

dr inż. TOMASZ JANKOWSKI (ORCID: 0000-0003-3620-9407)

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: tojan@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0013.1575

Narażenia zawodowe na dymy spawalnicze i wentylacja na stanowiskach spawalniczych

Fot. shanek-08/Bigstockphoto



Spawalnictwo stanowi podstawową technologię łączenia materiałów metalicznych i tworzyw sztucznych. Duże narażenie zawodowe spawaczy wynika z występowania różnorodnych czynników szkodliwych, towarzyszących procesom spawania, w tym emisji mieszaniny drobnodispersyjnych cząstek stałych (pyłu) oraz substancji chemicznych (gazów) do środowiska pracy. Główną rolę w zmniejszaniu stężenia zanieczyszczeń powietrza w strefach, gdzie prowadzone są prace spawalnicze, odgrywa wentylacja mechaniczna.

W artykule przedstawiono charakterystykę dymów spawalniczych, parametry procesowe spawania oraz sposoby rozdziału powietrza poprzez zastosowanie urządzeń i instalacji wentylacyjnych w pomieszczeniach przeznaczonych do spawania.

Słowa kluczowe: wentylacja, spawanie, gazy, pyły, filtracja powietrza

The occupational exposure and ventilation of welding workstations

Welding is a basic technology for joining metallic materials and plastics. The high occupational exposure of welders results from the presence of various harmful factors that accompany welding processes, including the emission of a mixture of fine particulates (dust) and chemical substances (gases) into the working environment. Mechanical ventilation is the main way to reduce the concentration of air pollutants in the areas where welding works are carried. The article presents the characteristics of welding fumes, welding process parameters and methods of air distribution with ventilation devices and installations in rooms with welding workstations.

Keywords: ventilation, welding, dust, gases, air filtration

Wstęp

Problem racjonalnego zaprojektowania instalacji wentylacyjnej występuje przy różnych procesach technologicznych, związanych z wydzielaniem się zanieczyszczeń powietrza. Jednym z ich źródeł jest spawanie. Efektywne działanie wentylacji wymaga wtedy zebrania szczegółowych informacji i określenia podstawowych warunków procesowych spawania.

Procesy spawania związane są z występowaniem wielu czynników, stanowiących potencjalne

źródło zagrożenia dla zdrowia spawaczy i ich otoczenia. Bardzo szkodliwe są m.in. wydzielające się w procesie spawania drobnodispersyjne cząstki stałe (pyłu) oraz substancje chemiczne (gazy). Niezdrowe oddziaływanie dymów spawalniczych na organizm człowieka jest przede wszystkim związane z metodą spawania oraz właściwościami fizykochemicznymi spawanego materiału i otuliny elektrod.

W artykule przedstawiono narażenie zawodowe na dymy spawalnicze oraz zaprezentowano

rozwiązania wentylacji stanowisk podczas procesów spawania.

Narażenia zawodowe na dymy spawalnicze

Dymy to cząstki ciał stałych, zawieszane w gazach (zwłaszcza w powietrzu), powstające w procesach termicznych lub chemicznych. Dymy spawalnicze klasyfikuje się jako szkodliwe dla zdrowia czynniki chemiczne i pyłowe.

Pyły aluminium, antymonu, baru, fluoru, kadmu, chromu, miedzi, manganu, molibdenu, ołowiu, tytanu, wanadu i cynku wykazują działanie drażniące lub uczulające [1]. Tlenek cynku powstający podczas spawania blach ocynkowanych może być przyczyną tzw. gorączki cynkowej. Pyły i dymy niklu, kadmu, berylu i chromu są substancjami o działaniu rakotwórczym [2]. Według danych GUS w 2016 r. w Polsce wskaźnik zatrudnienia w warunkach zagrożenia na pyły rakotwórcze w przemyśle wynosił 0,5 na 1000 zatrudnionych [3].

Długotrwałe narażenie na dymy spawalnicze prowadzi do odkładania się w płucach tlenków metali (głównie żelaza i cyny), a także krzemionki, powodując tzw. pylicę spawaczy elektrycznych [4]. W Polsce określono wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) w odniesieniu do pyłów zawierających krystaliczną krzemionkę oraz poszczególnych gazów spawalniczych [5].

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2012 r. [6], w Polsce za rakotwórcze dla ludzi uważa się niektóre substancje będące składnikami dymów spawalniczych:

- beryl i jego związki
- chrom sześciowartościowy i jego związki (chromiany, dichromiany i tlenek chromu)
- kadm i jego związki nieorganiczne
- nikiel i jego związki (głównie tlenki i siarczki niklu).

ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists) określiła wartość TLV (Threshold Limit Value), wynoszącą 5 mg/m³, w stosunku do dymów spawalniczych emitowanych podczas spawania łukowego i gazowego żelaza, stali i aluminium [7]. Z kolei IARC (International Agency for Research on Cancer) uznała, że istnieją wystarczające dowody na rakotwórczość dymów

Tabela. Podział metod elektrycznego spawania łukowego
Table. A division of electric arc welding methods

Rodzaj metody	Rodzaj elektrody	Rodzaj drutu
TIG wolfram w osłonie gazów obojętnych	nietopliwa z/lub bez spoiwa	–
Spawanie ręczne elektrodą otuloną	topliwa	–
MIG w osłonie gazów obojętnych	topliwa	pełny
MIG w osłonie gazów aktywnych	topliwa	pełny
Drut powlekany w osłonie gazowej	topliwa	powlekany
Drut powlekany bez osłony gazowej	topliwa	powlekany

spawalniczych dla ludzi i zwierząt i zakwalifikowała je jako czynnik rakotwórczy grupy 1. [8].

Procesy spawania

Spawanie jest procesem łączenia metali za pomocą ich miejscowego stapiania. W zależności od czynnika wytwarzającego wysoką temperaturę spawanie możemy podzielić na gazowe, elektryczne i laserowe [9].

Spawanie gazowe polega na stapianiu brzegów metali łączonych przez nagrzewanie płomieniem powstającym ze spalania się gazu palnego w atmosferze dostarczanego tlenu. Jako gaz palny stosowany jest zasadniczo acetylen. Do mieszania gazów palnych z tlenem oraz do kierowania płomieniem używa się palnika gazowego. Acetylen, spalając się w atmosferze tlenu, daje płomień o temperaturze około 310 °C, w którym tworzy odpowiednią do spawania strefę odtleniającą. Miejsce trwałego łączenia metali powstaje ze stopionego w płomieniu pręta oraz brzegów łączonego metalu [10].

Spawaniem elektrycznym nazywamy łączenie metali przy użyciu energii elektrycznej jako źródła ciepła. Pomiedzy przedmiotem spawanym a elektrodą otuloną (metoda MMA) powstaje łuk elektryczny, który stapia metale w miejscu ich łączenia i elektrody. Zadaniem otuliny elektrody jest wytwarzanie gazów osłaniających powstający ciekły metal oraz tworzenie żuźla osłaniającego spoinę podczas stygnięcia przed dostępem tlenu [11]. Spośród technik spawania elektrycznego wyróżniamy spawanie stykowo-punktowe, rolkowe oraz łukowe. Podczas spawania stykowego przy czystych powierzchniach spawanych wyrobów powstaje jedynie ciepło.

Najbardziej rozpowszechnione w przemyśle jest spawanie łukiem krytym. W zależności od materiału, jego grubości, ilości, a także zastosowania, różniamy różne jego metody, co przedstawiono w tabeli [11].

Spawanie łukiem krytym (metoda SAW) polega na stapianiu brzegów łączonych metali w łuku elektrycznym, który jarzy się pod warstwą topnika (proszku) między końcem drutu elektrodowego a materiałem spawanym.

Spawanie ręczne elektrodą otuloną polega na miejscowym stapianiu brzegów łączonych metali za pomocą łuku elektrycznego, który jarzy się między przedmiotem spawanym a elektrodą.

W spawalnictwie istnieją dwie metody spawania w osłonie gazów ochronnych. Metoda TIG polega na spawaniu z użyciem elektrody wolframowej, która jest nietopliwa i wymaga dodawania spoiwa. Z kolei metoda MIG polega na spawaniu elektrodą topliwą, podawaną me-

chanicznie do uchwytu elektrodowego, z którego wychodzi wraz ze strumieniem argonu [12].

Przy spawaniu w osłonie gazów aktywnych (np. CO₂) łuk elektryczny jarzy się między elektrodą topliwą, którą stanowi goły drut a przedmiotem spawanym, otoczonym atmosferą gazu aktywnego, doprowadzanego przez palnik. Natomiast do spawania w atmosferze gazów obojętnych wykorzystuje się ciepło wytwarzane przez łuk elektryczny jarzący się w atmosferze argonu lub helu [13].

Elektryczne spawanie łukowe wykonuje się za pomocą spawarek wirujących, transformatorowych, prostownikowych jedno- i wielostanowiskowych oraz półautomatów i automatów spawalniczych [14].

Techniki spawalnicze podlegają systematycznie procesom mechanizacji i automatyzacji. Stopniowo urządzenia spawalnicze ulegają miniaturyzacji, wzrastają też wytrzymałość i właściwości fizykochemiczne materiałów spawanych [15].

Coraz szersze zastosowanie w przemyśle znajduje spawanie laserowe [16], które charakteryzuje się niewielką strefą oddziaływania cieplnego na materiał. Dzięki temu jest ograniczony obszar materiału, gdzie mogą pojawiać się odkształcenia termiczne oraz zmiany strukturalne. Lasery emitują wiązkę promieniowania, wytwarza się jarzący niebieski obłok plazmy, która tworzy sprzężenie energetyczne pomiędzy wiązką promieniowania a materiałem spawanym. Obłok plazmy można kształtować stosując gaz ochronny, który chroni przed wpływem atmosfery. Do obróbki materiałów tą metodą stosuje się lasery molekularne CO₂ lub lasery na ciele stałym Nd: YAG [17].

Parametry wpływające na poziom emisji dymów spawalniczych

Skład dymów spawalniczych zależy przede wszystkim od metody spawania i rodzaju spawanych materiałów. Składniki powietrza decydują w znacznym stopniu o rodzaju zanieczyszczeń gazowych, natomiast składniki elektrod i materiałów spawanych – o rodzaju pyłów.

Skład dymów spawalniczych, powstających podczas spawania łukowego z elektrodą otuloną (metodą MMA), zależy od składników otuliny elektrod i materiałów spawanych. Z kolei dym spawalniczy, powstający podczas automatycznego i półautomatycznego spawania łukiem krytym (metodą SAW), zawiera składniki wchodzące w skład drutu i topnika. W strefie łuku elektrycznego topnik i metal częściowo odparowują i przedostają się do strefy oddychania spawacza [18, 19].

Spawanie w osłonie gazów metodą MAG/MIG jest źródłem dymów spawalniczych, których emisja zależy głównie od warunków technologicznego procesu, składu chemicznego gazu, parametrów prądowo-napięciowych, doboru materiałów dodatkowych oraz rodzaju i średnicy stosowanych drutów spawalniczych. Kluczowymi parametrami, z punktu widzenia doboru wentylacji do wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza, podczas procesu spawania różnymi metodami, są: skład chemiczny, własności mechaniczne materiałów spawanych oraz otulin elektrod, typ spoiny, pozycja spawania, kierunek spawania, grubość warstwy topnika, natężenie prądu spawania, napięcie łuku, prędkość spawania i prędkość podawania drutu [20].

Należy również uwzględnić zaplanowaną jakość elementu spawanego, stopień zużycia materiałów spawalniczych czy zużywaną energię.

Wentylacja stanowisk spawalniczych – uwagi wstępne

Racjonalna ochrona pracowników przed dymami spawalniczymi wymaga informacji dotyczącej stężenia dymów spawalniczych i ich rozkładu w obszarach, gdzie prowadzone są prace spawalnicze. Głównym zadaniem wentylacji jest wtedy zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powietrza, jako że jest ono miarą poziomu ryzyka w strefie oddychania pracowników. Z uwagi na to, że największe stężenia występują w najbliższym otoczeniu elementów spawanych, najbardziej celowe jest wentylowanie w miejscu powstawania zanieczyszczeń powietrza. Można to osiągnąć dzięki:

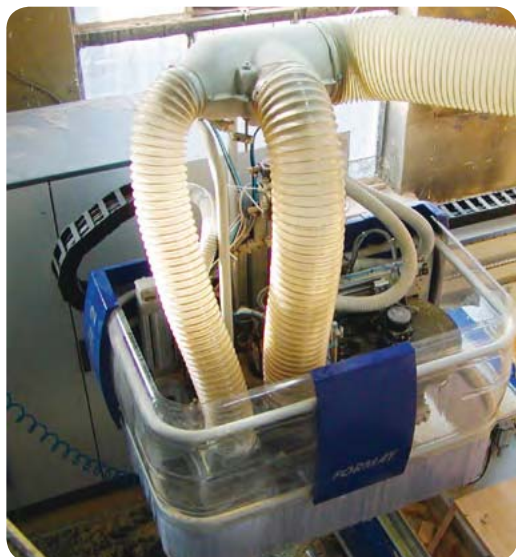
- wentylacji miejscowej wywiewnej celem niedopuszczenia do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza
- wentylacji ogólnej poprzez rozcieńczanie zanieczyszczeń i wymianę powietrza w obiekcie
- dostarczeniu świeżego powietrza do obszarów spawania i osłon osobistych.

Zgodnie z dyrektywami UE oraz prawem polskim stanowiska pracy, na których dochodzi do emisji dymów spawalniczych, muszą być wyposażone w odpowiednie środki ochrony zbiorowej przed zapyleniem.

Najkorzystniejszym i zalecanym rozwiązaniem z punktu widzenia zabezpieczenia przed emisją zanieczyszczeń powietrza do środowiska pracy jest całkowite obudowanie stanowiska spawalniczego (hermetyzacja), [21]. Jeżeli nie jest to możliwe, stosuje się: obudowy częściowe z otworami roboczymi, instalacje wentylacji miejscowej wyposażone w ssawki, okapy (stacjonarne lub przestawne) oraz instalacje ogólnej wentylacji nawiewnej lub wywiewnej.

Obudowy i instalacje powinny być połączone z instalacją odpylającą albo urządzeniem filtracyjnym. W środowisku pracy, w którym emitowane są zanieczyszczenia powietrza, obudowy i instalacje wentylacji miejscowej powinny być wspomagane działaniem wentylacji mechanicznej ogólnej.

Jednym z warunków uzyskania efektywnego funkcjonowania obudowy lub instalacji wentylacji miejscowej w pomieszczeniach pracy jest



Fot. 1., 2., 3., 4.: Tomasz Jankowski

Fot. 1. Przykład hermetyzacji procesu spawania
Photo. 1. An example of process enclosure

podjęcie odpowiednich działań organizacyjnych w fazach: projektowania, eksploatacji oraz modernizacji lub konserwacji poszczególnych elementów obudowy lub instalacji wentylacji miejscowej.

Projektowanie i dobór elementów wyposażenia obudów lub instalacji wentylacji miejscowej powinny być ukierunkowane na:

- rodzaj zastosowanych materiałów konstrukcyjnych, np. pod kątem łatwości czyszczenia, braku reakcji chemicznej z zanieczyszczeniami powietrza pochodzącymi ze źródła ich emisji
- wyeliminowanie lub ograniczenie osadzania się pyłu na powierzchniach wewnętrznych obudowy lub instalacji wentylacji miejscowej
- ustalenie sposobu przyłączenia do stanowiska spawalniczego
- wielkość i rozmieszczenie otworów roboczych i instalacyjnych
- sposób otwierania obudowy i jej otworów roboczych
- lokalizacje miejsc odprowadzania zanieczyszczonego powietrza z obudowy
- zaprojektowanie układów filtracyjnych dostosowanych do wymaganej skuteczności oczyszczania powietrza
- sposób uszczelniania połączeń elementów obudowy, instalacji wentylacji miejscowej i stanowiska spawalniczego
- sposób zabezpieczania przed wydostawaniem się pyłów.

Działania organizacyjne, związane z eksploatacją obudowy lub instalacji wentylacji miejscowej, powinny zapewniać:

- synchronizację czasu włączania i wyłączania w zależności od czasu pracy spawacza
- skuteczność odsysania zanieczyszczeń powietrza zgodnie z wartościami projektowanymi
- użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem (nieotwieranie obudowy, nierozłączanie przewodów instalacji podczas pracy spawacza).

Warunkiem eliminującym lub ograniczającym ryzyko zanieczyszczenia powietrza podczas spawania jest przeprowadzanie okresowych przeglądów i modernizacji obudów lub instalacji wentylacji miejscowej, z uwzględnieniem:

- planowania zadań do wykonania w ramach modernizacji lub konserwacji
- tworzenia wśród pracowników zespołów odpowiedzialnych za sprawne przeprowadzenie zaplanowanych działań
- w przypadku braku przeszkolonego personelu, zatrudnianie przez pracodawcę wyspecjalizowanych firm, zajmujących się modernizacją lub konserwacją obudów/instalacji wentylacji miejscowej
- właściwe oznakowanie obszaru prowadzenia prac modernizacyjnych lub konserwacyjnych
- zatrzymanie lub ograniczenie pozostałych stanowisk pracy w pomieszczeniu, mogących zakłócić przebieg prac
- dobór narzędzi i urządzeń uwzględniający typ, wielkość i kształt obudów/instalacji wentylacji miejscowej.

Obudowy

W celu opracowania skutecznych obudów źródła emisji pyłów, należy już w fazie projektowania zapewnić przestrzeganie założeń technicznych w odniesieniu do wymagań skuteczności ograniczania poziomu ryzyka związanego z zanieczyszczeniami powietrza, emitowanymi podczas procesu spawania. W artykule przedstawiono także odpowiednie założenia techniczne w zależności od rodzaju obudowy lub instalacji wentylacji miejscowej w stosunku do procesu spawania.

Obudowy mogą być różnej wielkości i mogą obejmować całą przestrzeń stanowiska spawalniczego (obudowy całkowite) lub jedynie rejon emisji zanieczyszczeń powietrza (obudowy częściowe).

Obudowy całkowite powinny być projektowane podczas konstruowania stanowiska spawalniczego (fot. 1.). Przy projektowaniu obudowy do istniejącego stanowiska, konieczne jest uwzględnienie ergonomii i parametrów wpływających na poziom emisji dymów spawalniczych.

Wymagania odnoszące się do skuteczności omawianych obudów powinny uwzględniać właściwy dobór następujących parametrów [22]:

- strumień objętości powietrza odprowadzanego z obudowy (wartość strumienia zwiększona o zakres od 20 do 40%, umożliwiającą utrzymanie podciśnienia w stosunku do otoczenia oraz skompensowanie ewentualnych nieszczelności w obudowie)

- wielkość i kształt obudowy (dopasowanie do wielkości i kształtu źródła emisji)
- sposób przyłączenia przewodów wentylacyjnych (szczelność i trwałość połączeń).

Wielkość i kształt otworów wywiewnych w obudowach przyczynia się do kształtowania rozkładu prędkości powietrza, co wpływa na efektywne funkcjonowanie obudowy.

W procesie spawania materiału, aby nie porywać go do przewodów wentylacyjnych obudów, dąży się do odprowadzania przez instalację wentylacji wywiewnej jak najmniejszej ilości pyłu. W tym celu stosuje się:

- prędkości powietrza w otworach przewodów wentylacyjnych, odprowadzających powietrze z obudów, zależne od różnicy temperatur powietrza w obudowie i na zewnątrz,

powierzchni przekroju przewodów i strumienia ciepła wydzielanego wewnątrz obudowy

- zwiększenie odległości pomiędzy źródłem emisji dymów spawalniczych, a otworami przewodów wentylacyjnych odprowadzających powietrze (otwór wywiewny powinien znajdować się w górnej części obudowy)

- specjalne ukształtowanie płaszczyzn poszczególnych elementów obudów (zbyt płytkie obudowy mogą nie zapewnić równomiernego profilu prędkości wypływu powietrza przez otwór wentylacyjny)

- dodatkowe wewnętrzne przegrody, osłony, fartuchy itp.

Duże znaczenie w eliminowaniu lub ograniczaniu zanieczyszczeń powietrza w obszarze działania obudowy ma automatyczne sterowanie włączaniem i wyłączaniem wentylacji. Włączanie powinno być powiązane z uruchomieniem operacji prowadzonych w obudowie. Wyłączanie powinno zwykle następować po upływie pewnego czasu, po zatrzymaniu spawania, tak, aby zanieczyszczenia powietrza zostały usunięte z obudowy przed jej otwarciem.

Obudowy częściowe, wyposażone w otwory robocze, zapewniają spawaczowi swobodny dostęp do spawanych elementów i umożliwiają kontrolowanie procesu spawania, przy jednoczesnym odprowadzaniu zanieczyszczonego powietrza z ich wnętrza.

Zastosowanie lekkich i wytrzymałych materiałów i przewodów wentylacyjnych do konstrukcji obudów częściowych pozwala umieszczać je w rejonie emisji zanieczyszczeń powietrza oraz sprzężać ze źródłem emisji zanieczyszczeń (np. przenośne narzędzia spawające).

Obudowy częściowe mogą być przyłączane do przenośnych instalacji odpylających lub urządzeń filtracyjno-wentylacyjnych, ustawianych w pobliżu stanowisk spawalniczych.

Podstawowe parametry techniczne, charakteryzujące skuteczność obudów częściowych, to:

- strumień objętości powietrza odprowadzanego z obudowy (współpraca obudowy sprzężonej z stanowiskiem spawalniczym)
- wielkość i kształt obudowy dopasowany do charakterystyki obszaru emisji pyłów
- sposób przyłączenia przewodów wentylacyjnych (szczelność i wytrzymałość na przeciążenia połączeń)
- umiejscowienie otworów wychwytyjących zanieczyszczenia powietrza względem obszaru ich emisji na stanowisku spawalniczym.

Instalacje wentylacji miejscowej

Gdy niemożliwe jest całkowite lub częściowe obudowanie źródła emisji dymów spawalniczych, stosuje się instalacje wentylacji miejscowej, połączone z instalacją odpylającą bądź urządzeniem filtracyjno-wentylacyjnym [23]. Zadaniem instalacji wentylacji miejscowej jest wychwytywanie zanieczyszczeń powietrza bezpośrednio przy źródle emisji i zapobieganie ich rozprzestrzenianiu się w pomieszczeniu pracy. Rodzaj zastosowanej instalacji wentylacji miejscowej zależy zarówno od umiejscowienia źródła emisji, jak również od kierunku i prędkości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza. Niedogodnością

związaną z tym rozwiązaniem jest konieczność umieszczenia tych instalacji bezpośrednio w rejonie źródeł emisji dymów spawalniczych ze względu na mały obszar skutecznego działania elementów wychwytyjących zanieczyszczenia powietrza.

Podstawowymi elementami instalacji wentylacji miejscowej są okapy i ssawki.

Okapy (fot. 2.) umożliwiają odprowadzanie głównie zanieczyszczeń powietrza o gęstości mniejszej od gęstości powietrza.

Podstawowe parametry techniczne charakteryzujące skuteczność okapów w procesie eliminowania lub ograniczania ryzyka zagrożenia emisją zanieczyszczeń powietrza w procesach spawania to [24]:

- odległość płaszczyzny wlotowej okapu od powierzchni źródła emisji zanieczyszczeń powietrza (od 1,5 do 2 m)
- wymiary geometryczne okapu (prostokątny, wysokość minimalna 0,4 m, dłuższy bok poniżej 1,5 m i centralnie usytuowany wylot)
- wartość prędkości porywania w zakresie od 0,5 do 1 m/s
- równomierny rozkład prędkości przepływu powietrza w płaszczyźnie wlotowej okapu
- strumień objętości powietrza odprowadzanego z okapu (zależny od rozmiaru okapu i wartości prędkości porywania).

Założenia techniczne dotyczące skuteczności okapów powinny obejmować:

- umieszczenie okapu bezpośrednio nad źródłem emisji (np. miejsce spawu)
- dobór kształtu i wymiarów okapu tak, aby mógł objąć maksymalnie całą strefę powstawania zanieczyszczeń powietrza
- unikanie prowadzenia procesów zakłócających (np. przeciągi, infiltracja, praca innych maszyn itp.)
- w rejonie odprowadzania zanieczyszczeń powietrza od źródła ich emisji do okapu
- uwzględnianie dodatkowej powierzchni okapu w przypadku braku możliwości uniknięcia wpływu zaburzeń poprzecznych przepływu powietrza

• unikanie kontaktu strefy oddychania spawacza z linią odprowadzania dymów spawalniczych ze źródła do okapu.

Ssawki umieszcza się na zewnątrz źródła zanieczyszczeń powietrza (z boku, u góry lub z dołu źródła emisji). Ich działanie polega na wytworzeniu strumieni objętości powietrza, skierowanych do otworu ssącego.

Ssawki, podobnie jak obudowy, powinny być projektowane podczas konstruowania stanowiska spawalniczego. Istotne w kontekście skuteczności działania ssawek jest ich usytuowanie względem źródła emisji zanieczyszczeń powietrza, które może być ruchome. Dlatego w fazie projektowania ssawek należy rozważyć dwa przypadki:

- źródło nieruchome o stałym kierunku wyrzutu – stosuje się wtedy nieruchomy system wychwytywania
- źródło ruchome – wybiera się wtedy system wychwytywania spośród trzech typów:
 - system nieruchomy o dużym strumieniu objętości powietrza odprowadzanego

– system przemieszczający się wraz ze źródłem bez możliwości rozpoznawania kierunku wyrzutu cząstek pyłów

– system ruchomy, ustawiający się odpowiednio do kierunku wyrzutu cząstek pyłów.

Poważną niedogodnością, związaną ze stosowaniem ssawek, jest występowanie zjawiska szybkiego spadku prędkości powietrza wraz ze wzrostem odległości od płaszczyzny otworu wlotowego systemu wychwytywania. Z tego względu o skuteczności ssawki decyduje minimalna wartość prędkości powietrza zasysanego przez nią w określonej odległości od jej powierzchni czołowej.

Wielkość ssawki nie odgrywa zasadniczej roli, natomiast ważne są jej kształt oraz powierzchnia, na którą oddziałuje, ponieważ decydują one o wartości strumienia objętości odprowadzanego powietrza w odniesieniu do oporów przepływu.

Założenia techniczne dotyczące ssawek powinny uwzględniać:

- wykorzystywanie przepływu zanieczyszczeń powietrza poprzez umieszczenie ich na drodze emisji cząstek pyłów spawalniczych
- maksymalne objęcie obszaru emisji pyłów
- dobór ich kształtu i powierzchni czołowej do obszaru źródła emisji
- określenie prędkości porywania cząstek pyłów dopasowanej do prędkości przepływu cząstek pyłów powstających podczas procesu spawania
- określenie wymaganej wartości strumienia objętości powietrza z nich odprowadzanego
- zmniejszenie ich odległości od źródła emisji do zakresu 5 średnic
- redukcję wymaganej wartości strumienia objętości odprowadzanego powietrza poprzez stosowanie ich osłon i kołnierzy
- określenie rozkładu prędkości powietrza w płaszczyźnie wlotowej ssawki
- określenie rozkładu prędkości przepływu powietrza w obszarze między ssawką a płaszczyzną źródła emisji zanieczyszczeń powietrza.

Instalacje wentylacji ogólnej

Instalacje ogólnej wentylacji nawiewnej lub wywiewnej (fot. 3.) powinny być stosowane w przypadku, gdy użycie instalacji miejscowej wentylacji wywiewnej jest niemożliwe lub niewystarczające.

Instalacja nawiewna lub wywiewna stanowi jedno ze skutecznych rozwiązań problemu rozprzestrzeniania się dymów wewnątrz hal spawalniczych [25]. Nawiew oczyszczonego powietrza jest kierowany do strefy pracy, jeżeli w pomieszczeniach wydzielają się znaczne zyski ciepła lub zanieczyszczenia lżejsze od powietrza, bądź do strefy górnej, jeżeli w pomieszczeniach występują małe zyski ciepła, wydzielają się zanieczyszczenia cięższe od powietrza oraz w strefie pracy zastosowano instalację wentylacji miejscowej wywiewnej.

Wywiew powietrza z pomieszczenia może być realizowany z:

- górnej strefy pomieszczenia w przypadku wydzielania się dużych ilości ciepła i zanieczyszczeń lżejszych od powietrza



Fot. 2. Przykład zastosowanie okapu w procesie spawania
Photo. 2. An example of the use of a canopy hood in a process enclosure



Fot. 3. Przykładowe rozwiązanie ogólnej wentylacji nawiewno-wywiewnej w hali spawalniczej
Photo. 3. An example of push-pull ventilation in an industrial hall

• dolnej strefy pomieszczenia w razie wydzielania się zanieczyszczeń cięższych od powietrza oraz przy małym obciążeniu cieplnym pomieszczenia

• dolnej i górnej strefy pomieszczenia w przypadku wydzielania się dużych ilości ciepła i zanieczyszczeń cięższych od powietrza, bądź mieszaniny zanieczyszczeń cięższych i lżejszych od powietrza (w tym przypadku konieczne jest współdziałanie ogólnej wentylacji mechanicznej z miejscową wentylacją wywiewną w strefie wydzielania się cięższych zanieczyszczeń od powietrza).

Założenia techniczne dotyczące skuteczności instalacji ogólnej wentylacji nawiewnej lub wywiewnej, powinny uwzględniać:

- zapewnienie czystego powietrza w strefie pracy spawacza
- wychwytywanie i usuwanie zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu zanim zostaną one rozproszone w strefach pracy spawacza
- obliczenie ilości powietrza wentylacyjnego
- opracowanie racjonalnej koncepcji rozdziału powietrza w pomieszczeniu.

Instalacje odpylające i urządzenia filtracyjne

Odprowadzanie i oczyszczanie zanieczyszczonego powietrza ze źródła emisji lub pomieszczenia podczas procesu spawania może być realizowane z użyciem instalacji odpylających lub urządzeń filtracyjnych (fot. 4.).

Oczyszczanie powietrza przez instalację odpylającą lub urządzenia filtracyjne umożliwia



Fot. 4. Przykładowe instalacje odpylające i urządzenia filtracyjne stosowane w procesach spawania
 Photo. 4. Examples of dust removal installations and filtration devices in a process enclosure

jego ponowne wprowadzenie do pomieszczenia ze stanowiskami spawalniczymi. Pozwala to na umieszczenie ich w bezpośrednim sąsiedztwie emisji zanieczyszczeń powietrza i oszczędności eksploatacyjne, wynikające ze stosowania powietrza recyrkulacyjnego (w szczególności w okresie zimowym). Recyrkulacja powietrza nie powinna być jednak stosowana w pomieszczeniach ze stanowiskami spawalniczymi, w których możliwe jest nagłe zwiększenie stężenia szkodliwych substancji chemicznych, a także w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Parametry techniczne instalacji odpylających lub urządzeń filtracyjnych, mające wpływ na wyeliminowanie lub ograniczenie ryzyka zagrożenia emisją zanieczyszczeń powietrza na stanowiskach spawalniczych to:

- minimalna wartość strumienia objętości powietrza odprowadzanego z obszaru źródła emisji dymów spawalniczych
- wielkość i kształt otworu wlotowego dopasowane do charakterystyki obszaru emisji
- szczelny i trwały sposób przyłączenia przewodów wentylacyjnych
- skuteczność filtracji cząstek pyłów spawalniczych [26].

Założenia techniczne odnośnie do wymagań skuteczności instalacji odpylających lub urządzeń filtracyjnych, powinny uwzględniać m.in. wielostopniowe układy filtracji, okresową wymianę filtrów powietrza na nowe (zamiast regeneracji filtrów, chyba że producent to dopuszcza) oraz czyszczenie i konserwację wewnętrznych i zewnętrznych powierzchni instalacji odpylających lub urządzeń filtracyjnych.

Podsumowanie

Prawidłowe zaprojektowanie działania wentylacji w procesie spawania wymaga ustalenia charakterystyki poszczególnych składników dymów spawalniczych i określenia podstawowych parametrów procesowych spawania. Na podstawie przeglądu rozwiązań wentylacyjnych, stosowanych do ochrony człowieka przed zanieczyszczeniami powietrza, występującymi podczas spawania oraz

przeprowadzonej analizy środowiska pracy spawaczy, wytycznych oraz dokumentów normatywnych, możliwy jest wybór najbardziej skutecznego rozdziału powietrza, kształtowanego przez urządzenia i instalacje wentylacji miejscowej.

Dotychczasowe rozwiązania dotyczące instalacji wentylacji stanowisk spawalniczych, nie są energooszczędne, a także okazują się nie w pełni skuteczne. Jeżeli już zapewniają w miarę efektywne usuwanie dymów spawalniczych, wymaga to zastosowania dużych strumieni powietrza wywiewanego.

Obecnie w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym prowadzone są prace badawcze nad wpływem nawiewu wspomagającego skuteczność odciągania zanieczyszczeń powietrza przez instalacje wentylacji miejscowej wywiewnej w procesach spawania. Ich wyniki będą omówione w kolejnej publikacji.

BIBLIOGRAFIA

[1] ZIMMER, A.T., BISWAS, P. Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes. *Journal of Aerosol Science*. 2001, Vol. 32, Issue 8, pp. 993-1008.

[2] Report on Carcinogens, Twelfth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program, 2011 <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/twelfth/roc12.pdf>.

[3] Warunki pracy w 2016 r. [Work conditions] Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2017.

[4] HEWITT, P.J. Strategies for risk assessment and control in welding: challenges for developing countries. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2001, Vol. 45, Issue 4, pp. 295-298

[5] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2018 poz. 1286.

[6] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2012 r. w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy. Dz.U. 2012 poz. 890 wraz ze zm.

[7] Threshold limit values and biological exposure indices. ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists Cincinnati, OH; American Industrial Hygiene Association 2017.

[8] Welding IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, IARC 2017.

[9] De PAEPE, M., PIETERS, J.G., CORNELIS, W.M., GABRIELS, D., DEMEYER, P. (2012) Airflow measure-

ments in and around scale model cattle barns in a wind tunnel: Effect of ventilation opening height. *Biosystems Engineering*, Volume 113, Issue 1, 22-32.

[10] LIPPOLD, J.C., KOTECKI, D.J. (2005) *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, Wiley – Interscience, J.Wiley & Sons Inc. Publication.

[11] MATUSIAK, J., WYCIŚLIK, A. (2007) Welding of stainless steels and the hazard of health and occupational safety of welders *Hutnik*. *Wiadomości hutnicze*. 9, 538-545.

[12] BERNARD, A. (2008) Cadmium & its adverse effects on human health. *Indian J Med Res* 128. October 2008, pp 557-564.

[13] BLADE, L.M. (2007) Hexavalent Chromium Exposures and Exposure-Control Technologies in American Enterprise: Results of a NIOSH Field Research Study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4: 596-618.

[14] CARPENTER, K.R., MONAGHAN, B.J. & NORRISH, J. (2009) Influence of shielding gas on fume formation rate for GMAW of plain carbon steel. *Trends in Welding Research, Proceedings of the 8th International Conference*. pp. 436-442.

[15] Committee on Beryllium Alloy Exposures. (2007) *Health Effects of Beryllium Exposure: A Literature Review*, Committee on Toxicology, National Academies of Science, ISBN: 0-309-11168-4, 108 pages.

[16] D'ERRICO, A., PASIAN, S., BARATTI, A., ZANELLI, R., ALFONZO, S., GILARDI, L., BEATRICE, F., BENA, A. & COSTA, G. (2009) A case-control study on occupational risk factors for sino-nasal cancer/*Occup Environ Med*. Jul; 66 (7): 448-55.

[17] Fachausschuss (2008) Chromium (VI) compounds or nickel oxides in welding and allied processes. pp. 1-3.

[18] KIM, J.Y., CHEN, J.C., BOYCE, P.D., CHRISTIANI, D.C. Exposure to welding fumes is associated with acute systemic inflammatory responses. *Occup. Environ. Med*. 2005, Mar; 62 (3): 157-63.

[19] LEONARD, S.S., CHEN, B.T., STONE, S.G., SCHWEGLER-BERRY, D., KENYON, A.J., FRAZER, D. & ANTONINI, J.M. Comparison of stainless and mild steel welding fumes in generation of reactive oxygen species. *Particle Fibre and Technology* 2010, Nov.3, pp. 7-32.

[20] FANG, S.C., EISEN, E.A., CAVALLARI, J.M., MITTLEMAN, M.A. & CHRISTIANI, D.C. Circulating adhesion molecules after short-term exposure to particulate matter among welders. *Occup Environ Med*. 2010, Jan; 67 (1): 11-6.

[21] BELL, G. Optimizing ventilation rates: process and strategies. *J. of Chemical Health and Safety* 2009, 16, Issue 5, pp. 14-19.

[22] HANNU, T., PIIPARI, R., TUUPURAINEN, M., NORDMAN, H. & TUOMI, T. Occupational Asthma Due to Manual Metal-Arc Welding of Special Stainless Steels. *European Respiratory Journal* 2007, Vol.29, pp. 85-90.

[23] WILK, M., WILK, P. Nie tylko spawanie – analiza zagrożeń na stanowisku spawacza metodą MAG (135) w oparciu o konkretne przykłady. [Not just welding – analysis of hazards of workplaces of welder who use the MAG method] *Bezpieczeństwo. Praca. Promotor BHP* 2016, 6:17-26.

[24] SOWARDS, J.W., LIPPOLD, J.C., DICKINSON, D.W. & RAMIRE, A.J. Characterization of Welding Fume from SMAW Electrodes – Part I. *Welding Journal* 2008, Vol. 87, pp.106s-112s.

[25] SOWARDS, J.W., RAMIREZ, A.J., DICKINSON, D.W. & LIPPOLD, J.C. Characterization of Welding Fume from SMAW Electrodes – Part II. *Welding Journal* 2010, Vol. 89, pp. 82s-90s.

[26] MATUSIAK, J., GLIŃSKI, M. Sposoby eliminowania emisji zanieczyszczeń do środowiska pracy przy spawaniu i procesach pokrewnych. [Means to eliminate the emission of pollution at welders' and akin workplaces] *Buletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach* 2009, 53, 3:43-52.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.