własne.

Na obu analizowanych fotografiach, przy 400-krotnym powiększeniu, obserwuje się ślady po walcowaniu oraz rysy i mikropory powierzchni. 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, nawet przy największej jej „agresywności” dla powłok lakierniczych, jest bezpiecznym narzędziem obróbki dla stopu aluminium PA2.

Do analogicznych wniosków dochodzi się analizując próbki ze stali X5CrNi18-10. Po usunięciu dwóch warstw farby podkładowej, zarówno strugą „delikatną” jak i „agresywną”, struktura powierzchni nie zostaje naruszona. Brak jest jakichkolwiek mikropęknięć czy mikro-wykruszeń powstałych po usunięciu powłok lakierniczych. Przykładowy wygląd powierzchni stali X5CrNi18-10 po obróbce wysokociśnieniową „agresywną” strugą wodno-lodową przedstawiono na rys. 5a, zaś powierzchnię przed malowaniem na rys. 5b. W obu przypadkach widać droбноziarnistą strukturę z widocznymi ciemnymi granicami ziaren.

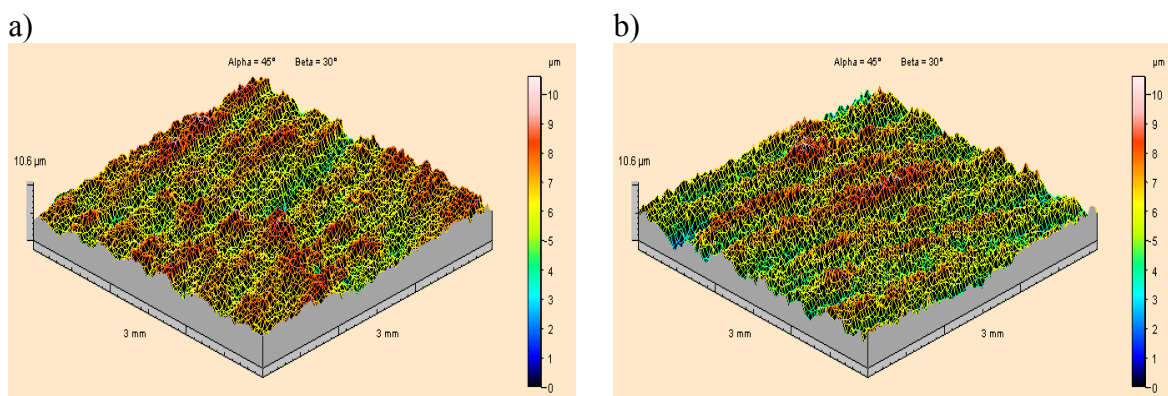


Rys. 5. Obrazy mikroskopowe powierzchni stali X5CrNi18-10: a – po obróbce wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w = 35$ MPa, $m_L = 208$ kg/h), b – przed malowaniem

Źródło: Opracowanie własne.

2.2. Struktura geometryczna powierzchni podłoża

O nienaruszaniu materiału podłoża podczas usuwania powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową świadczą także badania struktury geometrycznej powierzchni (SGP). Przykładowy widok SGP stopu aluminium PA2 po usunięciu czterech warstw powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową zaprezentowana na rys. 6a, zaś na rys. 6b przedstawiono SGP stopu aluminium PA2 przed nałożeniem powłok lakierniczych.

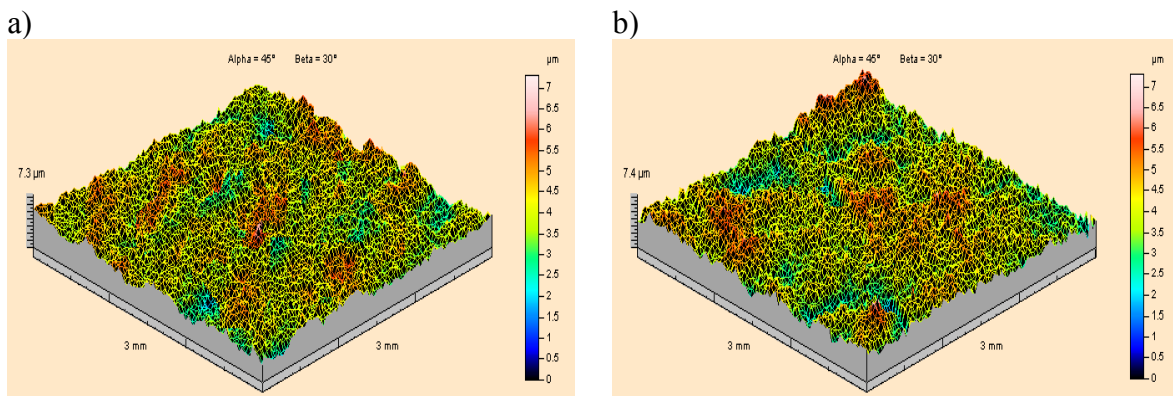


Rys. 6. Struktura geometryczna powierzchni stopu aluminium PA2: a – po usunięciu cztero-warstwowej powłoki lakierniczej wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w = 35$ MPa, $m_L = 208$ kg/h), b – przed malowaniem

Źródło: Opracowanie własne.

Stwierdzono, że morfologia powierzchni w obu przypadkach jest niemal identyczna. W strukturze geometrycznej powierzchni stopu aluminium PA2, zarówno dla próbki przed nałożeniem powłoki lakierniczej (rys. 6b) jak i po jej usunięciu (rys. 6a), widoczne są ułożone równoległe i naprzemiennie wobec siebie wgłębienia i wzniesienia będące charakterystycznymi śladami po walcowaniu. Dodatkowo o braku naruszania struktury geometrycznej oczyszczonej powierzchni świadczy również fakt, że wysokość nierówności (S_t) określona jako odległość między najwyższym i najniższym punktem powierzchni w obu przypadkach wynosi $10,6 \mu\text{m}$. Średnie arytmetyczne odchylenie chropowatości powierzchni (S_a) wyniosło $1,06 \mu\text{m}$ dla próbek, z których usunięto cztery warstwy powłok lakierniczych oraz $1,04 \mu\text{m}$ dla próbek przed obróbką wysokociśnieniową strugą wodno-lodową.

Analogiczne rezultaty jak dla stopu PA2 zanotowano również w przypadku badań stali X5CrNi18-10. Usunięcie czterech warstw powłok lakierniczych (rys. 7a) wysokociśnieniową „agresywną” strugą wodno-lodową nie spowodowało zmian w morfologii powierzchni podłoża. Jest ona niemal identyczna z powierzchnią próbek przed nałożeniem powłok lakierniczych (rys. 7b). W obu przypadkach widać nieregularnie rozmieszczone zagłębienia i wzniesienia. Dla próbek, z których usunięto powłoki lakiernicze wysokość nierówności wyniosła $S_t = 7,3 \mu\text{m}$, zaś dla próbek przed malowaniem była równa $S_t = 7,4 \mu\text{m}$. Analogicznie jest w przypadku średniego arytmetycznego odchylenia chropowatości powierzchni (S_a). Przed obróbką odnotowano $S_a = 0,77 \mu\text{m}$, zaś po obróbce wartość ta wyniosła $S_a = 0,78 \mu\text{m}$. Można więc wnioskować, że usuwanie powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodno-lodową nie narusza struktury powierzchni materiału podłoża.



Rys. 7. Struktura geometryczna powierzchni stali X5CrNi18-10: a – po usunięciu czterowarstwowej powłoki lakierniczej wysokociśnieniową strugą wodno-lodową ($p_w = 35 \text{ MPa}$, $m_L = 208 \text{ kg/h}$), b – przed malowaniem

Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Oddziaływanie wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej powoduje powstawanie mikro-pęknięć w wierzchniej warstwie lakierniczej.

Odpowiednie dobranie parametrów obróbki umożliwia usunięcie wierzchniej warstwy lakierniczej przy niewielkim naruszeniu warstw leżących głębiej. Przez zwiększenie ciśnienia strugi wodnej oraz wydatku suchego lodu otrzymuje się narzędzie zdolne do usuwania jednocześnie kilku warstw lakierniczych.

Usuwanie powłok lakierniczych zarówno „delikatną” jak i „agresywną” strugą wodno-lodową nie powoduje zmian w mikrostrukturze jak i strukturze geometrycznej powierzchni podłoża. Odnosi się to zarówno do materiałów miękkich i mało odpornych na zarysowania (np. stop aluminium PA2), jak również do materiałów twardych np. stal X5CrNi18-10. Mając

na uwadze powyższe zalety obróbkę wysokociśnieniową strugą wodno-lodową należy stosować tam, gdzie zależy nam aby po czyszczeniu struktura materiału podłoża nie została naruszona. W tym miejscu można wymienić usuwanie powłok lakierniczych, czyszczenie form wtryskowych czy urządzeń i linii technologicznych przemysłu spożywczego.

BIBLIOGRAFIA

1. Borkowski P. J., *Teoretyczne i doświadczalne podstawy hydrostrumieniowej obróbki powierzchni*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004.
2. Chomka G., *Podstawy stosowania wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej do usuwania powłok lakierniczych*. Praca doktorska, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2006.
3. Dunsy C. M., Hashish M., *Feasibility study of the use of ultrahigh-pressure liquefied gas jets for machining of nuclear fuel pins*. Proc. Of the 8th American Water Jet Conference, vol. II, Houston, Texas 1995.
4. Dunsy C. M., Hashish M., *Observations on cutting with abrasive-cryogenic jets*. Proc. of the 13th International Conference on Jetting Technology – Applications and Opportunities. Sardinia 1996.
5. 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 1999.
6. Hashish M., Dunsy C. M., *The formation of cryogenic and abrasive-cryogenic jets*. Proc. of the 14th International Conference on Jetting Technology, Brugge, Belgium 1998.
7. 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 1990.
8. Liu H. T., Fang S., Hibbard C., Maloney J., *Enhancement of ultrahigh-pressure technology with LN₂ cryogenic jets*. Proc. of the 10th American Waterjet Conference, vol. I, Houston, Texas 1999.
9. Spur G., Uhlmann E., Elbing F., *Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application*. Wear, vol. 233-235, 1999.

QUALITATIVE ASPECTS OF THE REMOVAL OF VARNISH WITH THE WATER-ICE JET

Abstract

This article covers the impact of a high-pressure jet on varnish surface. Furthermore, those results were presented that were obtained as a result of the action on the jet on the base material after the removal of varnish coats.

Key words: microcracks, surface microstructure, geometric structure of the surface, water-ice jet.

Autor:

dr inż. **Grzegorz Chomka** – Politechnika Koszalińska