

Damian Hadryś

*Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach
Katedra Bezpieczeństwa i Higieny Pracy
ul. Bankowa 8, 40-007 Katowice*

Bożena Szczucka-Lasota

*Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach
Katedra Podstaw Techniki i Jakości
ul. Bankowa 8, 40-007 Katowice*

DOI: 10.32039/WSZOP/1895-3794-2018-05

Aktualizacja oceny ryzyka zawodowego po zastosowaniu chłodzenia mikrostrumieniowego do procesu natryskiwania cieplnego

Updating of the occupational risk evaluation after the application of
micro-jet cooling in the process of thermal spraying

Streszczenie

Natryskiwanie cieplne jest jedną z technik wytwarzania powłok z różnych materiałów na podłożach z różnych materiałów (głównie metalowych). Podczas realizacji tego procesu na stanowisku pracy obecnych jest wiele zagrożeń. Ryzyko zawodowe wynika z tych zagrożeń, a te zależą w dużej mierze od metody natryskiwania cieplnego, używanych materiałów podstawowych oraz materiałów dodatkowych, itp.

W zależności od metody natryskiwania cieplnego, operator procesu ma do czynienia z różnego rodzaju zagrożeniami. Część z tych zagrożeń obecna jest podczas natryskiwania cieplnego niezależnie od wybranej metody. Istnieją jednak zagrożenia, które mają miejsce przy tylko niektórych metodach natryskiwania cieplnego. W związku z obecnością zagrożeń realizacja procesu natryskiwania cieplnego związana jest z pewnym ryzykiem, którego analiza prowadzi do jego oszacowania w zależności od okoliczności. Okolicznością taką może być na przykład wprowadzenie nowej metody natryskiwania cieplnego.

W niniejszym artykule przedstawiono opracowanie ryzyka zawodowego na przykładzie metody HVOF (High Velocity Oxy Fuel). Porównano ryzyko zawodowe operatora procesu natryskiwania cieplnego metodą HVOF z ryzykiem zawodowym operatora procesu natryskiwania cieplnego metodą HVOF z chłodzeniem mikrostrumieniowym.

Słowa kluczowe: *natryskiwanie cieplne, chłodzenie mikrostrumieniowe, ryzyko zawodowe.*

Abstract

Thermal spraying is one of the techniques for producing coatings of various materials on substrates of various materials (mainly metal). Many threats are present in the workplace during this process. Occupational risk results from these threats and

these depend largely on the method of thermal spraying, used primary materials and auxiliary materials.

Depending on the method of thermal spraying, the process operator has to deal with various types of hazards. Some of these hazards are present during thermal spraying regardless of the method chosen. However, there are risks that occur only with some methods of thermal spraying. Due to the presence of hazards, the implementation of the thermal spraying process is associated with a certain risk, the analysis of which leads to its estimation depending on the circumstances. Such a situation may be the introduction of a new method of thermal spraying.

This article presents the development of occupational risk using the HVOF (High Velocity Oxy Fuel) method. The occupational risk of the HVOF spraying operator with the occupational risk of the HVOF spraying process operator with micro-jet cooling were compared.

Keywords: *thermal spraying, micro-jet cooling, occupational risk.*

1. Wstęp

Procesy natryskiwania cieplnego są znane i stosowane od wielu lat. Natryskiwanie cieplne stosowane jest zasadniczo w dwóch przypadkach, tzn:

- podczas regeneracji zużytych części w celu przywrócenia im wymiarów nominalnych lub przy powtórnym regeneracyjnym wytwarzaniu ochronnych warstw wierzchnich;
- podczas produkcji elementów nowych przez wytwarzanie warstw wierzchnich o określonych właściwościach (ochrona przed korozją, bariery cieplne, itp.).

Stosowanych jest szereg metod natryskiwania cieplnego, które przedstawiają różne możliwości oraz różne efekty prac. Zaznaczyć należy, że trwają nieustanne prace nad tymi procesami w kwestii otrzymywania wysokojakościowych warstw o pożądanym charakterystykach. Można stwierdzić, że zasadniczo obecne prace podążają w następujących kierunkach:

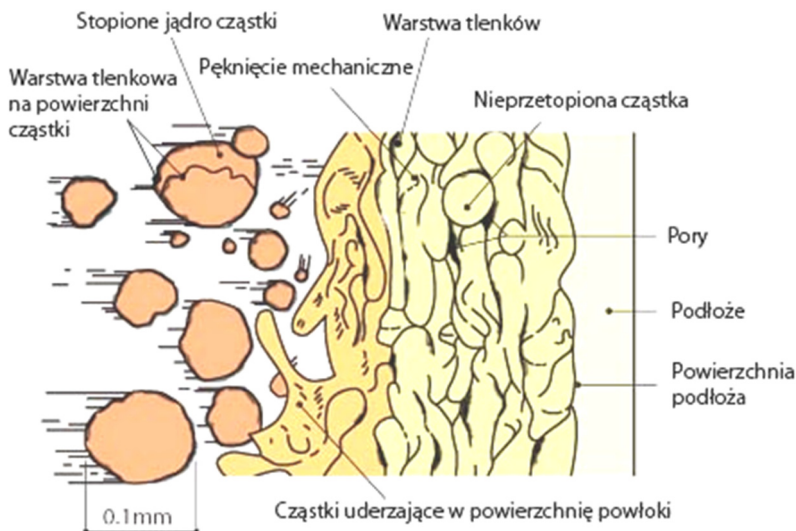
- próby ciągłego zwiększania prędkości cząstek pomiędzy urządzeniem do natrysku cieplnego i podłożem na którym wykonywana jest natryskiwana warstwa;
- próby obniżania temperatury natryskiwanych cząstek bez negatywnego wpływu tego faktu na właściwości warstwy natryskiwanej.

Ciekawą propozycją jest zastosowanie chłodzenia mikrostrumieniowego do procesów natryskiwania cieplnego. Celem tego jest sterowanie strukturą natryskiwanej warstwy, a ta zależy od intensywności chłodzenia. Wprowadzenie jednak do procesu chłodzenia mikrostrumieniowego może skutkować nasileniem się pewnych zagrożeń już istniejących oraz pojawieniem się całkiem nowych zagrożeń, które nie były obecne podczas typowego procesu natryskiwania cieplnego.

2. Natryskiwanie cieplne

Proces natryskiwania cieplnego polega na wytwarzaniu na odpowiednio przygotowanym podłożu powłoki. Powłoki te mogą być wykonywane z mate-

rialów takich jak: metale, cermetale, węgliki, ceramika i kompozyty. W zależności od metody materiał na powłokę może mieć postać drutu lub proszku. Jest on dostarczany do urządzenia do natryskiwania cieplnego, tam następnie ulega uplastycznieniu lub stopieniu [1]. Tak przygotowany materiał jest rozpylany i kolejno przyspieszany do wielkich prędkości a następnie podąża w kierunku przygotowanego podłoża i osadza się na nim na zasadzie adhezji, dyfuzji lub zostaje osadzony mechanicznie (rysunek 1).



Rys. 1. Osadzenie się cząstek materiału na podłożu podczas natryskiwania cieplnego

Fig. 1. Settling of material particle on the during thermal spraying

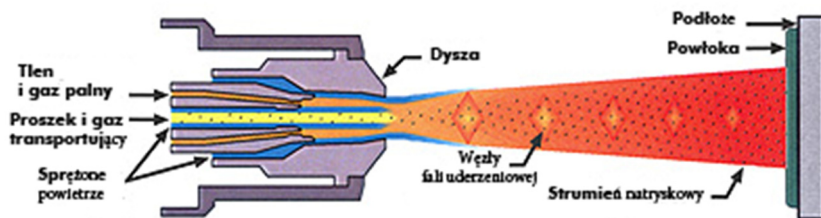
Źródło: <http://www.pnc.pl/natryskiwanie-cieplne/podstany-procesu.html>
[dostęp: 30.09.2017]

Source: <http://www.pnc.pl/natryskiwanie-cieplne/podstany-procesu.html> [access: 30.09.2017]

Powłoki wytwarzane w procesach natryskiwania cieplnego cechują się wieloma zaletami. Do najważniejszych z nich zaliczyć należy:

- uniwersalność procesu pod względem materiału, z którego ma być wykonana powłoka;
- wytwarzanie powłok w zasadzie na dowolnym materiale podłoża;
- brak odkształceń podłoża przy realizacji procesu;
- brak zmian w strukturze podłoża;
- możliwość nakładania powłok o różnych grubościach – istnieje możliwość realizacji procesu kolejnymi etapami, tzn. powłoka wykonywana jest w kilku przejściach;
- możliwość nakładania kolejnych powłok o różnym składzie chemicznym (powłoki wielowarstwowe o różnych właściwościach);
- możliwość regulacji składu chemicznego oraz fazowego wykonywanej powłoki.

Przykładem metody natryskiwania ciepłego stosowanej obecnie jest metoda HVOF (High Velocity Oxy Fuel – rysunek 2). W metodzie tej roztopione lub częściowo roztopione cząstki materialu na warstwę natryskiwaną są na odpowiednio przygotowaną wcześniej powierzchnię za pomocą strumienia gazu o wysokiej temperaturze oraz o dużej prędkości (prędkość naddźwiękowa). Tak wytworzona warstwa jest następnie obrabiana mechanicznie przez szlifowanie.



Rys.2. Natryskiwanie ciepłe metodą HVOF (High Velocity Oxy Fuel
Fig. 2. thermal spraying by means of the HVOF High Velocity Oxy Fuel) method

Źródło: <http://www.bodycote.com/pl-PL/services/surface-technology/hvof-coating.aspx>
[dostęp: 30.09.2017]

Source: <http://www.bodycote.com/pl-PL/services/surface-technology/hvof-coating.aspx>
[access: 30.09.2017]

Natryskiwanie ciepłe metodą HVOF posiada wiele zalet. Do najważniejszych z nich zaliczyć trzeba bezwzględnie:

- koszty niższe w porównaniu do innych metod natryskiwania ciepłego;
- wysoka wydajność procesu;
- możliwość nanoszenia powłok z materiałów mogących pracować w wysokich i niskich temperaturach;
- możliwość nanoszenia powłok z materiałów mogących pracować w wymagających środowiskach chemicznych;
- możliwość nanoszenia powłok z materiałów cechujących się wysoką odpornością na zużycie ścierne.

W procesie HVOF strumień gazu jest wytwarzany przez mieszanie i zapalenie tlenu i paliwa. Paliwo może być paliwem gazowym lub płynnym. Spalenie paliwa w tlenie powoduje wypływ gazu pod wysokim ciśnieniem i z wielką prędkością przez dyszę. Prędkość strumienia gazu, który unosi materiał na powłokę przekracza prędkość dźwięku (330 m/s). Dzięki temu, że cząstki natryskiwanego materialu poruszają się z wielką prędkością, to nagrzewają się znacznie mniej niż ma to miejsce w przypadku innych metod natryskiwania ciepłego. Ponadto, pozwala to na minimalizację utleniania materialu cząstek oraz na minimalizację zmiany ich składu chemicznego. Wielka prędkość skutkuje wielką energią kinetyczną cząstek, co zapewnia uzyskanie powłok o stosunkowo małej porowatości (zwykle do 2%) oraz o wysokiej przyczepności do podłoża.

3. Chłodzenie mikrostrumieniowe

Chłodzenie mikrostrumieniowe jest to proces wymuszonego chłodzenia materiałów przy użyciu pęku mikrostrug medium chłodzącego. Mikrostrugi te wytwarzane są z użyciem przystawki z dyszami mikrostrumieniowym. Chłodzenie mikrostrumieniowe pozwala na uzyskanie wielkich prędkości chłodzenia, tzn. uzyskiwanie wielkich spadków temperatury materiałów poddanych temu chłodzeniu w bardzo krótkim czasie [2÷4].

Chłodzenie mikrostrumieniowe pozwala na sterowanie strukturą chłodzonych materiałów podczas ich krystalizacji oraz przemian fazowych, co z kolei wpływa na uzyskanie określonych ich właściwości mechanicznych. Uzyskiwane parametry mechaniczne są różne od tych uzyskiwanych w przy konwencjonalnym, niewymuszonym chłodzeniu. Zastosowanie chłodzenia mikrostrumieniowego w technice jest szerokie i jest możliwe do wykorzystania wszędzie tam gdzie zachodzi stygnięcie materiałów związane z samym procesem technologicznym (np. spawanie, natryskiwanie cieplne).

Do podstawowych parametrów procesu chłodzenia mikrostrumieniowego, od których zależy intensywność chłodzenia zaliczyć należy:

- rodzaj medium chłodzącego;
- ciśnienie medium chłodzącego;
- wydatek medium chłodzącego;
- średnica dyszy mikrostrumieniowej;
- liczba dysz mikrostrumieniowych;
- odległość dyszy mikrostrumieniowej od chłodzonego materiału;
- kąt padania mikrostrugi medium chłodzącego na chłodzony materiał;
- temperatura materiału przy początku chłodzenia mikrostrumieniowego;
- temperatura materiału przy końcu chłodzenia mikrostrumieniowego.

Zaznaczyć należy, że mnogość parametrów procesu chłodzenia mikrostrumieniowego powoduje pewne trudności z ich doбором w celu uzyskania pożądanego efektów w założonej postaci struktury materiału chłodzonego oraz jego właściwości mechanicznych. Do podstawowych parametrów mających zasadnicze znaczenie co do intensywności procesu chłodzenia mikrostrumieniowego należą: rodzaj medium chłodzącego oraz ciśnienie medium chłodzącego. Zastosowanie medium podawane jest pod odpowiednim ciśnieniem. Zaznaczyć trzeba, że medium chłodzącym może być ciecz lub gaz. Mikrostrugi medium chłodzącego wytwarzane są w przystawce z instalacją mikrojetową.

Należy stwierdzić, że chłodzenie mikrostrumieniowe za pomocą przystawki mikrojetowej można zastosować do natryskiwania cieplnego, jednak przede wszystkim dla procesów zautomatyzowanych. W artykule skupiono się na natryskiwaniu cieplnym metodą HVOF. Zagadnienie to stanowi wartościowy wkład w rozwój prac dotyczących szeroko pojętych procesów natryskiwania cieplnego. Należy jednak stanowczo zaznaczyć, że wprowadzenie jakiegokolwiek nowych rozwiązań pociąga za sobą potrzebę sprawdzenia ich pod względem ewentualnych zagrożeń, ryzyka i ogólnie pojętego wpływu na pracownika.

Idea natryskiwania ciepłego z chłodzeniem mikrostrumieniowym polega na kontrolowanym schłodzeniu nowej warstwy materiału pochodzącego z procesu natryskiwania ciepłego w granicach określonych temperatur. Zapewnia to regulację przebiegu schładzania warstwy natryskiwanej bezpośrednio po procesie natryskiwania. Pozwala to na sterowanie strukturą materiału natryskiwanej warstwy. Można w ten sposób zapewnić korzystne warunki do rozwoju określonej i pożądanej struktury natryskiwanej warstwy. Sterowanie strukturą warstwy natryskiwanej pozwala z kolei na sterowanie właściwościami tej warstwy. Umożliwia to uzyskanie oczekiwanych i żądanych właściwości warstwy natryskiwanej.

Zastosowanie chłodzenia mikrostrumieniowego do procesów natryskiwania ciepłego polega na podaniu medium chłodzącego na powierzchnię warstwy natryskiwanej. Proces chłodzenia mikrostrumieniowego oraz procesem natryskiwania ciepłego zachodzą równocześnie. Następuje szybkie schłodzenie natryskiwanej warstwy bezpośrednio po procesie natryskiwania ciepłego za pomocą pęku mikrostrug medium chłodzącego.

4. Ocena ryzyka zawodowego po zastosowaniu chłodzenia mikrostrumieniowego do natryskiwania ciepłego

Pod względem wymagań dotyczących zagadnień bezpieczeństwa i higieny pracy proces natryskiwania ciepłego opisany jest przede wszystkim w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 14 stycznia 2004 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy czyszczeniu powierzchni, malowaniu natryskowym i natryskiwaniu ciepłym [5]. Dodatkowo w tym akcie prawnym wskazane jest między innymi Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 kwietnia 2000 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach spawalniczych [6].

W celu przeprowadzenia porównania ryzyka zawodowego dla tradycyjnego procesu natryskiwania ciepłego i procesu natryskiwania ciepłego z chłodzeniem mikrostrumieniowym zdecydowano, że porównaniu zostanie poddana metoda natryskiwania ciepłego HVOF.

W tablicy 1 przedstawiono charakterystykę stanowiska pracy. Do szacowania, wartościowania i wyznaczania dopuszczalności ryzyka została wykorzystana metoda Risk Score.

Tabela. 1. Charakterystyka stanowiska pracy operatora procesu natryskiwania ciepłego przy procesie tradycyjnym po wprowadzeniu chłodzenia mikrostrumieniowego

Table 1. Characteristics of the workplace of the thermal spraying process operator during traditional process and after the introduction of micro-jet cooling

Lp.	Stanowisko	Operator procesu natryskiwania ciepłego (z chłodzeniem i bez chłodzenia mikrostrumieniowego)
1.	Granice obiektu	<ul style="list-style-type: none"> • pomieszczenie oddzielone od innych pomieszczeń zakładu pracy w sposób gwarantujący bezpieczeństwo pracy
2.	Opis stanowiska	<ul style="list-style-type: none"> • pomieszczenie przeznaczone do prowadzenia procesu natryskiwania ciepłego, • zapewnione jest oświetlenie naturalne i elektryczne (przystosowane do pracy w strefach zagrożonych wybuchem)

3.	Stosowane maszyny, narzędzia i materiały	<ul style="list-style-type: none"> • stół warsztatowy, urządzenia do natrysku cieplnego, przystawka z dyszami mikrostrumieniowym, • materiał dodatkowy do natryskiwania cieplnego i materiały eksploatacyjne (butle z gazem osłonowym, butla z mikrostrumieniowym medium chłodzącym), • materiał poddawany natryskiwaniu cieplnemu, • obrotniki i manipulatory
4.	Stosowane środki ochrony indywidualnej i zbiorowej	<ul style="list-style-type: none"> • instalacja mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej, • parawan spawalniczy, • helm ochronny z doprowadzeniem czystego powietrza, • inne środki ochrony indywidualnej - stosownie do występującego zagrożenia (np. fartuch skórzany i nagolenniki, ubranie ochronne i rękawice ochronne, obuwie ochronne)
5.	Wykonywane zadania	<ul style="list-style-type: none"> • przeprowadzania procesu natryskiwania cieplnego, • przygotowanie elementów do natryskiwania cieplnego
6.	Osoby pracujące na stanowisku	<ul style="list-style-type: none"> • pracownik pełnoletni o odpowiednim stanie zdrowia

Źródło: opracowanie własne.

Source: own research.

W czasie opracowywania przedmiotowego porównania zidentyfikowano dwadzieścia jeden zagrożeń obecnych na przedmiotowym stanowisku pracy. Na rysunku 3 przedstawiono w sposób zbiorczy wartości wskaźników ryzyka R dla zidentyfikowanych zagrożeń.



Rysunek 3. Wartości wskaźnika ryzyka R dla zagrożeń zidentyfikowanych podczas natryskiwania cieplnego z chłodzeniem mikrostrumieniowym

Fig. 3. The values of the R risk indicator for hazards identified during thermal spraying with micro-jet cooling

Źródło: opracowanie własne.

Source: own research.

Potknięcie się, poślizgnięcie, upadek na tym samym poziomie to zagrożenia wynikające przede wszystkim z organizacji stanowiska pracy, stanem porządku utrzymywanym na tym stanowisku oraz obecnością na nim elementów i materiałów niezbędnych do realizacji procesu natryskiwania cieplnego. Zagrożenia związane z uderzeniem o nieruchome elementy oraz z uderzeniem lub przygnieceniem przez spadające elementy związane są przede wszystkim z obecnością na stanowisku pracy niezbędnego wyposażenia oraz z niezamierzonym upadkiem elementów poddawanych procesowi natryskiwania cieplnego. Realizacja procesu natryskiwania cieplnego związana jest z wykorzystywaniem różnego rodzaju obrotników lub manipulatorów. Ich wykorzystywanie może się wiązać z możliwością uderzenia lub pochwycenia przez elementy będące w ruchu. Zagrożenie związane z odpryskami czynnika materialnego jest związane przede wszystkim z realizacją procesu natryskiwania cieplnego i przenoszeniem natryskiwanego materiału z urządzenia na element poddawany natryskiwaniu cieplnemu. Pamiętać należy o tym, że nie wszystkie cząstki osadzają się na docelowym elemencie. Jeśli chodzi o kontakt z ostrymi i szorstkimi elementami, to należy mieć na uwadze przede wszystkim wyposażenia stanowiska pracy oraz elementy będące przedmiotem prowadzenia procesu natryskiwania cieplnego (mają one zwykle rozwiniętą i chropowatą powierzchnię, co jest wymogiem przeprowadzenia procesu natryskiwania cieplnego). Na przedmiotowym stanowisku pracy jest również obecne zmrożenie związane z wpływem czynnika pod ciśnieniem. Wynika ono przede wszystkim z obecnością mediów pod ciśnieniem (gazy niezbędne do procesu natryskiwania cieplnego o raz medium chłodzące do procesu chłodzenia mikrostrumieniowego). Zagrożenie hałasem wynika głównie z realizacji procesu natryskiwania cieplnego. Dodatkowymi źródłami hałasu są napęd obrotników lub manipulatorów, realizacja mikrostrug medium chłodzącego oraz instalacja wentylacyjna. Drgania mechaniczne (wibracja) wynikają głównie z pracy napędów obrotników lub manipulatorów. W związku z tym, że proces natryskiwania cieplnego wymaga pojawienia się energii cieplnej (w zależności od metody płomień lub luk elektryczny), na przedmiotowym stanowisku pracy obecne jest technologiczne źródło ciepła. Prócz tego również napędy obrotników lub manipulatorów generują ciepło. Nie pozostaje to bez znaczenia dla mikroklimatu panującego na przedmiotowym stanowisku pracy. Operator procesu natryskiwania cieplnego jest również narażony na kontakt z gorącymi elementami. Zagrożenie to wynika głównie z obecności cząstek roztopionego materiału, który jest natryskiwany podczas procesu, ale również z faktu nagrzewania się elementu, na który nanoszona jest nowa warstwa tego materiału. Pracownik narażony jest również na obecność promieniowania optycznego i szerokim spektrum. Wynika ono z realizacji procesu natryskiwania cieplnego. Ważnym jest, aby wyposażyć pracownika w odpowiednie środki ochronne. Fakt zasilania uprzedzeń realizujących proces natryskiwania cieplnego oraz obrotników lub manipulatorów energią elektryczną związany jest z obecnością na przedmiotowym stanowisku pracy pola elektromagnetycznego. Prócz tego nie można zapomnieć o możliwości porażenia prądem elektrycznym. Również

ważnymi zagrożeniami są pożar oraz wybuch. Na przedmiotowym stanowisku pracy istnieją warunki do ich zaistnienia. Realizacja procesu natryskiwania cieplnego powoduje pojawienie się dość dużego zapylenia. Wynika ono głównie z tego, że nie cały materiał kierowany na przedmioty poddawane procesowi natryskiwania cieplnego wiąże się na ich powierzchni. Zagrożenie wynikające z obecności substancji chemicznych na omawianym stanowisku pracy związane jest głównie z obecnością par metali, powstających tlenków, itp. Obciążenie statyczne i dynamiczne organizmu pracownika wynika przede wszystkim z manipulowaniem urządzeniem do natryskiwania cieplnego i elementem będącym przedmiotem procesu. Warto wspomnieć również o postawie pracownika podczas realizacji procesu (głównie postawa stojąca). Ponadto, jako zagrożenie zidentyfikować można obciążenie psychiczne. Wynika ona głównie z poczucia odpowiedzialności za wykonywaną pracę (jakość procesu) oraz odpowiedzialności za zdrowie i życie współpracowników (możliwość spowodowania np. pożaru lub wybuchu).

Dla żadnego ze zidentyfikowanych zagrożeń wskaźnik ryzyka R nie przekroczył wartości 70, co za tym idzie ryzyka dla poszczególnych zagrożeń zostały określone jako dopuszczalne. Należy stanowczo zaznaczyć, że zasadniczo wprowadzenie chłodzenia mikrostrumieniowego do natryskiwania cieplnego nie spowodowało pojawienia się dodatkowych nowych zagrożeń. Ponadto, zagrożenia wcześniej istniejące nie nasiliły się i nie odnotowano dla nich wzrostu wartości wskaźnika ryzyka R.

Dla natryskiwania cieplnego z chłodzeniem mikrostrumieniowym ryzyko dla dziesięciu zagrożeń określono jako bardzo małe (akceptowalne), dla tych zagrożeń wskazana jest kontrola, aby wynikające z nich ryzyko pozostało na tym samym poziomie. Aż dla jedenastu zagrożeń ryzyko określono jako małe. Dla tych właśnie zagrożeń jest potrzebna kontrola.

Zasadniczo po wprowadzeniu chłodzenia mikrostrumieniowego do procesu natryskiwania cieplnego nie zaobserwowano zmian pod względem występujących zagrożeń oraz związanego z nimi ryzyka zawodowego. Zasadniczą różnicą jest fakt wprowadzenia do procesu chłodzenia mikrostrumieniowego. W związku z tym faktem na stanowisku pracy pojawia się dodatkowa instalacja do wytwarzania mikrostrug medium chłodzącego. Należą do niej przede wszystkim butla z medium chłodzącym, przystawka mikrostrumieniowa oraz przewody łączące butlę z przystawką. Obecność tych przewodów może powodować zagrożenie związane z potknięciem przewróceniem się pracownika. Stąd też stosunkowo wysoka wartość wskaźnika ryzyka R.

Wprowadzenie do procesu natryskiwania cieplnego medium chłodzącego pod ciśnieniem powodować może intensywne rozpraszanie w atmosferze stanowiska pracy cząstek stałych, co może powodować powstawanie nadmiernego zapylenia. Pamiętać jednak należy, że zgodnie z obowiązującymi przepisami pracownik musi być wyposażony w hełm ochronny z doprowadzeniem czystego powietrza, co powoduje wydatne obniżenie narażenia pracownika na zagrożenie związane z zapyleniem na stanowisku pracy.

Realizacja mikrostrug medium chłodzącego przez przystawkę mikrostrumieniową związana jest także z pojawianiem się efektu akustycznego. Efekt ten jest jednak marginalny biorąc pod uwagę hałas powodowany przez urządzenie do natryskiwania cieplnego, będące podstawą realizacji przedmiotowego procesu.

5. Podsumowanie

Zastosowanie chłodzenia mikrostrumieniowego do procesu natryskiwania cieplnego stanowi ciekawy sposób uzupełnienia tego procesu. Na drodze regulacji termodynamicznej możliwe jest sterowanie strukturą warstwy natryskiwanej, a to z kolei pozwala na sterownie własnościami tej warstwy. Wprowadzenie chłodzenia mikrostrumieniowego jako uzupełnienie procesu natryskiwania cieplnego umożliwia zatem osiąganie nowych, ciekawych efektów.

Należy jednak stanowczo podkreślić, że każda modyfikacja, nawet ta dotycząca stosowanego już procesu, powinna pociągać za sobą ocenę pod względem jej wpływu na zdrowie i życie pracowników realizujących swoje zadania zawodowe.

Przedmiotem niniejszego opracowania była aktualizacja oceny ryzyka zawodowego operatora procesu natryskiwania cieplnego po wprowadzeniu modyfikacji tego procesu. Przedmiotowa modyfikacja dotyczyła wprowadzenia do procesu natryskiwania cieplnego wymuszonego chłodzenia (chłodzenie mikrostrumieniowe).

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanowiska do realizacji procesu natryskiwania cieplnego z chłodzeniem mikrostrumieniowym sformułowano następujące wnioski:

- wprowadzenie chłodzenia mikrostrumieniowego do procesu natryskiwania cieplnego nie powoduje pojawienia się dodatkowych zagrożeń – zidentyfikowano dwadzieścia jeden zagrożeń;
- zasadniczo wszystkie ze zidentyfikowanych zagrożeń pozostały na tych samych poziomach ryzyka po wprowadzeniu do procesu natryskiwania cieplnego chłodzenia mikrostrumieniowego;
- określono, że dziesięć ze zidentyfikowanych zagrożeń charakteryzuje ryzyko bardzo małe;
- określono, że jedenaście ze zidentyfikowanych zagrożeń charakteryzuje ryzyko małe.

LITERATURA

- [1] Szczucka-Lasota B., Piwnik J.: *New Technological Concept for Thermal Spray Protective Coatings*, Arch. Metall. Mater 62 (2017), 3, 1499-15042017, DOI 10.1515/amm-2017-0232
- [2] Hadryś D., Węgrzyn T., Piwnik J., Wszolek Ł., Węgrzyn D.: *Compressive strength of steel frames after welding with micro-jet cooling*. Archives of Metallurgy and Materials, Volume: 61, Issue: 1, p. 123-126.

- [3] Hadryś D.: *Mechanical properties of plug welds after micro-jet cooling*. Archives of Metallurgy and Materials, Volume: 61, Issue: 4, p. 1771-1775.
- [4] Hadryś D., Węgrzyn T., Piwnik J.: *Plastic properties of fine-grained WMD after micro-jet cooling*. Archives of Metallurgy and Materials, Volume: 59, Issue: 3, p. 919-923.
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 14 stycznia 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy czyszczeniu powierzchni, malowaniu natryskowym i natryskiwaniu cieplnym (Dz.U. 2004 nr 16 poz. 156).
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 kwietnia 2000 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach spawalniczych (Dz. U. 2000 nr 40 poz. 470).