

Grzegorz CHOMKA

WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW OBRÓBKI STRUGĄ WODNO-LODOWĄ NA WYDAJNOŚĆ USUWANIA POWŁOK LAKIERNICZYCH

Streszczenie

W artykule omówiono obróbkę powłok lakierniczych wysokociśnieniową strugą wodną domieszkaną cząstkami suchego lodu CO₂. Zaprezentowano wyniki badań nad przydatnością takiej metody do usuwania powłok lakierniczych stosowanych w przemyśle samochodowym.

Słowa kluczowe: struga wodno-lodowa, ciśnienie, wydatek lodu, długość robocza strugi.

WSTĘP

Obróbki wysokociśnieniową strugą wodną pozwala na dokładne mycie powierzchni, jak i przygotowanie podłoża do ponownego malowania, czy też usuwanie starych powłok, rdzy, bądź innych osadów i zanieczyszczeń. W celu zwiększenia sprawności obróbki wysokociśnieniową strugę wodną domieszkuje się ziarnami ściernymi. Pozwala to obniżyć ciśnienie robocze cieczy, jednak powoduje, że narzędziem erozji nie jest już czysta chemicznie i mechanicznie woda, lecz zawiesina wodo-ścierna. Skuteczność obróbki strugą wodno-ścierną znacznie przewyższa osiąganą przy użyciu strugi wodnej, jednak pozostające w obrabianej powierzchni drobiny ścierniwa prowadzą do ograniczenia możliwości jej stosowania. W ostatnich latach, oprócz wysokociśnieniowej strugi wodnej oraz wysokociśnieniowej strugi wodno-ścierniej czy też wodno-ścierno-lodowej [1, 2], do czyszczenia powierzchni szczególnie popularne stało się stosowanie strugi wodno-lodowej [2, 4] i gazowo-lodowej [3, 5]. Strugę nośną stanowi wysokociśnieniowy strumień wody lub gazu (najczęściej powietrza). Często także nośnikiem strugi bywa ciekły azot, amoniak oraz ciekły dwutlenek węgla. Typowe ziarna ściernie zastępuje kruszony lód wodny lub cząsteczki suchego lodu CO₂. Technika czyszczenia strugą wodno-lodową znajduje zastosowanie tam gdzie nie można stosować strugi wodno-ścierniej (np. przemysł spożywczy, itp.), a struga wodna zapewnia niewielką efektywność obróbki. Cząstki lodu wodnego lub suchego lodu CO₂ stanowią więc swoisty zamiennik ziaren ściernych i prowadzą do intensyfikacji proces obróbki.

1. WARUNKI BADAŃ

Prace badawcze zrealizowano na stanowisku prototypowym zbudowanym z wykorzystaniem stacjonarnego hydromonitora wyposażonego w trójnurnikową pompę wodną. Wytwa-

rzała ona wysokociśnieniową strugę wodną. Struga pod zadaniem ciśnieniem trafiała do pistoletu wodnego, na którego lufie osadzono koncentryczny tryskacz z rurową kierownicą o zmiennej długości. W korpusie tryskacza umieszczono koncentryczną dyszę czterootworową o średnicy otworów wodnych 1,2 mm.

Jako materiału ziarnistego używano zestalonego dwutlenek węgla zwanego suchym lodem o temperaturze 194,6 K (-78,5 °C). W wyniku dostarczenia mu energii przechodzi on z fazy stałej w stan gazowy z pominięciem fazy ciekłej. Efektem sublimacji cząstek suchego lodu podczas ich rozpędzania w strudze wodnej jest charakterystyczne zadymienie unoszące się na wylocie z kierownicy tryskacza oraz w strefie obróbki. Gęstość cząstek suchego lodu w stanie stałym wynosi 1564 kg/m³, a ich twardość ocenia się na 2÷3 w skali Mohsa, co stanowi równowartość pomiędzy solą kamienną a kalcytem. Do badań stosowano walcowe cząstki suchego lodu o średnicy 1,9 mm i długości około 5,5 mm.

Określając rodzaj materiałów stanowiących podłoże do naniesienia powłok lakierniczych wybrano takie, które są stosowane w konstrukcjach technicznych i samochodowych. Z tego względu wybrano do badań stal nierdzewną chromowo-niklową X5CrNi18-10, stop aluminium z domieszkami magnezu i manganu PA2 oraz polimetakrylan metylu PMMA.

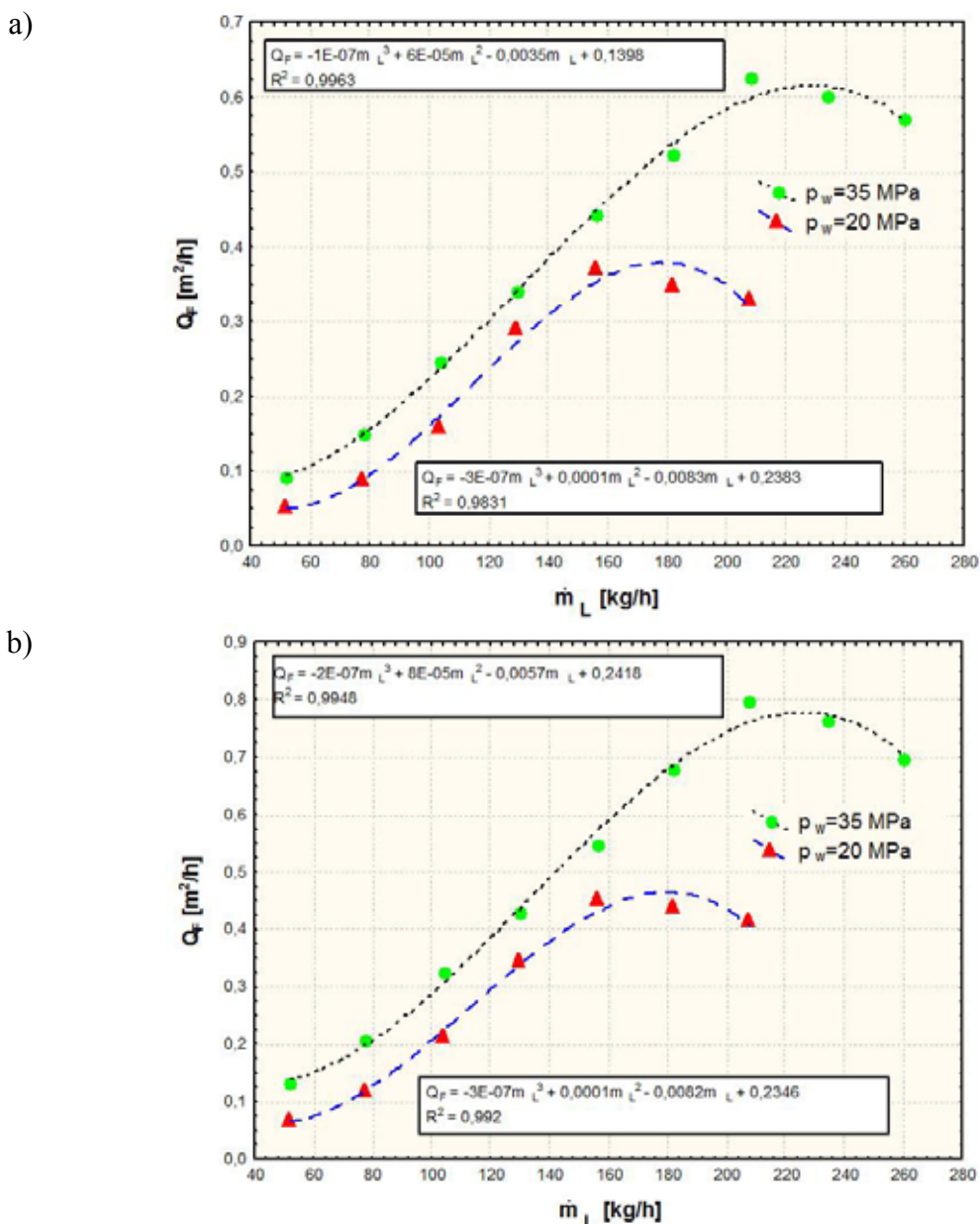
Wycięte i odtłuszczone próbki pokryto dwiema warstwami podkładu ftalowego, na który nałożono dwie warstwy emalii ftalowej karbamidowej.

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

2.1. Wpływ wydatku suchego lodu

Stwierdzono, że ze wzrostem wydatku cząstek suchego lodu domieszkowanego 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 rysunku 1.

W przypadku próbek stalowych X5CrNi18-10 pokrytych dwiema warstwami farby podkładowej uzyskuje się powierzchniową wydajność usuwania powłok lakierniczych $Q_F = 0,05 \text{ m}^2/\text{h}$ przy masowym natężeniu przepływu suchego lodu $m_L = 52 \text{ kg/h}$ i ciśnieniu strugi wodnej $p_w = 20 \text{ MPa}$. Dwukrotne zwiększenie wydatku suchego lodu CO₂ ($m_L = 104 \text{ kg/h}$) prowadzi do ponad trzykrotnego wzrostu powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych ($Q_F = 0,16 \text{ m}^2/\text{h}$). Zbyt duże natężenie przepływu cząstek CO₂ powoduje „dławienie” przepustu dyszy nadmiarem lodu. Wówczas struga wodna nie jest w stanie rozpędzić cząstek suchego lodu tak aby uzyskały one maksymalną prędkość. Dlatego cząstki suchego lodu przy zbyt dużym ich natężeniu przepływu posiadają mniejszą energię kinetyczną w porównaniu z cząstkami, które zostają w pełni przyspieszone. W efekcie końcowym następuje spadek powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych. Optymalny wydatek suchego lodu jaki należy stosować przy obróbce strugą wodno-lodową o ciśnieniu $p_w = 35 \text{ MPa}$, zapewniający maksymalną wydajność usuwania powłok lakierniczych, wynosi $m_L = 208 \text{ kg/h}$. Wówczas w wyniku kumulacji oddziaływania cząstek suchego lodu (mechanicznego oraz pochodzącego od ich sublimacji) i strugi wodnej uzyskuje się strugę wodno-lodową o największej erozyjności.

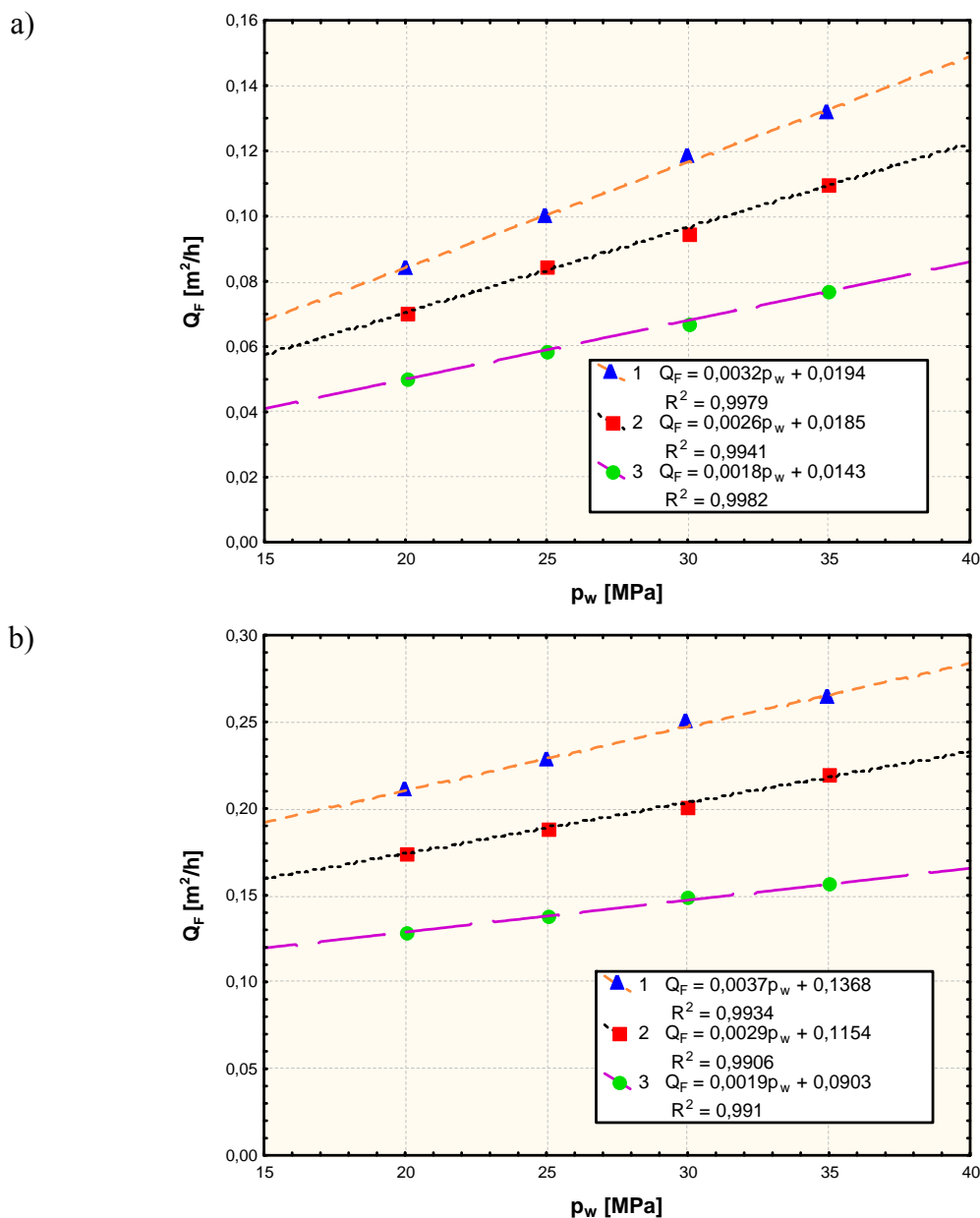


Rys. 1. Wpływ wydatku suchego lodu CO₂ na powierzchniową wydajność usuwania dwóch warstw farby podkładowej: a – ze stali X5CrNi18-10, b – ze stopu aluminium PA2 (TS = 4×1,2 mm, L_k = 200 mm, l₂ = 250 mm, κ = 90°, t = 30 s)

Źródło: Opracowanie własne.

2.2. Wpływ ciśnienia strugi wodnej

Wzrost ciśnienia strugi wodnej powoduje zwiększenie jej prędkość. W związku z tym cząstki suchego lodu CO₂, które są przez nią rozpędzane też mają większą prędkość, a jednocześnie i energię kinetyczną. Prowadzi to do silniejszego oddziaływania mechanicznego cząstek CO₂ na powierzchnię obrabianą oraz do intensyfikacji sublimacji cząstek. Ponadto struga wodna o wyższym ciśnieniu wywiera większą siłę na usuwaną powłokę lakierniczą. Dlatego w jej wierzchnich warstwach szybciej dochodzi do rozklinowywania i rozrywania powstających tam mikropęknięć. W efekcie końcowym oddziaływanie strugi o wyższym ciśnieniu pozwala uzyskiwać większą wydajność obróbki, a jednocześnie umożliwia rozpędzenie do maksymalnej prędkości większej masy suchego lodu. Pomimo złożonych relacji między parametrami procesu czyszczenia końcowa zależność wydajności obróbki od ciśnienia strugi wodnej jest prawie wprost proporcjonalna (rys. 2).



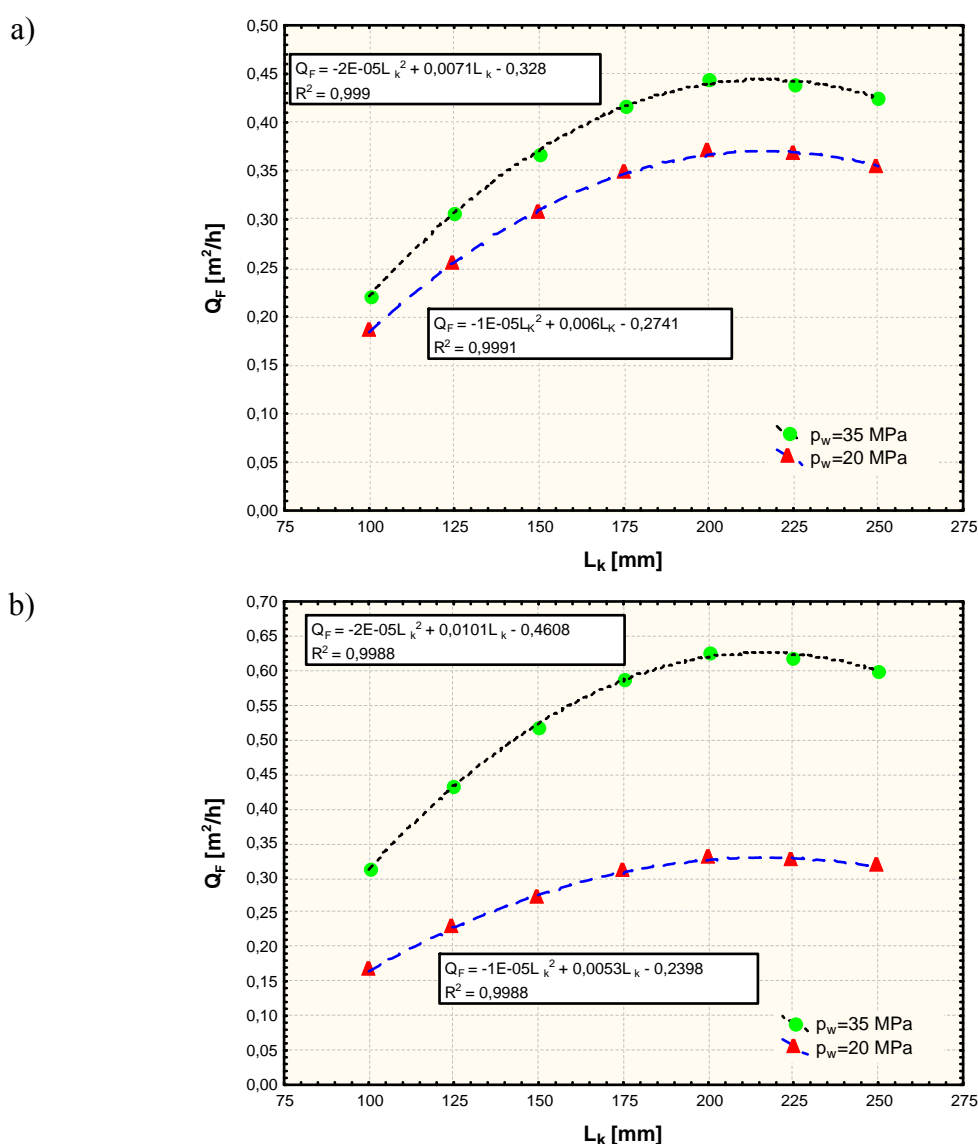
Rys. 2. Wpływ ciśnienia strugi wodno-lodowej na powierzchniową wydajność usuwania czterech warstw farb: 1 – z plexiglassu, 2 – ze stopu aluminium PA2, 3 – ze stali X5CrNi18-10 ($m_L = 104$ kg/h, $TS = 4 \times 1,2$ mm, $L_k = 200$ mm, $l_2 = 250$ mm, $\kappa = 90^\circ$, $t = 30$ s)

Źródło: Opracowanie własne.

Wskaźnik proporcjonalności wzrostu powierzchniowej wydajności usuwania czterech warstw powłok lakierniczych z plexiglassu strugą wodno-lodową o wydatku suchego lodu CO_2 równym $m_L = 104$ kg/h osiąga wartość $W = 3,2 \times 10^{-3}$ m²/hMPa. Dla próbek ze stopu aluminium PA2, przy identycznych warunkach obróbki, wskaźnik ten wynosi $W = 2,6 \times 10^{-3}$ m²/hMPa, a dla stali X5CrNi18-10 przyjmuje on wartość $W = 1,8 \times 10^{-3}$ m²/hMPa. Przy stosowaniu zwiększonego wydatku suchego lodu do $m_L = 156$ kg/h wskaźnik proporcjonalności wzrostu powierzchniowej wydajności usuwania czterech warstw powłok lakierniczych dla próbek z plexiglassu jest równy $W = 3,7 \times 10^{-3}$ m²/hMPa. W przypadku próbek ze stopu aluminium PA2 przyjmuje on wartość $W = 2,9 \times 10^{-3}$ m²/hMPa, a dla stali X5CrNi18-10 wynosi $W = 1,9 \times 10^{-3}$ m²/hMPa.

2.3. Wpływ długości kierownicy tryskacza

Stosowanie krótkich kierownic tryskacza, o długości $L_k < 100$ mm, powoduje szybką aerację strugi wodno-lodowej. Dlatego przestaje ona być zwarta ulegając intensywnemu rozpadowi, co prowadzi do obniżenia jej energii, a w związku z tym zapewnia niską erozyjność strugi wodno-lodowej. Z tego powodu do badań przyjęto minimalną długość kierownicy tryskacza $L_k = 100$ mm. Zwiększanie długości kierownicy tryskacza zmniejsza aerację strugi wodnej oraz zwiększa jej siłę naporu. Dlatego wzrost długości kierownicy tryskacza z $L_k = 100$ mm do około $L_k = 175$ mm prowadzi do prawie proporcjonalnego wzrostu powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych (rys. 3). Dalszy wzrost długości kierownicy tryskacza ($L_k = 200$ mm) sprawia, że osiąga się maksymalną powierzchniową wydajność obróbki, po której następuje niewielki jej spadek, w wyniku zastosowania kierownic tryskacza o jeszcze większej długości ($L_k = 225$ mm oraz $L_k = 250$ mm). Analogiczne zależności występują dla wszystkich rodzajów badanych materiałów podłoża, niezależnie od liczby warstw powłok malarskich, stosowanych wydatków suchego lodu jak i ciśnień strugi wodnej.

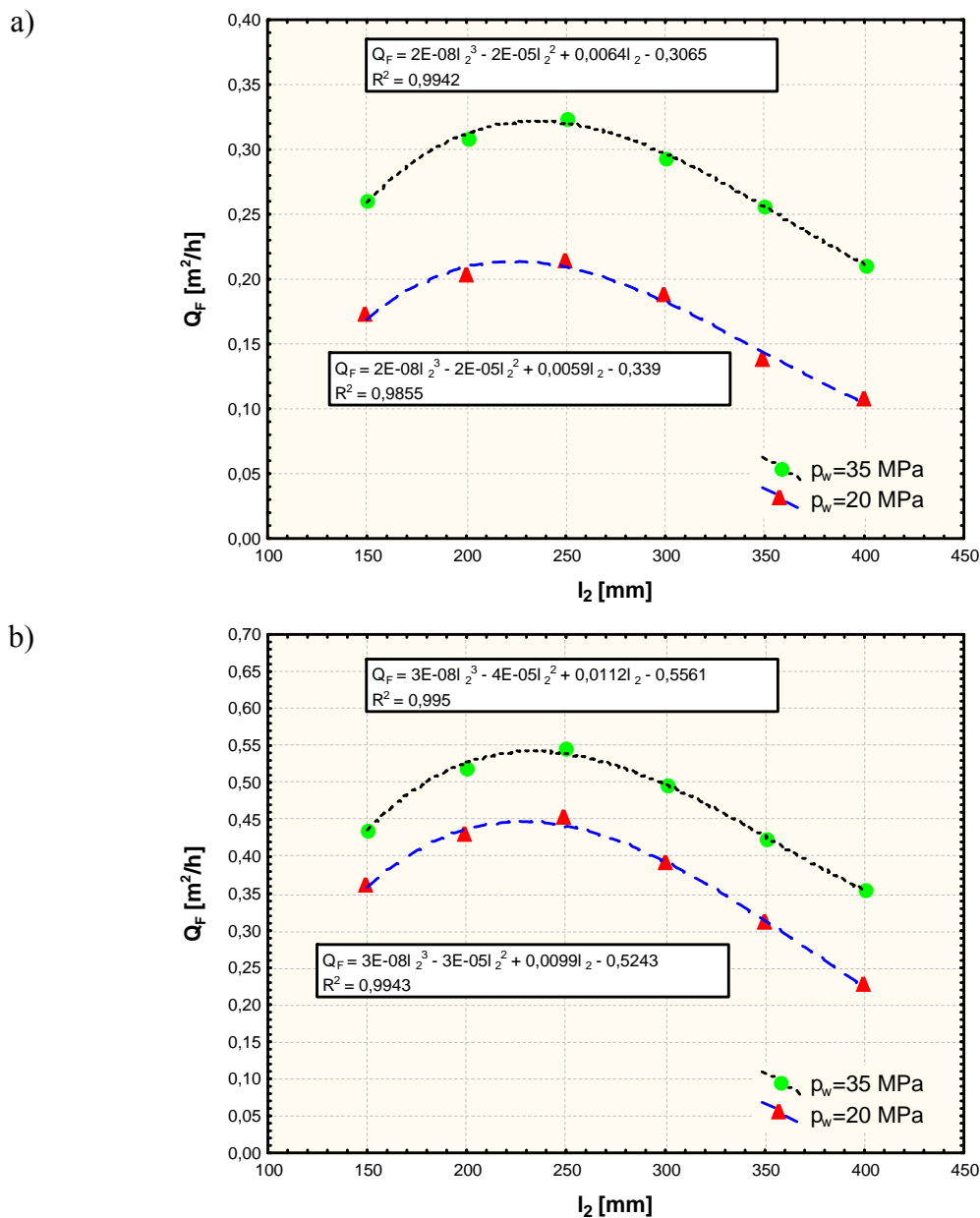


Rys. 3. Wpływ długości kierownicy tryskacza na powierzchniową wydajność usuwania dwóch warstw farby podkładowej ze stali X5CrNi18-10: a – $m_L = 156$ kg/h, b – $m_L = 208$ kg/h (TS = $4 \times 1,2$ mm, $l_2 = 250$ mm, $\kappa = 90^\circ$, $t = 30$ s)

Źródło: Opracowanie własne.

2.4. Wpływ roboczej długości strugi

Zbyt mała robocza długość strugi $l_2 = 150$ mm powoduje zawężenie powierzchni jej oddziaływania co sprawia, że intensywnie usuwana jest powłoka lakiernicza w strefie obróbki. Jednak w takim przypadku otrzymuje się narzędzie o wysokiej erozyjności, ale nie największej powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych. Zwiększenie roboczej długości strugi do $l_2 = 200$ mm powoduje wzrost wydajności obróbki wskutek zwiększenia powierzchni oddziaływania strugi. W przypadku strugi wodno-lodowej o ciśnieniu $p_w = 20$ MPa (rys. 4a i b) wzrost ten wynosi średnio około 19 %. Dalsze zwiększanie roboczej długości strugi z $l_2 = 150$ mm do $l_2 = 250$ mm prowadzi do uzyskania maksymalnej wydajności obróbki. Wzrost wynosi około 25 %. Kolejne zwiększenie roboczej długości strugi do $l_2 = 300$ mm powoduje spadek wydajności obróbki. Tendencja spadku wydajności obróbki jest zachowana również dla $l_2 = 350$ mm jak i przy stosowaniu roboczej długości strugi $l_2 = 400$ mm.

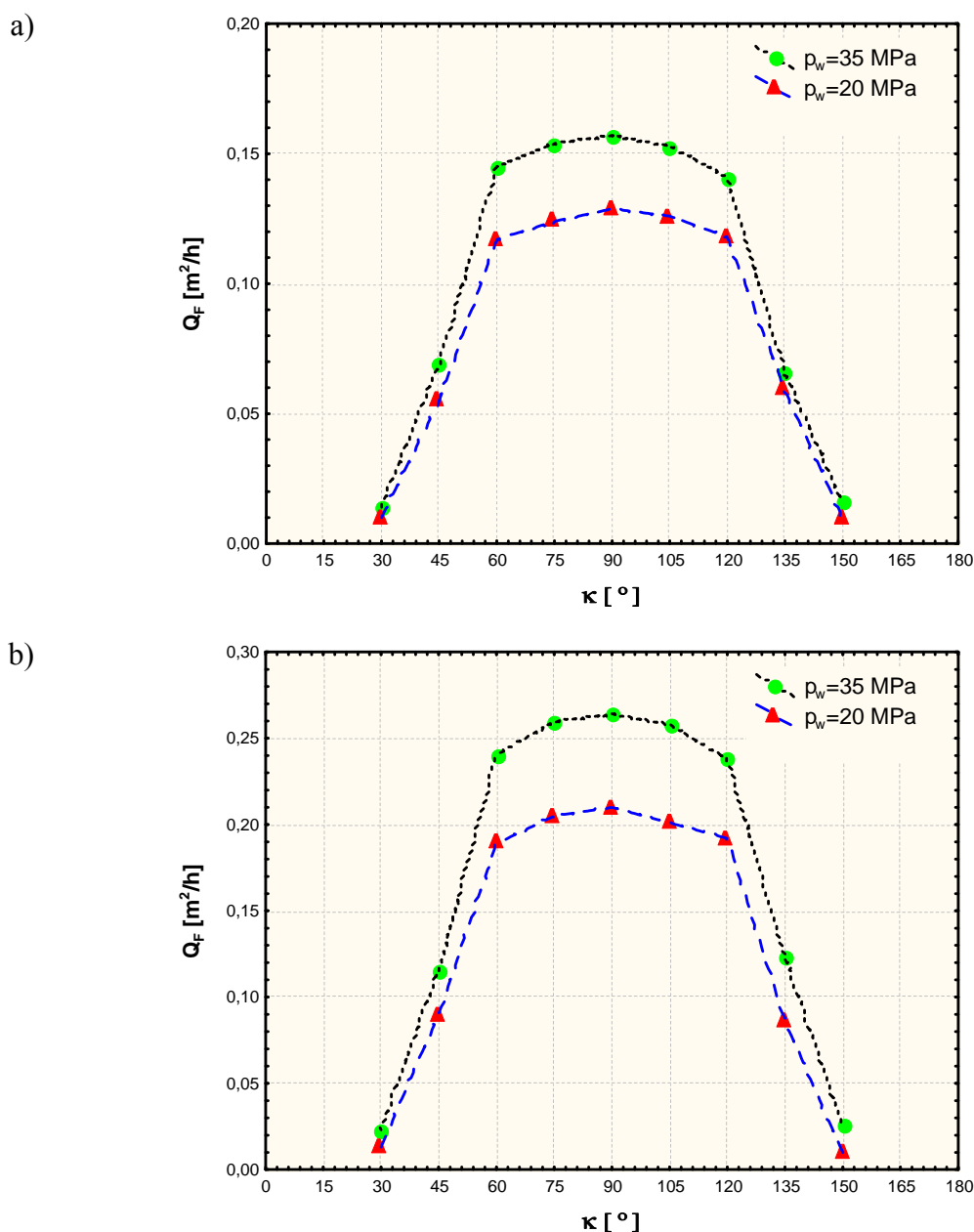


Rys. 4. Wpływ roboczej długości strugi na powierzchniową wydajność usuwania dwóch warstw farby podkładowej ze stopu aluminium PA2 strugą wodno lodową o wydatku suchego lodu: a – $m_L = 104$ kg/h, b – $m_L = 156$ kg/h (TS = 4×1,2 mm, $L_k = 200$ mm, $\kappa = 90^\circ$, $t = 30$ s)

Źródło: Opracowanie własne.

2.5. Wpływ kąta natrysku strugi

Na podstawie badań stwierdzono, że największą powierzchniową wydajność usuwania powłok lakierniczych uzyskuje się stosując kąt natrysku w granicach od 60° do 120° (rys. 5). W tym zakresie różnice w osiągniętej wydajności obróbki nie przekraczają 11%. Przy mniejszych kątach natrysku niż 60° i większych od 120° obserwuje się zdecydowany spadek powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych. Optymalna wartość kąta natrysku strugi $\kappa = 90^\circ$, który należy stosować w trakcie usuwania powłok lakierniczych, jest stała dla wszystkich czynników badanych wielkości wejściowych.



Rys. 5. Wpływ kąta natrysku strugi wodno-lodowej na powierzchniową wydajność usuwania czterech warstw farb przy stosowaniu wydatku suchego lodu $m_L = 156$ kg/h: a – ze stali X5CrNi18-10, b – z polimetakrylanu metylu PMMA (TS = $4 \times 1,2$ mm, $L_k = 200$ mm, $l_2 = 250$ mm, $t = 30$ s)

Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększanie wydatku suchego lodu prowadzi do wzrostu wydajności obróbki, aż do wystąpienia tzw. maksymalnego granicznego wydatku CO₂ jakim należy domieszkować strugę wodną, przy którym osiąga się najwyższą powierzchniową wydajność usuwania powłok lakierniczych. Po przekroczeniu maksymalnego wydatku jego dalsze zwiększanie powoduje spadek skuteczności obróbki.

Wzrost ciśnienia strugi wodnej skutkuje niemal wprost proporcjonalnym zwiększaniem wydajności usuwania powłok lakierniczych.

Zwiększanie długości kierownicy tryskacza do około $L_k = 200$ mm prowadzi do wzrostu powierzchniowej wydajności usuwania powłok lakierniczych. Dalszy przyrost długości kierownicy tryskacza sprawia, że następuje systematyczny spadek wydajności obróbki.

W początkowym okresie zwiększania roboczej długości strugi wodno-lodowej aż do $l_2 = 250$ mm rośnie wydajność obróbki. po czym obserwuje się stopniowy jej spadek dla wzrastającej roboczej długości strugi.

Maksymalną wydajność usuwania powłok lakierniczych zapewnia stosowanie kątów natrysku w granicach od 60° do 120°.

BIBLIOGRAFIA

1. Borkowski J., Borkowski P., Budniak Z., Chomka G., Sobczak R., *Teoretyczne i doświadczalne podstawy intensyfikowania obróbki wysokoenergetyczną hybrydową strugą hydrościerną*. Grant Komitetu Badań Naukowych, nr 8 T07D 027 20, 2001-2003.
2. Borkowski P., Chomka G., *The basis of material treatment using cryogenic jet* [in:] *Unconventional and Hydrojetting Technologies*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009.
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. 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.
5. 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, Huston, Texas 1999.

INFLUENCE OF SELECTED PARAMETERS OF PROCESSING WITH THE WATER-ICE JET ON THE EFFICIENCY OF THE REMOVAL OF VARNISH COATS

Abstract

This article covers processing of varnish coats with a high-pressure water jet with CO₂ dry ice additions. The results were presented of investigations concerning the usability of this method for the removal of those varnish coats that are used in motor industry.

Key words: water-ice jet, pressure, expense of ice, working length jet.

Autor:

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