

**Zagrożenia w środowisku pracy przy spawaniu  
i lutowaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi**

**Zalecenia do profilaktyki zagrożeń zdrowia pracowników  
z uwzględnieniem modyfikacji warunków  
materiałowo-technologicznych przy spawaniu  
i lutowaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi  
stali odpornych na korozję i blach stalowych z powłokami**

**Dr inż. Jolanta Matusiak**

**Mgr inż. Joanna Wyciślik**

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

**Wydawnictwo Instytut Spawalnictwa  
Gliwice 2011**

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

**Publikacja wydana po uwzględnieniu uwag Komisji Odbiorowej.**

**ISBN 978-83-61272-76-2**

---

Wydawca: INSTYTUT SPAWALNICTWA, 44-100 Gliwice, ul. Bł. Czesława 16-18  
tel.: (32)231-00-11, fax: (32)231-46-52  
e-mail: [is@is.gliwice.pl](mailto:is@is.gliwice.pl), [www.is.gliwice.pl](http://www.is.gliwice.pl)

Skład DTP: INSTYTUT SPAWALNICTWA

Druk: Usługi Komputerowe i Poligraficzne, 44-100 Gliwice, ul. Pszczyńska 44

Nakład: 200

## Spis treści

1. WSTĘP.....	5
2. ZAGROŻENIA PYŁOWE, CHEMICZNE I FIZYCZNE W ŚRODOWISKU PRACY PRZY PROCESACH SPAWANIA.....	7
3. INNOWACYJNE METODY SPAJANIA RÓŻNYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH – SPAWANIE I LUTOSPAWANIE ŁUKOWE METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI.....	16
4. WPŁYW WARUNKÓW MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNYCH SPAWANIA I LUTOSPAWANIA ŁUKOWEGO METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI NA WIELKOŚĆ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU PRACY .....	22
5. WPŁYW WARUNKÓW MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNYCH SPAWANIA I LUTOSPAWANIA ŁUKOWEGO METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI NA POZIOM NATĘŻENIA DŹWIĘKU.....	27
6. WPŁYW WARUNKÓW TECHNOLOGICZNYCH SPAWANIA I LUTOSPAWANIA METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI NA NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA NADFIOLETOWEGO, ŚWIATŁA NIEBIESKIE I PROMIENIOWANIA TERMICZNEGO .....	29
7. ZALECENIA TECHNICZNE (MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNE) DO PROFILAKTYKI ZAGROŻEŃ PYŁOWYCH, CHEMICZNYCH I FIZYCZNYCH PRZY SPAWANIU I LUTOSPAWANIU METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI STALI ODPORNYCH NA KOROZJĘ I BLACH STALOWYCH POWLEKANYCH.....	31
Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych przy spawaniu stali odpornych na korozję .....	32
Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych przy lutowaniu stali z powłokami ochronnymi .....	35
Zalecenia do profilaktyki zagrożeń fizycznych przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutowaniu stali z powłokami ochronnymi .....	37
Zalecenia do profilaktyki zagrożeń fizycznych przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutowaniu stali z powłokami ochronnymi .....	39
8. NORMY I ROZPORZĄDZENIA.....	41
9. LITERATURA.....	45



## 1. WSTĘP

Wprowadzanie do praktyki przemysłowej innowacyjnych technologii spawalniczych związane jest z potrzebą badania i określenia warunków bezpieczeństwa pracy i ochrony zdrowia pracowników. Spawalnicze procesy łączenia metali, przebiegające w warunkach wysokich temperatur i przy niedostatecznych możliwościach kontrolowania procesów metalurgicznych i zjawisk fizyko-chemicznych należą do grupy procesów wytwórczych oddziaływujących zdecydowanie niekorzystnie na środowisko pracy. Spawanie wraz z technikami pokrewnymi jest obecnie najbardziej rozwiniętą i ugruntowaną technologią łączenia przy wytwarzaniu konstrukcji oraz wyrobów z różnych materiałów w wielu dziedzinach przemysłu. Procesy te są wykorzystywane w tysiącach przedsiębiorstwach różnej wielkości, zatrudniających od kilku do kilkuset spawaczy. Podczas różnych metod spajania (spawanie, lutowanie, zgrzewanie) wydzielane są do środowiska pracy zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, które zawierają liczne substancje niebezpieczne dla zdrowia pracowników. Procesom spawalniczym towarzyszą również zagrożenia o charakterze fizycznym, do których należy zaliczyć m.in. nadmierny hałas i niebezpieczne promieniowanie optyczne.

Szczególne zagrożenie zdrowia spawaczy towarzyszy procesom spawania stali nierdzewnych. W stalach nierdzewnych wszystkich grup podstawowym składnikiem stopowym jest chrom, decydujący o odporności na korozję. Większość z tych stali zawiera również nikiel. Związki tych pierwiastków występujące w pyłach spawalniczych zaliczane są do substancji o udowodnionym lub prawdopodobnym działaniu rakotwórczym.

W ostatnim czasie w różnych gałęziach nowoczesnego przemysłu wytwarzającego wyroby spawane i lutowane powszechne zastosowanie mają materiały stalowe z powłokami ochronnymi. Powłoki ochronne o działaniu antykorozyjnym nanoszone są w postaci bardzo cienkich warstw i zawierają w swoim składzie metale oraz substancje organiczne. W przemyśle motoryzacyjnym stosowane są blachy z powłokami cynkowymi i powłokami ze stopów cynku i innych metali. Materiały te najczęściej są spawane, lutowane i zgrzewane. Podczas procesów łączenia do środowiska pracy emitowane są pyły o wysokiej zawartości związków cynku.

W publikacji przedstawiono wyniki badań prowadzonych w Instytucie Spawalnictwa w ramach projektu pt. „Ocena zagrożeń w środowisku pracy przy spawaniu i lutowaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi stali odpornych na korozję i blach stalowych powlekanych. Opracowanie zaleceń do profilaktyki zagrożeń z uwzględnieniem modyfikacji warunków technologicznych”. Projekt realizowano w II etapie programu wieloletniego

„Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynatorem programu jest Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Na podstawie badań opracowano zalecenia techniczne (materiałowo-technologiczne) do profilaktyki zagrożeń pyłowych, chemicznych i fizycznych przy spawaniu i lutowaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi stali odpornych na korozję i blach stalowych powlekanych. W zaleceniach uwzględniono analizę wszystkich wyników badań i sformułowane wnioski szczegółowe odnoszące się do poszczególnych metod spawania i lutowania, badanych zaawansowanych materiałów konstrukcyjnych (stale odporne na korozję, stale z powłokami antykorozyjnymi) i spawalniczych materiałów dodatkowych oraz badanych zagrożeń chemicznych, pyłowych i fizycznych.

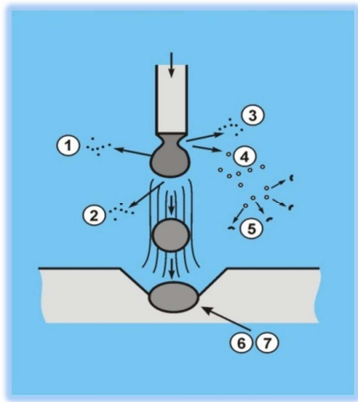
## **2. ZAGROŻENIA PYŁOWE, CHEMICZNE I FIZYCZNE W ŚRODOWISKU PRACY PRZY PROCESACH SPAWANIA**

### **Charakterystyka zagrożeń pyłowych i chemicznych przy procesach spawania**

Procesy spawania metali związane są z powstawaniem substancji niebezpiecznych, tzn. substancji stwarzających zagrożenie dla zdrowia człowieka, zaklasyfikowanych co najmniej do jednej z następujących kategorii: bardzo toksyczne, toksyczne, szkodliwe, drażniące, uczulające, rakotwórcze, mutagenne. Substancje chemiczne występujące w powietrzu przy procesach spawania są układem wielofazowym – aerozolem, a ich wchłanianie do organizmu w dużym stopniu uzależnione jest od postaci, w jakiej dana substancja występuje. Podczas procesu spawania z materiału podstawowego, materiału dodatkowego, powłok ochronnych materiału podstawowego, gazów osłonowych i otaczającego powietrza, pod wpływem wysokiej temperatur i promieniowania łuku spawalniczego powstaje dym spawalniczy [1-12]. Dym spawalniczy (aerozol dwufazowy kondensacyjny) jest mieszaniną drobno dyspersyjnych cząstek stałych (pyłu spawalniczego) oraz różnych gazów stanowiących fazę rozpraszającą. Pył spawalniczy powstający w wyniku działania plazmy łuku na materiał podstawowy i dodatkowy [13] składa się z prostych i złożonych tlenków, krzemianów, fluorokrzemianów, fluorków, chromianów, dichromianów oraz węglanów metali [5]. W łuku zachodzi proces topienia materiałów, ich częściowego odparowania i utleniania par metalu. W atmosferze o niższej temperaturze następuje proces kondensacji i wytworzenie cząstek stałych o różnych wymiarach.

Mechanizm powstawania pyłu spawalniczego przedstawiono na rys.1, zasadnicze znaczenie dla tworzenia się pyłu mają następujące procesy zachodzące w obszarze słupa łuku [1-12]:

- ◆ parowanie ciekłego metalu w strefie przyelektrodowej,
- ◆ parowanie ciekłego metalu z obszaru płamki elektrodowej (katodowej lub anodowej),
- ◆ wybuchowe parowanie metalu w obszarze odrywania się kropli metalu (przewężenie podczas oddzielania się kropli – szyjka),
- ◆ powstawanie bardzo drobnych, „rozpylonych” cząstek ciekłego metalu wyrzucanych przez eksplozję kropli,
- ◆ powstawanie rozprysku,
- ◆ parowanie ciekłego metalu z jeziora spawalniczego i ze ściegu spoiny.



Rys.1. Mechanizmy tworzenia się pyłu spawalniczego w obszarze słupa łuku [2,7-12]

1. Parowanie końca elektrody lub kropli
2. Parowanie plamki katodowej lub anodowej
3. Wybuchowe parowanie przewężenia podczas oddzielania kropli
4. Ekstremalnie małe krople metalu
5. Powstawanie rozprysku
- 6.7. Parowanie jeziora spawalniczego i metalu spoiny

Średnia wielkość średnicy aerodynamicznej cząstki pyłu spawalniczego wynosi od 0,01 do 1  $\mu\text{m}$  [5, 6, 12]. Pył o wymiarze cząstek poniżej 1  $\mu\text{m}$  nazywany jest pyłem respirabilnym i podlega głównie ruchom Browna, tj. nieregularnym ruchom po liniach zygzakowatych. Cząstki frakcji respirabilnej (pęcherzykowej) pyłu przenikają do dróg oddechowych niepokrytych nabłonkiem migawkowym [5]. Cząstki pyłu spawalniczego mają kształt kulisty i występują w postaci bardzo drobnych cząstek pojedynczych oraz w postaci łańcuchów i aglomeratów. W skład dymu spawalniczego wchodzi również frakcje pyłu droбноziarnistego o cząstkach, których wymiary przekraczają 1 $\mu\text{m}$ , jest to pył opadający. Cząstki pyłu osiadają pod wpływem swojego ciężaru, ale mogą przez pewien czas pozostawać w zawieszeniu (podlegają głównie siłom grawitacji i bezwładności). Dym spawalniczy jest określany jako aerozol kondensacyjny wysokodispersyjny (cząstki pyłu o średnicach mniejszych od 0,1  $\mu\text{m}$ ) i średniodispersyjny (cząstki pyłu o średnicach od 0,1  $\mu\text{m}$  do 1  $\mu\text{m}$ ).

Skład chemiczny pyłu spawalniczego jest uzależniony od rodzaju łączonych materiałów, metody i parametrów technologicznych spawania. Przy spawaniu elektrodami otulonymi oraz drutami proszkowymi pył ma bardziej złożony skład chemiczny i jest bardziej skomplikowany pod względem struktury, niż pył wydzielający się podczas spawania łukowego drutem litym w osłonie gazowej. Podstawowymi składnikami pyłu powstającego przy spawaniu stali niestopowych drutami litymi jest żelazo, mangan i ditlenek krzemu [5, 16], natomiast przy spawaniu stali wysokostopowych pył zawiera również związki chromu, niklu, molibdenu i niobu [5, 7-18]. Przy spawaniu stali elektrodami otulonymi i drutami proszkowymi dodatkowo wydzielane są również związki sodu, potasu, wapnia i magnezu [19-21]. Źródłem tych pierwiastków jest otulina elektrod oraz proszek topnikowy, w skład których wchodzi różne surowce mineralne (np. krzemiany, węglany, fluorki proste i złożone, tlenki metali, szkło sodowe lub potasowe) oraz składniki organiczne.

Osobną grupę materiałów dodatkowych, emitujących szkodliwe zanieczyszczenia pyłowe i gazowe stanowią spoiwa do spawania metali

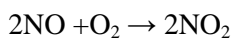
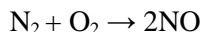


nieżelaznych, tj. miedzi, aluminium i ich stopów. Spawanie aluminium i jego stopów związane jest z wydzielaniem się pyłu zawierającego glin, cynk, krzem, magnez i mangan, zanieczyszczenia gazowe tworzą głównie tlenki azotu i ozon. Przy spawaniu miedzi i jej stopów składnikami pyłu spawalniczego są głównie miedź, cyna, cynk, a także mangan, ditlenek krzemu i fluorki [6,14,21]. Źródłem emisji do środowiska pracy par cynku jest obecnie produkcja nowoczesnych urządzeń przemysłowych i wyrobów powszechnego użytku w której stosuje się blachy z powłokami metalicznymi: Zn, AlSi, ZnAl5, ZnNi(Cr), ZnAlMg, oraz ze specjalnymi powłokami lakierowanymi i kombinacje powłok cynkowych i lakierowanych.

**Głównymi źródłami emisji gazów przy spawaniu są [7-12]:**

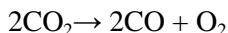
- ◆ proces rozkładu otuliny elektrod, topników,
- ◆ reakcje termiczne w atmosferze otaczającej łuk,
- ◆ reakcje fotochemiczne w atmosferze otaczającej łuk (promieniowanie UV),
- ◆ gaz ochronny stosowany do osłony łuku.

Zanieczyszczenia gazowe tworzone są głównie przez tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), tlenek węgla (CO), ditlenek węgla (CO<sub>2</sub>) oraz ozon (O<sub>3</sub>). Tlenki azotu w procesach spawania i cięcia metali powstają w wyniku działania wysokiej temperatury łuku na tlen i azot zawarte w powietrzu atmosferycznym.

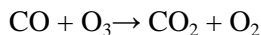


Najtrwalszymi związkami są tlenek i ditlenek azotu. W toksycznym działaniu mieszaniny NO<sub>x</sub> wiodącą rolę odgrywa NO<sub>2</sub>.

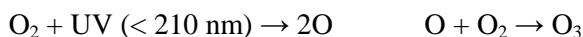
Głównym źródłem tlenku węgla przy procesach spawalniczych jest spawanie łukowe w osłonie gazowej, której składnikiem jest ditlenek węgla. W wyniku dysocjacji termicznej CO<sub>2</sub> do środowiska pracy wydzielany jest tlenek węgla.



Tlenek węgla powstaje również przy spawaniu elektrodami otulonymi w wyniku rozpadu termicznego węglanów wchodzących w skład otuliny. Tlenek węgla poza obszarem wysokiej temperatury wokół łuku spawalniczego reaguje z ozonem i powstaje ditlenek węgla.



Wskutek reakcji fotochemicznych tworzy się przy procesach spawalniczych ozon [22-23]. W wyniku działania promieniowania ultrafioletowego na tlen zawarty w powietrzu następuje rozszczepienie cząsteczki tlenu na dwa atomy charakteryzujące się dużą aktywnością i siłą utleniającą.



Tlen atomowy wykazuje silną tendencję do wiązania z cząsteczką tlenu, w wyniku czego tworzy się trójatomowa cząsteczka ozonu. Ozon jest związkiem nietrwałym, ulega bardzo szybkiemu rozpadowi.

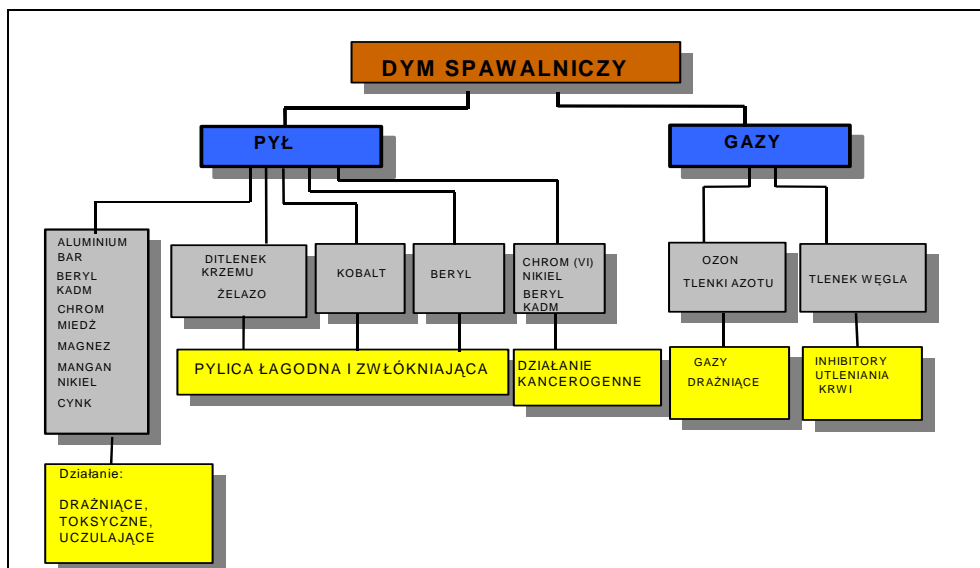
Podczas spawania materiałów pokrytych powłokami ochronnymi takimi jak: farby, lakiery, tworzywa sztuczne i powłoki antykorozyjne, powstają w wyniku rozkładu termicznego związki organiczne, np. alkohole alifatyczne, formaldehyd, fenol, ketony alifatyczne [5].

### **Wpływ pyłu spawalniczego i gazów wydzielających się przy procesach spawalniczych na organizm człowieka**

Efektom długotrwałego narażenia spawaczy na dymy spawalnicze są różnego rodzaju schorzenia układu oddechowego [5-14]. Pył do organizmu przedostaje się głównie przez drogi oddechowe. Tą drogą do ustroju mogą dostać się tylko cząsteczki bardzo małe, które stanowią największe zagrożenie dla człowieka. Szacuje się, że ilość odkładanego pyłu respirabilnego w płucach spawaczy z ciągłą ekspozycją może przekroczyć 70 mg żelaza na rok [5]. Drobne cząsteczki pyłu, posiadając dużą powierzchnię właściwą, mogą absorbować na niej znaczne ilości substancji gazowych, które po wprowadzeniu do organizmu, uwolnieniu i wchłonięciu wywołują dodatkowe działanie toksyczne. Wspólną cechą wszystkich pyłów przemysłowych jest działanie drażniące błony śluzowe górnych dróg oddechowych np. tlenki żelaza. Długotrwałe działanie drażniące powoduje trwałe zmiany w górnych drogach oddechowych, umożliwiając tym samym przedostanie się pyłów do pęcherzyków płucnych. Szybkość rozwoju tego procesu jest tym większa, im większe jest stężenie pyłu na stanowisku pracy. Procesy toczące się w płucach pod wpływem pyłu są uzależnione od rodzaju, agresywności i stężenia pyłu, indywidualnej wrażliwości organizmu i czasu oddziaływania, dając w efekcie różne zmiany chorobowe w płucach. Pylica płuc u spawaczy może rozwinąć się już po kilku latach pracy i występuje znacznie częściej u tych spawaczy, którzy pracują w pomieszczeniach ciasnych lub źle wentylowanych, niż u spawaczy pracujących w otwartej przestrzeni [26-29]. Wśród spawaczy wzrasta również zachorowalność na astmę oraz bronchit.

Oprócz dolegliwości oskrzelowo-płucnych, które w znacznym stopniu są przyczyną chorób zawodowych spawaczy, mogą wystąpić równocześnie inne schorzenia np. choroby układu nerwowego, pokarmowego i układu krążenia [5,6,7-12,32]. W rozwoju tych chorób istotną rolę odgrywa podwyższony stopień ogólnego nasycenia organizmu związkami toksycznymi. W składzie pyłu spawalniczego mogą znajdować się również związki o udowodnionym działaniu toksycznym, wywołujące procesy zwłóknienia tkanek, działające alergizująco i rakotwórczo. Działaniem toksycznym na narządy i/lub tkanki charakteryzuje się mangan (układ nerwowy), ołów (układ krwiotwórczy) i kadm (nerki).

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC - International Agency for Research on Cancer) uznała, że dymy spawalnicze należą do grupy zanieczyszczeń prawdopodobnie kancerogennych. Udowodnione działanie kancerogenne mają takie składniki dymów spawalniczych, jak: nikiel, chrom(VI), beryl i kadm [7,10-12,27]. Obecny w pyłe spawalniczym ditlenek krzemu zwiększa predyspozycje płuc do gruźlicy i szeregu chorób o charakterze infekcyjnym. Zdolności zwłóknienia tkanki płucnej przypisuje się związkom chromu i niklu występującym w pyłe przy spawaniu stali wysokostopowych [5]. Wdychanie par miedzi, cynku, magnezu, niklu może powodować u spawaczy schorzenie znane pod nazwą gorączki metali [5].



Rys. 2. Podział pyłu spawalniczego i gazów pod względem oddziaływania na organizm człowieka [7-12]

### Związki chromu w pyłe spawalniczym

Chrom może występować na różnym stopniu utlenienia od +1 do +6, ale jedynie w stanach 0 (elementarnym) oraz +2, +3 i +6 jest rozpowszechniony. Dwuwartościowy chrom jest nietrwały w większości związków, łatwo utlenia się w powietrzu do trójwartościowego. Dla zdrowia człowieka ważne są połączenia chromu na trzecim i szóstym stopniu utlenienia [7-12,18,32]. Warto zauważyć, iż chrom w powyższych dwu stanach utlenienia ma bardzo różne właściwości i działanie biologiczne na organizmy żywe, włączając w to człowieka. Oddziaływanie chromu na organizm człowieka uzależnione jest od stopnia utlenienia i rozpuszczalności, przy czym rakotwórcze działanie wykazują przede wszystkim związki chromu sześciowartościowego.

Związki chromu (VI) mogą stanowić grupę związków chemicznych:

- ◆ rozpuszczalnych, są to chromiany sodu i potasu,
- ◆ nierozpuszczalnych, do której zalicza się chromiany cynku, litu, wapnia i baru.

Chromiany rozpuszczalne powodują przy narażeniu zawodowym zmiany w nerkach i choroby układu oddechowego, natomiast chromiany nierozpuszczalne uważane są za bardziej niebezpieczne, dają bowiem dla organizmu człowieka efekt kancerogeny. Chrom(III) uważany jest za nietoksyczny i nie wpływa na zdrowie pracowników.

Komisja VIII Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa - Health and Safety (ang. Zdrowie i Bezpieczeństwo), zajmująca się od wielu lat aspektami zdrowotnymi technologii spawalniczych i zagadnieniami ochrony zdrowia, opublikowała raport podsumowujący zagadnienie występowania przy procesach spawalniczych chromu i niklu oraz ich wpływu na zdrowie pracowników. Raport ten był podsumowaniem pracy międzynarodowej grupy ekspertów analizujących wyniki badań epidemiologicznych, toksykologicznych i chemicznych [33]. Do procesów spawalniczych charakteryzujących się najwyższymi stężeniami w pyłe chromu(VI) należą procesy spawania stali nierdzewnych elektrodami otulonymi, drutami proskowymi oraz drutami litymi w osłonie gazów (MIG/MAG, TIG) [33-37]. W pyłe powstającym przy tych procesach występują głównie chromiany sodu ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ), chromiany potasu ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) oraz chromiany wapnia ( $\text{CaCrO}_4$ ) oraz tlenki chromu. Występowanie wysokich stężeń chromu (VI) przypisano również procesom cięcia plazmowego i laserowego stali wysokostopowych.

### **Związki niklu w pyłe spawalniczym**

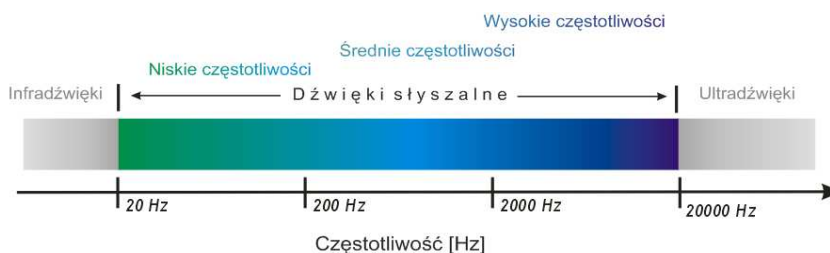
Nikiel jest pierwiastkiem metalicznym tworzącym wiele, zarówno prostych, jak i kompleksowych związków chemicznych. Jest odporny na działanie ługów, rozpuszcza się w rozcieńczonych kwasach utleniających. Nikiel ma wartościowość zmienną, może występować na różnych stopniach utlenienia, od +2 do +4, istotne znaczenie mają związki na +2 stopniu utlenienia. Zagrożenia zdrowia u spawaczy związane z narażeniem na nikiel w środowisku pracy wynikają głównie z wdychania pyłu, dymów i aerozoli niklu metalicznego lub różnych jego związków. Szkodliwe skutki ekspozycji spawaczy na nikiel i jego związki związane są z ich działaniem na układ oddechowy, działaniem alergizującym oraz podwyższonym ryzykiem występowania chorób nowotworowych, głównie nosa i płuc [38]. W warunkach przewlekłego narażenia inhalacyjnego pracowników wykonujących prace spawalnicze pyły i dymy niklowe powodują powstawanie zmian płucnych (ograniczenie funkcji układu oddechowego, zwłóknienia) oraz astmę. Eksperci Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC) uznali, że związki niklu są rakotwórcze dla ludzi.

## Charakterystyka zagrożeń fizycznych przy procesach spawania

- ***Hałas przy procesach spawalniczych jako czynnik zagrażający zdrowiu i bezpieczeństwu pracy***

Hałas należy do najczęściej występujących zagrożeń fizycznych na stanowiskach pracy. Powoduje on znaczne niebezpieczeństwo dla zdrowia pracowników. Obecnie również procesy spawalnicze zaliczane są do poważnych źródeł hałasu w środowisku pracy. Szczególnie niebezpieczne okazują się procesy cięcia termicznego, gdzie poziom natężenia hałasu przekracza obowiązujące normatywy bezpieczeństwa, a niejednokrotnie sięga wartości 110 dB zbliżając się nawet do progu bólu odczuwanego przez człowieka.

Hałasem przyjęto określać wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe, uciążliwe lub szkodliwe drgania ośrodka sprężystego, oddziałujące za pośrednictwem powietrza na narząd słuchu i inne zmysły oraz elementy organizmu człowieka [47]. Narząd słuchu człowieka jest przystosowany do odbioru fal akustycznych o poziomie ciśnienia od  $20 \times 10^{-6}$  Pa do 10 Pa i częstotliwości z zakresu od 20 Hz do 18 kHz. Dźwięki o częstotliwości poniżej 20 Hz nazywane są infradźwiękami, natomiast powyżej 18 kHz ultradźwiękami. Infra- i ultradźwięki są dla człowieka niesłyszalne.



Rys. 3. Częstotliwości dźwięków [47]

Obecnie stosuje się różne klasyfikacje hałasu w środowisku uwzględniając oprócz częstotliwości dźwięku także: przebieg czasowy hałasu, środowisko występowania, źródła powstania oraz oddziaływanie na organizm człowieka.

### ***Wpływ hałasu na organizm człowieka***

Skutki hałasu na organizm człowieka dzielą się na bezpośrednie (działanie na ucho środkowe i wewnętrzne powodujące upośledzenie słuchu bądź głuchotę) i pośrednie (działanie na układ nerwowy, krążeniowy, pokarmowy i ruchowy powodujące nadciśnienie, przyspieszenie akcji serca, skłonność do wystąpienia choroby wrzodowej żołądka, spadek poziomu glukozy we krwi, reakcje stresowe) [49].

Ciśnienie akustyczne [Pa]	Poziom moc [dB]	Źródło dźwięku
100	140	} <b>granica bólu</b>
	130	
	120	
10	110	} <b>procesy cięcia plazmowego</b>
	100	
1	90	} <b>procesy spawania</b>
0,1	70	
	60	
0,01	50	mieszkanie
	40	
0,001	30	szept
	20	
0,0001	10	
0,00002	0	<b>próg słyszenia</b>

Rys.4. Wartości ciśnienia akustycznego oraz odpowiadające mu poziomy hałasu wraz z przykładowymi źródłami dźwięku [9,47-48]

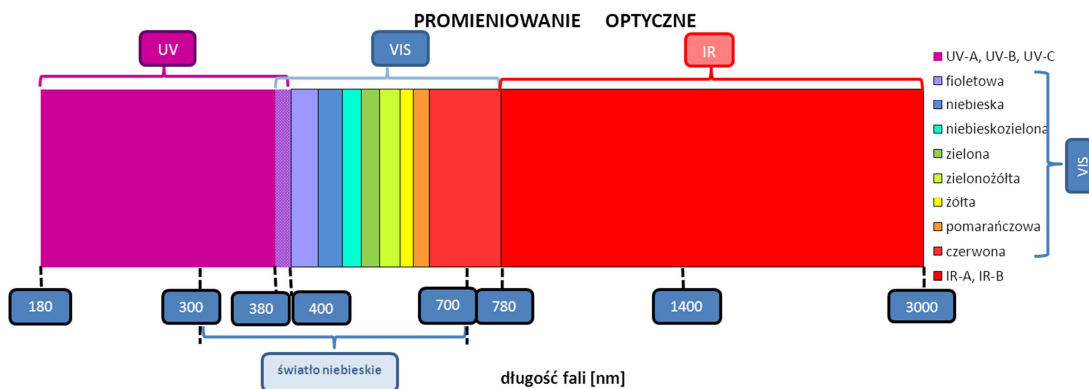
#### Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy

Wartości hałasu słyszalnego w środowisku pracy		Dopuszczalne wartości hałasu zgodne z rozporządzeniem MPiPS (Dz.U. 217/2002 poz. 1833)
Równoważny poziom dźwięku A w odniesieniu do:	8-godzinne dobowego wymiaru czasu pracy	85 dB
	tygodnia pracy	85 dB
Maksymalny poziom natężenia dźwięku A		115 dB
Szczytowy poziom dźwięku C		135 dB

Jeżeli którykolwiek z powyższych parametrów hałasu jest przekroczony, pracodawca jest zobowiązany podjąć działania zmierzające do ograniczenia narażenia pracowników na hałas. Do działań tych w pierwszym rzędzie należą zabiegi techniczne. Jeśli nie istnieją możliwości techniczne likwidacji hałasu, należy podjąć działania organizacyjne.

## Promieniowanie optyczne przy procesach spawalniczych

Źródłem promieniowania optycznego w procesach spawania i procesach pokrewnych jest łuk elektryczny i płomień gazowy. W skład tego promieniowania wchodzi: intensywne promieniowanie widzialne, promieniowanie nadfioletowe, promieniowanie podczerwone [52].



Rys.5. Zakres promieniowania optycznego, które może wystąpić przy procesach spawania i procesach pokrewnych

Najbardziej niebezpieczne promieniowanie optyczne powstaje przy spawaniu elektrycznym, widmo promieniowania zawiera wtedy UV, światło niebieskie i podczerwień. Temperatura palników gazowych nie przekracza 2000 K i ich widmo nie zawiera UV, natomiast temperatura palników acetylenowo - tlenowych i wodorowo-tlenowych przekracza nieco temperaturę 3000 K, może więc być emitowany, oprócz podczerwieni i światła – również długofalowy nadfiolet.

Przekroczenie na spawalniczych stanowiskach pracy dopuszczalnych wartości emisji promieniowania optycznego może być przyczyną wielu schorzeń oczu i skóry.

Schorzenia spowodowane nadmierną ekspozycją na promieniowanie [52-53]

Zakres promieniowania	Rodzaj uszkodzenia	
	oko	skóra
UV-A	Zaćma fotochemiczna (pojawia się po wielu latach ciągłej ekspozycji)	Zaczerwienienie (rumień), poparzenie, pigmentacja skóry,
UV-B, UV-C	Zapalenie rogówki lub uszkodzenia rogówki, zapalenie spojówek	fotostarzenie przednowotworowe i nowotworowe zmiany skórne, rak skóry
VIS	Fotochemiczne i termiczne uszkodzenie siatkówki, ołśnienie	Uszkodzenia termiczne: zaczerwienienie
IR-A	Termiczne uszkodzenie siatkówki	Uszkodzenia termiczne: zaczerwienienie, poparzenie
IR-A, IR-B,	Poparzenia i uszkodzenia rogówki,	
IR-A, IR-B	Zaćma termiczna (pojawia się po wielu latach ciągłej ekspozycji)	

### **3. INNOWACYJNE METODY SPAJANIA RÓŻNYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH – SPAWANIE I LUTOSPAWANIE ŁUKOWE METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI**

Spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazów stanowi od wielu lat proces dominujący pod względem zakresu stosowania wśród wszystkich procesów spawania łukowego. Za pomocą spawania/lutospawania metodą MIG/MAG można łączyć niemal wszystkie metale i stopy mające znaczenie w technice. Metoda MIG/MAG jest stosowana do łączenia stali konstrukcyjnych niestopowych, niskostopowych i wysokostopowych nierdzewnych, aluminium i jego stopów, magnezu i jego stopów, Ni i jego stopów oraz miedzi i jej stopów oraz pozwala na łączenie tych materiałów w szerokim zakresie grubości.

W niektórych dziedzinach przemysłu występuje duże zapotrzebowanie na wykonywanie wysokojakościowych połączeń blach stalowych o małej grubości, bez powłok i powlekanych, jak również blach aluminiowych, a także łączenia materiałów różnoimiennych. W większości przypadków spawanie blach cienkich wiąże się z przemysłem motoryzacyjnym, ale istnieją oczywiście i inne obszary stosowania tych materiałów. Tradycyjne spawanie MIG/MAG blach o grubości poniżej 3 mm nie dawało dotychczas satysfakcjonujących wyników z dwóch powodów: wprowadzało do łączonych elementów zbyt dużą ilość ciepła i było źródłem licznych rozprysków, psujących estetykę wyrobów i wymagających pracochłonnej obróbki elementów po spawaniu, jak i pogarszających warunki pracy. W wyniku badań i prac rozwojowych prowadzonych przez czołowych producentów urządzeń spawalniczych pojawiły się w ostatnich latach nowe warianty spawania MIG/MAG, takie jak CMT (Cold Metal Transfer) i ColdArc. Metody te opracowano specjalnie dla rozwiązania problemów występujących przy łączeniu materiałów o małej grubości. Wspólną cechą nowych procesów jest zmniejszenie całkowitej energii wprowadzanej podczas spawania i zmniejszenie ilości rozprysków.

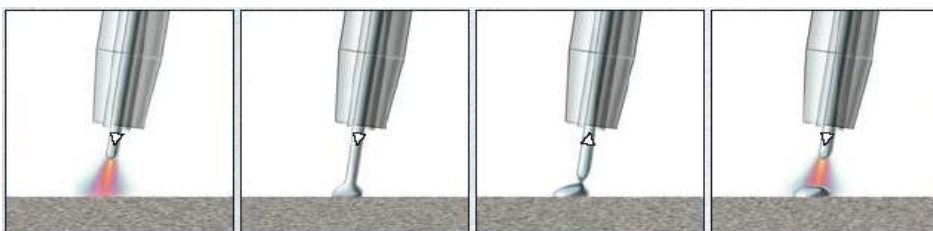
Ilość substancji szkodliwych emitowanych w procesie spawania MIG/MAG do środowiska jest związana z warunkami spawania, w tym z rodzajem przenoszenia metalu przez łuk. Stosowany dotychczas przy spawaniu elementów o małej grubości standardowy łuk zwarciovowy charakteryzuje się stosunkowo dużą emisją pyłu i gazów podczas trwania procesu, co jest rezultatem wysokiej temperatury przenieszonego przez łuk metalu drutu elektrodowego oraz dużej ilości rozprysków powstających przy zwiarcjach i niekontrolowanym ponownym zajarzaniu łuku. Nowe procesy spawania zmniejszają temperaturę metalu i praktycznie eliminują rozprysk. W publikacjach podawane są informacje, że ważną zaletą nowych odmian procesu spawania MIG/MAG cechujących się mniejszą energią wprowadzoną do łuku jest właśnie poprawa warunków pracy poprzez ograniczenie emisji zanieczyszczeń. Duży udział w produkcji spawalniczej cienkich blach przyczynia się do wzrostu zainteresowania tematyką bezpieczeństwa pracy przy prowadzeniu takiej produkcji.



## Metoda CMT – Cold Metal Transfer

Metoda Cold Metal Transfer to spawanie łukiem zwarciovym z całkowicie nowym sposobem oddzielania stopionego metalu od końca drutu elektrodowego. Drut elektrodowy jest nie tylko podawany w kierunku jeziorka, ale również okresowo cofany, z częstotliwością rzędu 70 Hz. CMT jako nowy wariant spawania MIG/MAG został opracowany i jest wprowadzany do spawalnictwa przez firmę Fronius. Spawanie CMT różni od konwencjonalnej metody MIG/MAG następujące główne cechy [55,56,59-62]:

- Posuw drutu jest wykorzystany do sterowania procesem. Drut jest podawany do przodu aż do momentu zaistnienia zwarcia, w tym momencie kierunek posuwu ulega odwróceniu i następuje cofanie drutu. Kiedy zwarcie zostanie przerwane, posuw drutu jest ponownie odwracany i drut podawany jest znów w stronę elementu. Program ruchów drutu nie jest ustalony wcześniej, a sterują nim momenty powstania i zakończenia (otwarcia) zwarcia, stanowiące sygnały do podjęcia odpowiednich funkcji przez cyfrowy układ sterowania. W ten sposób istnieje sprzężenie pomiędzy sytuacją w jeziorku spawalniczym a posuwem drutu. Z tego też powodu częstotliwość oscylacji drutu (do przodu – do tyłu) jest podawana tylko w przybliżeniu, decydują o niej zjawiska na granicy drut / jeziorko (zwarcie – brak zwarcia), a średnia wartość wynosi ok. 70 zmian/min.
- Przepływ metalu z końca drutu do jeziorka odbywa się niemal bez przepływu prądu (przy łuku zwarciovym MIG/MAG przeciwnie, występuje w tym momencie prąd największy, tzw. prąd zwarcia). Przerwanie zwarcia odbywa się tu bez udziału przepływu prądu. Wsteczny przesuw drutu wspomaga przejście kropli metalu do jeziorka w wyniku sił napięcia powierzchniowego i, w większości przypadków, siły ciężkości. W ten sposób natężenie prądu zwarcia może być bardzo niskie i energia cieplna wprowadzana jest też bardzo mała [53,59].



Rys.6. Jarzenie łuku, kierunki przesuwu drutu oraz przepływ metalu przy spawaniu CMT [55-56,60-62]

Pełny system urządzeń do spawania CMT obejmuje: źródło energii, podajnik drutu, uchwyt z mechanizmem dodatkowego posuwu, układ sterowania zdalnego, chłodnicę oraz interfejs do współpracy z robotem lub systemem zmechanizowanym [53]. Od standardowego, nowoczesnego systemu do spawania MIG/MAG system ten odróżnia przede wszystkim uchwyt, w którym zawarty jest

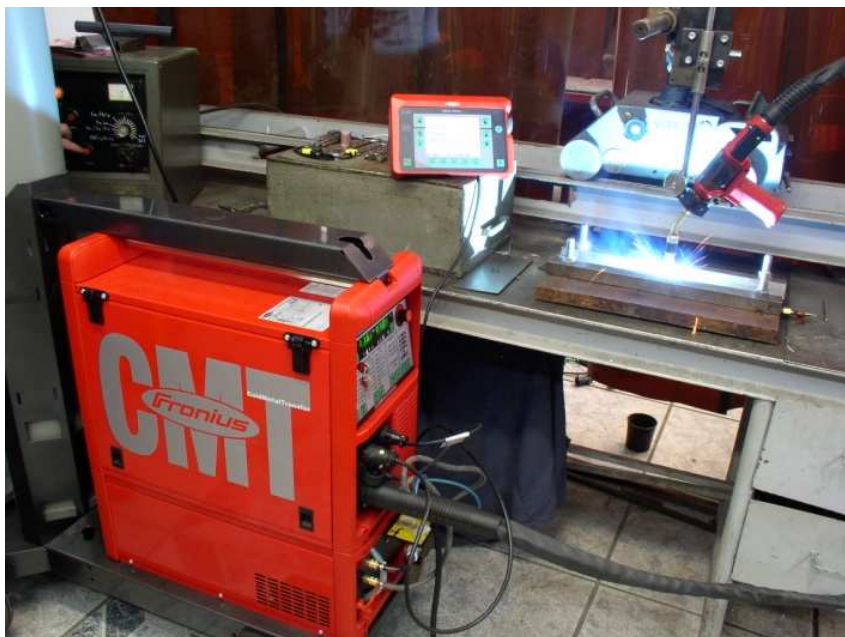
układ napędu ruchu powrotnego drutu, sterowany cyfrowo, z przełożeniem bezstopniowym i dynamicznym napędem prądu przemiennego. Istnieje też specjalny bufor mieszczący nadmiar drutu w momentach, gdy obydwa układy posuwu drutu działają „przeciw sobie” (gdyż standardowy podajnik popycha drut tylko do przodu w sposób ciągły) [54-55]. W porównaniu ze spawaniem konwencjonalnym spawanie CMT wykazuje szereg istotnych zalet. Najważniejszą z nich jest zminimalizowanie natężenia prądu podczas zwarcia, sterowane elektronicznie, a powodujące przekazywanie do elementu tylko bardzo małej ilości ciepła. Przerwanie zwarcia nie odbywa się w sposób niekontrolowany, ale następuje w momencie regulowanym wstecznym ruchem drutu. Obydwa te czynniki decydują o tym, iż spawanie przebiega praktycznie bez rozprysków, co odnosi się w pełni do sytuacji spawania w najczęściej występujących pozycjach: podolnej, naściennej, nabocznej. Istotne znaczenie ma precyzyjne sterowanie długością łuku. Przy spawaniu MIG/MAG napięcie łuku jest mierzone w celu ustalenia długości łuku, wynik może być jednak zakłócony przez zanieczyszczenia powierzchni, a długość łuku odbiega od optymalnej. W procesie CMT drut jest podawany w kierunku elementu aż do chwili zwarcia (wtedy długość łuku wynosi 0), a następnie podlega cofaniu z określoną prędkością przez ustalony elektronicznie odcinek czasu. Iloczyn tego czasu i prędkości ruchu wstecznego daje stałą długość łuku, która nie zależy od wylotu elektrody czy prędkości spawania, pozostając czynnikiem stabilności procesu.

Spawanie CMT ma naturalny obszar zastosowania w całym zakresie materiałów, grubości i parametrów, których dotyczyło dotychczas spawanie łukiem zwiarciovym. Zakres ten, w wyniku specyficznych zalet tego procesu, uległ istotnemu rozszerzeniu w kierunku mniejszych grubości elementów, spawania dotychczas niewykonalnych połączeń różnoimiennych oraz niespotykanych dotąd konstrukcji złączy.

Można wskazać następujące główne obszary zastosowania:

- spawanie cienkich blach ze stali zwykłych, wysokostopowych nierdzewnych i aluminium,
- lutospawanie metodą MIG,
- spawanie blach aluminiowych ze stalowymi [56].

## *Stanowisko spawalnicze do spawania metodą CMT*



### **Metoda ColdArc**

Kolejnym wariantem spawania MIG/MAG, który oparty jest na ingerencji w przebieg natężenia prądu i napięcia łuku przy spawaniu łukiem zwarciovym, jest metoda ColdArc. Opracowany w niemieckiej firmie EWM jest on przeznaczony do łączenia materiałów o małej grubości, charakteryzuje się również znikomym rozpryskiem. Przebieg napięcia łuku przy spawaniu ColdArc jest identyczny, jak przy konwencjonalnym łuku zwarciovym, różnica istnieje tylko w przebiegu natężenia prądu [57-58]. Napięcie, a ściślej jego wysoka wartość w momencie przerywania zwarcia, stanowi dla cyfrowego układu sterowania źródła energii sygnał do raptownego zmniejszenia natężenia prądu od wartości prądu zwarcia do prądu łuku. W ten sposób moc w obwodzie gotowym do zajarzenia łuku zmniejsza się i zajarzenie następuje w sposób łagodny. Teraz natężenie prądu wzrasta płynnie na krótki czas osiągając poziom impulsu potrzebnego do stopienia końca drutu, a następnie prąd jest obniżany do skrajnie niskiej wartości bazowej, co minimalizuje dalsze stapianie, i po dojściu do zwarcia cykl rozpoczyna się od nowa [57-58]. Impuls powodujący topnienie wytwarza po każdym zwarciu stożek stopionego metalu na końcu drutu, o stałych wymiarach, co sprawia, że proces przebiega stabilnie i spokojnie. Stwarza to jedyną możliwość pracy przy bardzo niskich natężeniach prądu w okresach pomiędzy zvarciami, bez dalszego stapiania drutu i błędzenia łuku, co stanowi podstawę niskoenergetycznej metody ColdArc.

Metoda ColdArc otwiera nowe możliwości w łączeniu elementów o małej grubości. Najliczniej podane są przykłady połączeń różnych materiałów wykonanych metodą lutowania spoiwami na bazie miedzi [57-59]. Metodą ColdArc można łączyć elementy o grubości od 0,3 mm, prowadzone są nawet próby z grubością 0,2 mm. Lutowaniu mogą podlegać różne materiały: blachy stalowe ocynkowane galwanicznie, blachy ocynkowane zanurzeniowo, blachy stalowe z aluminium. Metoda umożliwia spawanie stali niskostopowych, stopów aluminium i stali wysokostopowych o małych grubościach. Do lutowania używa się spoiw na bazie Cu, Zn lub Al, natomiast materiały dodatkowe do spawania dobierane są odpowiednio do materiału podstawowego. Urządzenia do spawania ColdArc nie zawierają elementów odmiennych od nowoczesnych inwertorowych półautomatów MIG/MAG, wykorzystywane są także typowe uchwyty do spawania ręcznego. Istota rozwiązania ukryta jest w układzie sterowania, który musi z dużą precyzją identyfikować stan obwodu spawania, szczególnie w momencie końca zwarcia, a następnie w bardzo krótkim czasie (1  $\mu$ s) doprowadzić do spadku natężenia prądu i dokładnie regulować przebieg tego parametru.

### *Stanowisko spawalnicze do spawania metodą ColdArc*



## Proces lutowania

Lutowanie łukowe metodą CMT/ColdArc jest metodą łączenia materiałów, w której brzegi łączonych elementów przygotowuje się jak do spawania, a sam proces odbywa się wg zasad lutowania twardego – materiał podstawowy nie ulega nadtopieniu [63]. Drut elektrodowy, najczęściej będący spoiwem brązowym typu Cu-Si lub Cu-Al podawany jest poprzez uchwyt spawalniczy w miejsce wykonywania połączenia. Łuk elektryczny powoduje topienie drutu elektrodowego, który wypełnia szczelinę pomiędzy łączonymi elementami. Gaz obojętny chroni płynny lut przed zanieczyszczeniami zewnętrznymi.

Lutowanie znalazło zastosowanie przy spajaniu blach o grubości od 0,5 do 3 mm pokrytych cienką powłoką cynku do grubości 5 - 15 mikrometrów (obecnie również znacznie grubsze powłoki cynku ogniowego), jak również do cienkich blach ze stali nierdzewnych i połączeń różnoimiennych np. miedzi ze stałą, stali kwasoodpornej ze stałą zwykłej jakości, aluminium z blachą ocynkowaną. Niewątpliwą zaletą metody lutowania jest utrzymanie ochronnej powłoki cynkowej na styku lutowie-cynk. Temperatura łuku nie powinna przekraczać temperatury parowania cynku, toteż cynk nie odparowuje (lub odparowuje w niewielkim stopniu), a jedynie chwilowo stapia się, nie powodując ubytków w ochronnej powłoce cynkowej. W przypadku powstania niewielkich ubytków w powłoce cynkowej, ochrona katodowa cynku zabezpiecza stal w dalszym ciągu przed korozją. Wadą lutowania jest natomiast stosunkowo wysoki koszt wykonania samej spoiny, na który składa się przede wszystkim koszt drutu i gazu osłonowego (argon) oraz estetyka wykonania (czerwona spoina na błyszczącym cynkowym tle). Lutowanie znalazło zastosowanie tam, gdzie w znaczący sposób ta technologia przeważa nad klasycznymi technologiami spawalniczymi, zachowując wymagane właściwości mechaniczne połączenia przy jednoczesnym zachowaniu właściwości antykorozyjnych. Dużo niższa energia liniowa wydatnie zmniejsza naprężenia i skurcze spawalnicze, co jest natychmiast widoczne przy realizowaniu przestrzennych połączeń elementów cienkościennych. Niska twardość lutowa ma znaczny wpływ na koszt obróbki mechanicznej po spawaniu. W Polsce i na świecie metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w następujących obszarach:

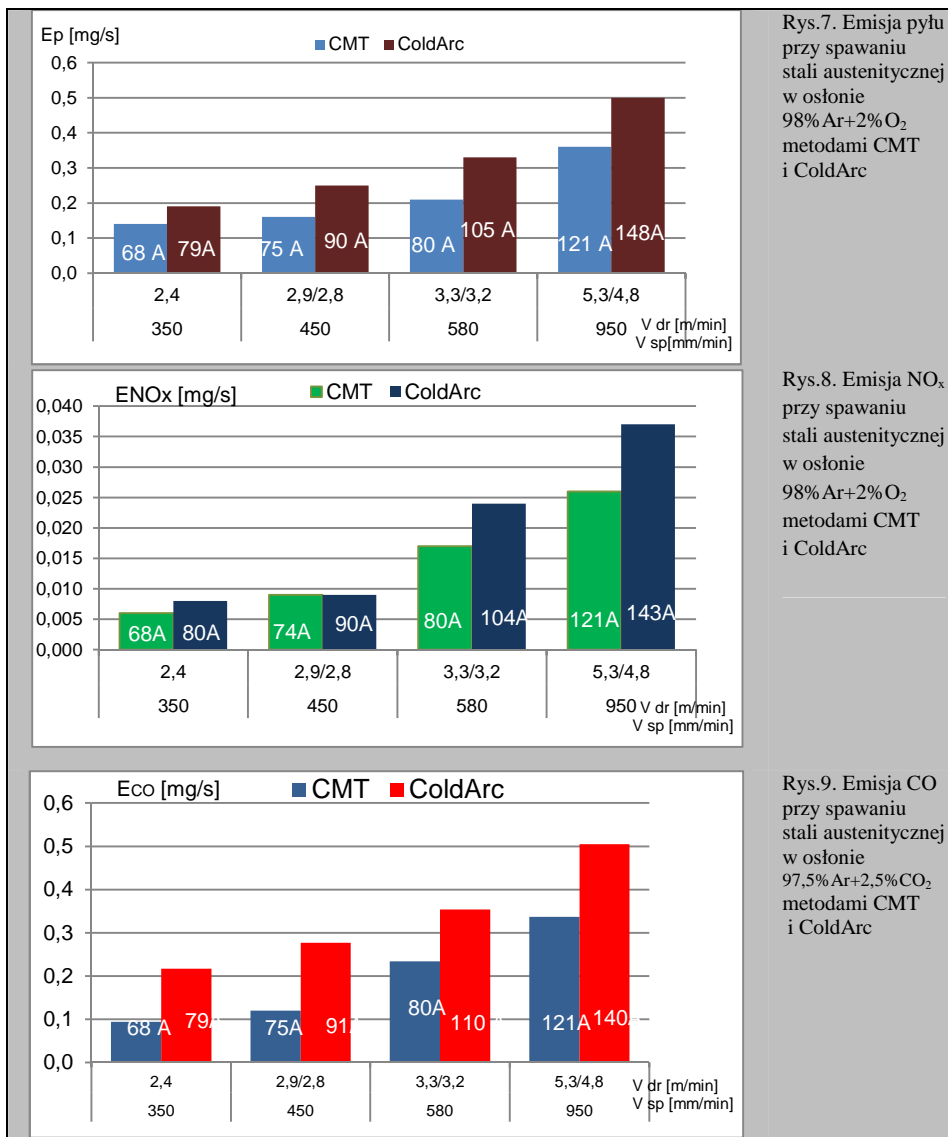
- przemysł motoryzacyjny, naprawy blacharskie,
- przemysł wentylacyjny,
- produkcja ogrodzeń - bramy, furtki, przęsła ogrodzeniowe,
- produkcja balustrad, poręczy,
- elementy metalowe małej architektury.

#### **4. WPLYW WARUNKÓW MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNYCH SPAWANIA I LUTOSPAWANIA ŁUKOWEGO METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI NA WIELKOŚĆ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU PRACY**

##### **♦ Spawanie stali odpornych na korozję metodami CMT i ColdArc**

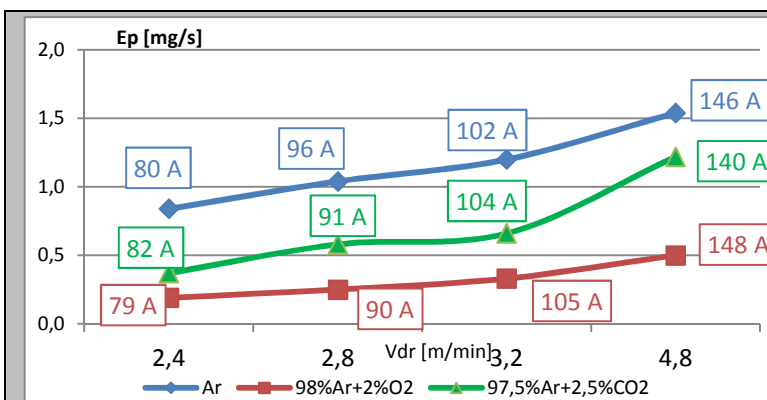
Badania emisji pyłu i gazów powstających przy spawaniu stali nierdzewnych prowadzone w ramach projektu pt. „Ocena zagrożeń w środowisku pracy przy spawaniu i lutospawaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi stali odpornych na korozję i blach stalowych powlekanych. Opracowanie zaleceń do profilaktyki zagrożeń z uwzględnieniem modyfikacji warunków technologicznych” realizowanego w II etapie programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, wykazały wpływ wybranej metody spawania oraz warunków technologicznych na wielkość emisji zanieczyszczeń oraz skład chemiczny powstającego pyłu.

❖ Przy spawaniu metodą CMT (Cold Metal Transfer) wielkość emisji pyłu,  $\text{NO}_x$  i CO jest mniejsza w porównaniu do wielkości emisji zanieczyszczeń przy metodzie ColdArc. Podczas spawania stali austenitycznej emisja pyłu przy metodzie CMT jest mniejsza w całym zakresie prądowym średnio o 30% (rys.7). Wielkość emisji tlenków azotu jest również zależna od wybranej metody spawania. Metoda CMT charakteryzuje się niższymi wartościami emisji  $\text{NO}_x$  (rys.8). Wykazano, że przy zastosowaniu do spawania stali austenitycznej metody CMT można ograniczyć emisję tlenków azotu o 25% w porównaniu do metody ColdArc. Na wielkość emisji tlenu węgla również wpływa wybór metody spawania, przy metodzie CMT stwierdzono mniejszą emisję CO. Zastosowanie metody CMT do spawania stali austenitycznej powoduje redukcję emisji CO średnio dla całego badanego okna parametrów o ok. 40% (rys.9). Z uwagi na mniejszą emisję zanieczyszczeń do środowiska pracy przy spawaniu stali nierdzewnych metoda CMT jest metodą spawania zdecydowanie korzystniejszą. Z uwagi na stabilny łuk i małą ilość rozprysków oraz stwierdzoną w badaniach możliwość ograniczenia emisji pyłu i gazów metoda Cold Metal Transfer jest polecana w aspekcie poprawy warunków pracy do zastosowania do spawania cienkich materiałów wrażliwych na ciepło.

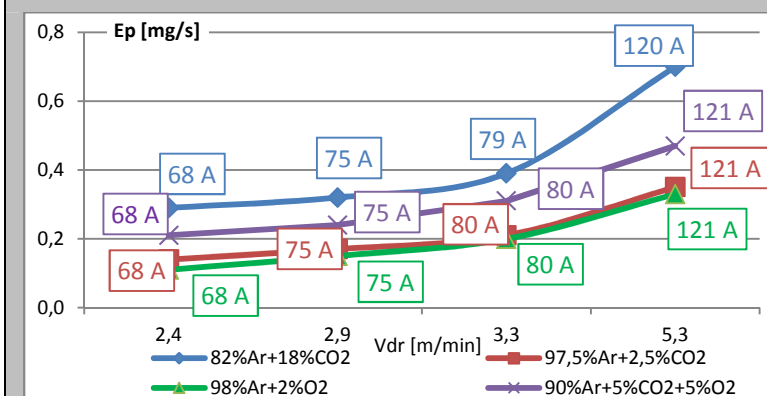


❖ Wyniki badania emisji pyłu, tlenków azotu i tlenku węgla przy spawaniu stali odpornych na korozję metodami łukowymi niskoenergetycznymi pozwoliły na wykazanie zależności pomiędzy rodzajem gazu stosowanego na osłonę łuku a wielkością emisji zanieczyszczeń. W aspekcie redukcji emisji pyłu przy spawaniu stali austenitycznej i stali ferrytycznej korzystne jest zastosowanie mieszanki typu Ar+O<sub>2</sub>. Najwyższą emisję pyłu przy spawaniu stali austenitycznej wykazano dla osłony z czystego argonu (rys.10), natomiast dla stali chromowej ferrytycznej dla osłony gazowej 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> oraz osłony trójskładnikowej 90%Ar+5%CO<sub>2</sub>+5%O<sub>2</sub> (rys.11). W celu ograniczenia emisji tlenków azotu przy spawaniu stali odpornych na korozję należy zastosować dwuskładnikowe mieszanki gazowe typu Ar+CO<sub>2</sub>. Z kolei ograniczenie emisji tlenku węgla z procesu spawania stali austenitycznej metodami CMT i ColdArc wiąże się

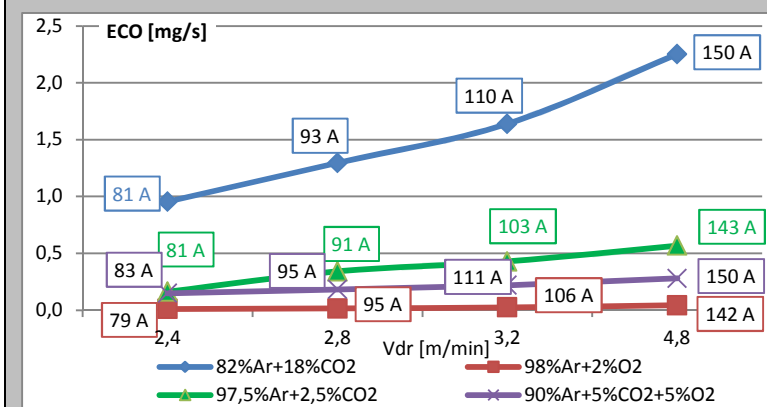
z zastosowaniem do osłony łuku mieszanki Ar+O<sub>2</sub> i czystego argonu. Również przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej w celu zmniejszenia emisji tlenku węgla należy zastosować mieszankę Ar+O<sub>2</sub>.



Rys.10.Emisja pyłu przy spawaniu stali austenicznej metodą ColdArc w osłonie różnych gazów



Rys.11.Emisja pyłu przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej metodą CMT w osłonie różnych gazów



Rys.12. Emisja CO przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej metodą ColdArc



## ♦ **Lutospawanie stali z powłokami metodami CMT i ColdArc**

W badaniach wielkości emisji zanieczyszczeń i składu chemicznego pyłu przy procesach lutospawania zastosowano nowoczesne stalowe materiały konstrukcyjne z różnymi powłokami. Wybrano blachy stalowe z powłokami z czystego cynku i z powłokami ze stopu cynku i żelaza. Powłoki charakteryzowały się podwyższoną jakością powierzchni i dla większego zabezpieczenia antykorozyjnego były oliwione. Wybrano również powłoki o dwóch różnych gęstościach; 100 g/m<sup>2</sup> i 140 g/m<sup>2</sup>. Do lutospawania zastosowano drut w gatunku CuSi3 (SCu6560), którego główny składnik to miedź - 95%.

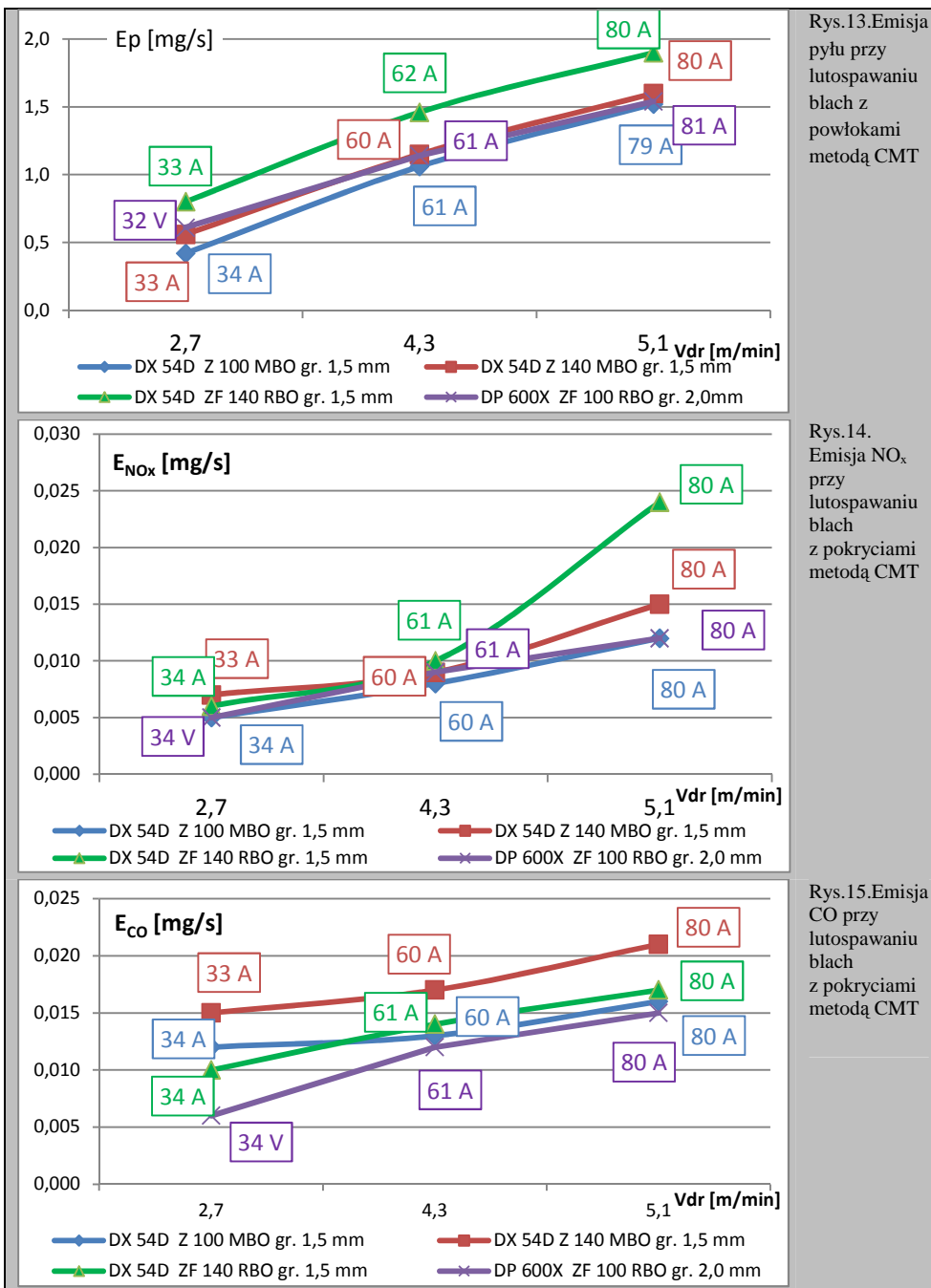
### ***Wpływ rodzaju powłoki antykorozyjnej na wielkość emisji zanieczyszczeń***

❖ Największa emisja pyłu wystąpiła przy procesie lutospawania blach stalowych z powłoką ze stopu cynku i żelaza – powłoką typu ZF. Powłoka typu Z – powłoka cynkowa charakteryzowała się niższymi wartościami emisji przy tych samych warunkach prądowo-napięciowych procesu i tych samych metodach lutospawania. Na wielkość emisji pyłu wpływa również grubość powłoki, jest to zależność wprost proporcjonalna. Przy większej grubości powłoki emisja pyłu wzrasta.

❖ Badania wykazały, że wielkość emisji tlenków azotu i tlenku węgla jest związana z rodzajem powłoki ochronnej. Jednakże zależność ta jest trudna do jednoznacznego zdefiniowania. Przy lutospawaniu metodą ColdArc emisja NO<sub>x</sub> i CO kształtowała się na najwyższym poziomie dla blachy z grubszą powłoką stopu cynku i żelaza - DX54D ZF 140. Przy metodzie CMT emisja tlenków azotu również była najwyższa dla powłoki ZF140, natomiast najwyższa emisja tlenku węgla wystąpiła przy procesie lutospawania blachy z powłoką cynkową typu Z140. Istotny wpływ na wielkość emisji gazów wywiera grubość powłoki. Podobnie jak przy emisji pyłu jest to zależność wprost proporcjonalna, którą można przedstawić następująco; przy lutospawaniu blach stalowych z powłokami typu ZF i Z wzrost grubości powłoki powoduje większą emisję tlenków azotu i tlenku węgla.

### ***Wpływ natężenia prądu i napięcia łuku na wielkość emisji pyłu i gazów przy lutospawaniu blach stalowych z powłokami***

❖ Procesy lutospawania prowadzone są w bardzo niskich zakresach prądowo-napięciowych. Badania prowadzono dla zakresu 32-80A przy metodzie CMT i 54-90 A przy metodzie ColdArc. Pomimo tak wąskiego zakresu parametrów analiza wyników badania emisji pyłu i gazów potwierdziła generalną korelację pomiędzy natężeniem prądu przy spajaniu łukowym, a wielkością emisji pyłu. W przeprowadzonych badaniach przy wyższych natężeniach prądu przy lutospawaniu występowała wyższa emisja pyłu całkowitego, tlenków azotu i tlenku węgla.



Dla środowiskowych warunków pracy przy lutowaniu blach z powłokami istotny jest fakt bardzo wysokiej zawartości w pyłe związków cynku. Zawartość Zn w pyłe wynosi od 37 do 43%. Źródłem cynku jest powłoka antykorozyjna, która na powierzchni stalowego podłoża charakteryzuje się stosunkowo niską temperaturą topnienia (419°C), parowania (600°C), wrzenia (900°C) oraz utleniania do tlenku cynku (500÷510°C). Temperatura łuku przy lutowaniu nie przekracza temperatury parowania cynku, toteż cynk chwilowo

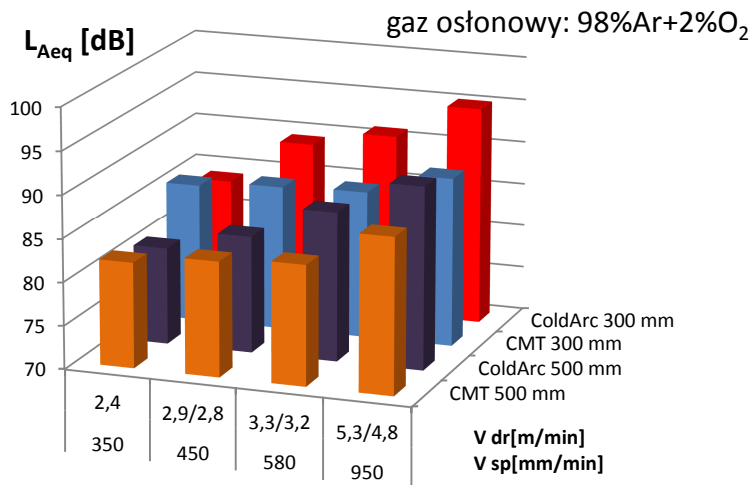
stapia się, nie powodując ubytków w ochronnej powłoce cynkowej, odparowuje i utlenia. Istotą procesu lutowania jest nie topienie materiału podstawowego (blachy stalowej) ale jedynie topienie drutu elektrodowego. Dlatego też skład chemiczny pyłu przy lutowaniu jest całkowicie odmienny od składu chemicznego pyłu przy procesach spawania. Na skład chemiczny pyłu przy lutowaniu wpływa skład drutu elektrodowego, rodzaj i grubość powłoki ochronnej, w znikomym procencie skład chemiczny materiału rodzimego.

## **5. WPŁYW WARUNKÓW MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNYCH SPAWANIA I LUTOSPRAWANIA ŁUKOWEGO METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI NA POZIOM NATEŻENIA DŹWIĘKU**

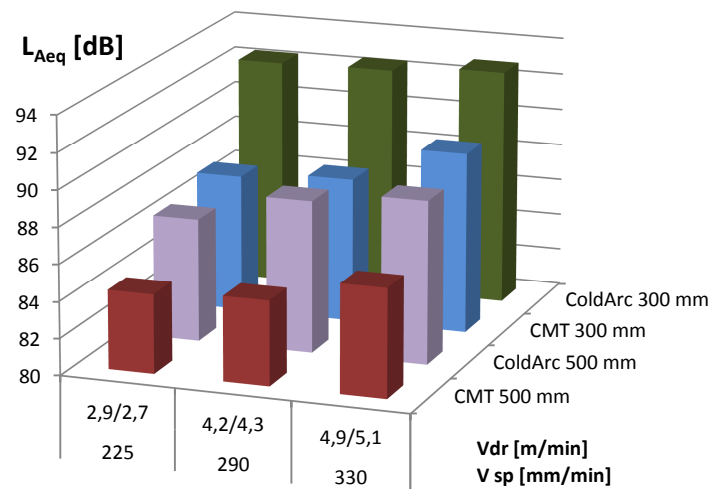
Procesy spawania i procesy pokrewne zawsze związane są z występowaniem czynnika zagrażającego bezpieczeństwu pracy jakim jest hałas słyszalny. Walka z hałasem w środowisku pracy przy wytwarzaniu konstrukcji i wyrobów spawanych obejmuje kompleksową analizę stosowanych metod spajania i warunków technologicznych oraz korzystanie z możliwości modyfikacji procesów w aspekcie ograniczenia natężenia dźwięku.

❖ Badania poziomu dźwięku przy spawaniu stali odpornych na korozję metodami niskoenergetycznymi pozwoliła na stwierdzenie, że rodzaj metody spawania oraz parametry technologiczne tj. natężenie prądu spawania i rodzaj gazu osłonowego mają istotny wpływ na poziom maksymalny dźwięku A, poziom szczytowy dźwięku C oraz poziom równoważny dźwięku A. W aspekcie ograniczenia hałasu przy spawaniu stali odpornych na korozję korzystne jest zastosowanie metod Cold Metal Transfer jako metody charakteryzującej się niższymi wartościami poziomu dźwięku. Istotny jest odpowiedni dobór parametrów prądowo-napięciowych procesu spawania, bowiem wzrost natężenia prądu z którym powiązany jest wzrost prędkości podawania drutu i prędkości spawania powoduje w większości przypadków zwiększony poziom natężenia dźwięku. Również bardzo ważnym czynnikiem umożliwiającym redukcję hałasu przy procesie spawania metodami CMT i ColdArc jest właściwy dobór gazu osłonowego. Najniższy poziom dźwięku przy spawaniu stali austenitycznej wyznaczono dla mieszanki 97,5%Ar+2,5%CO<sub>2</sub>, natomiast przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej dla mieszanki 82%Ar+18%CO<sub>2</sub>.

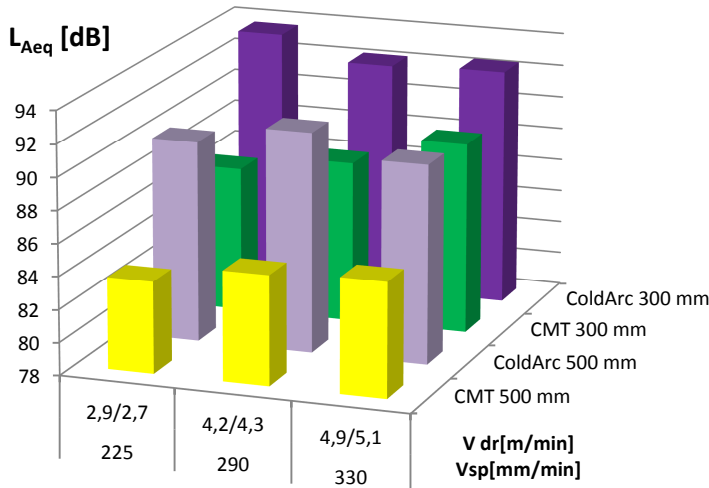
❖ Przy lutowaniu metodą CMT i ColdArc rodzaj powłoki antykorozyjnej i jej grubość wpływa na poziom dźwięku. Przy takich samych parametrach technologicznych dla powłoki typu Z (powłoka cynkowa) poziom natężenia dźwięku jest niższy niż przy lutowaniu blach z powłokami typu ZF (powłoka cynk + żelazo). Wyższe poziomy natężenia dźwięku występują przy grubszych warstwach powłoki antykorozyjnej.



Rys.16. Poziom równoważny dźwięku A w odległości 300/500 mm od łuku spawalniczego przy spawaniu stali nierdzewnej metodami ColdArc i CMT



Rys.17. Poziom równoważny dźwięku A w odległości 300/500 mm od łuku przy lutospawaniu blachy z powłoką cynkową metodami ColdArc i CMT w osłonie argonu



Rys.18. Poziom równoważny dźwięku A w odległości 300/500 mm od łuku przy lutospawaniu blachy z powłoką cynk+żelazo metodami ColdArc i CMT w osłonie argonu

## **6. WPLYW WARUNKÓW TECHNOLOGICZNYCH SPAWANIA I LUTOSPAPANIA METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI NA NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA NADFIOLETOWEGO, ŚWIATŁA NIEBIESKIE I PROMIENIOWANIA TERMICZNEGO**

❖ Badania promieniowania optycznego wykazały, że największe zagrożenie zdrowia dla pracowników powoduje promieniowanie nadfioletowe oraz światło niebieskie. Narażenie na promieniowanie podczerwone przy badanych metodach było znacznie mniejsze. Największe zagrożenie promieniowaniem nadfioletowym przy spawaniu stali odpornych na korozję wystąpiło przy stosowaniu metody CMT i metody tradycyjnej MIG/MAG. Największe zagrożenie światłem niebieskim przy spawaniu stali odpornych na korozję wystąpiło przy metodzie ColdArc i MIG/MAG. Natężenie napromienienia promieniowania podczerwonego przyjmowało najwyższe wartości przy spawaniu stali nierdzewnych metodą CMT i tradycyjną metodą MIG/MAG. Proces lutospawania z uwagi na niższe wartości natężenia prądu charakteryzuje się mniejszym zagrożeniem środowiska pracy promieniowaniem nadfioletowym, światłem niebieskim i promieniowaniem podczerwonym.

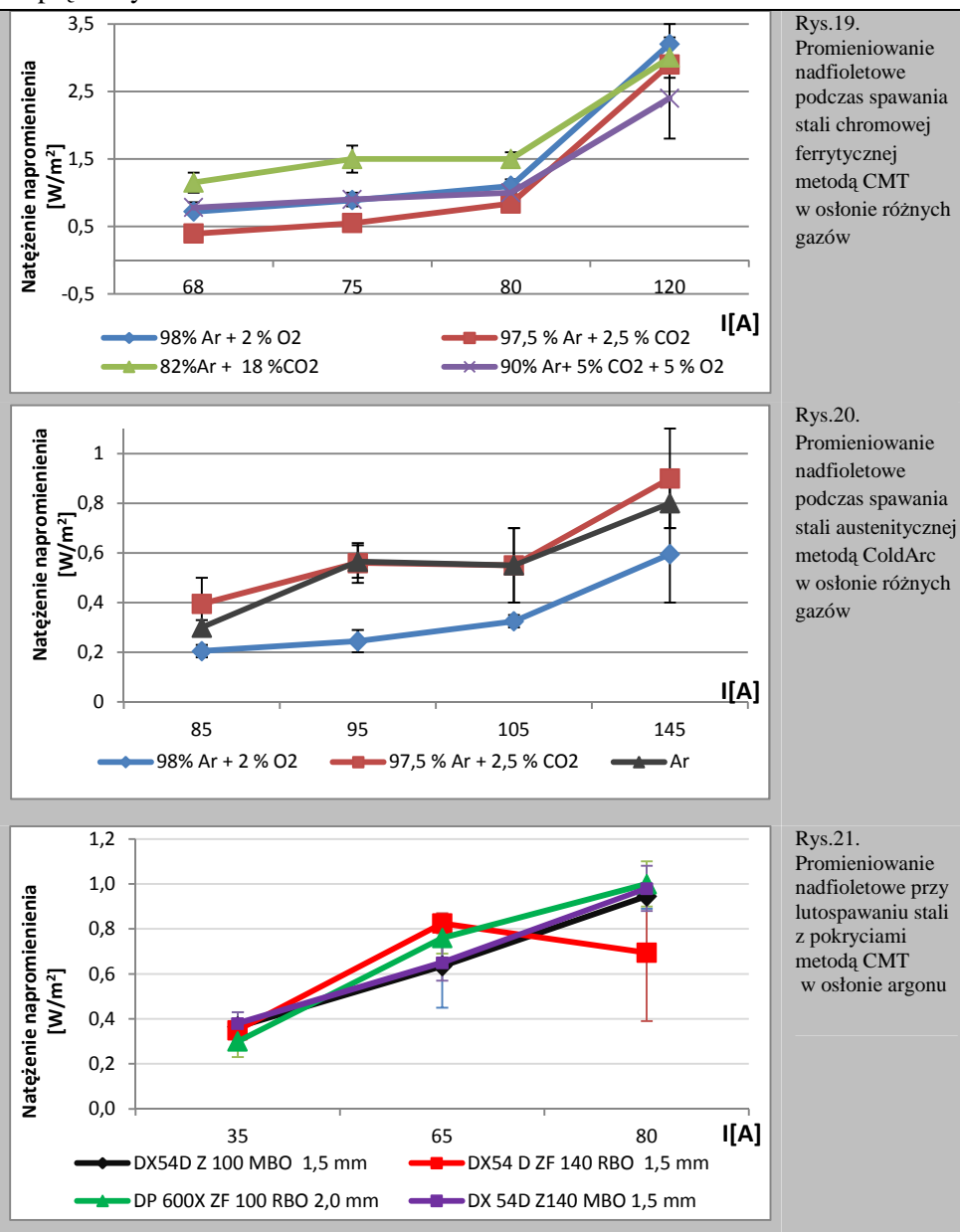
❖ Natężenie promieniowania UV przy spawaniu i lutospawaniu metodami CMT, ColdArc i MIG/MAG rośnie ze wzrostem natężenia prądu spawania/lutospawania. Wzrost ten zależy od rodzaju gazu osłonowego, rodzaju spajanej blachy oraz wybranej metody spawania lub lutospawania. W przypadku spawania metodą CMT blachy austenitycznej natężenie promieniowania UV najbardziej wzrasta, gdy gazem osłonowym jest mieszanka 98%Ar+2%O<sub>2</sub>, najmniej zaś gdy gazem osłonowym jest argon. Przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej metodą CMT natężenie promieniowania UV najwyższe wartości wykazuje przy mieszance gazowej 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> oraz przy wyżej wspomnianej mieszance 98%Ar+2%O<sub>2</sub>. Najkorzystniejszą w aspekcie zmniejszenia natężenia promieniowania UV przy spawaniu stali nierdzewnych metodą CMT jest zastosowanie gazu 97,5%Ar+2,5%CO<sub>2</sub> oraz argonu.

❖ Podczas spawania stali austenitycznej przy metodzie ColdArc najwyższe natężenia promieniowania UV występuje przy gazie osłonowym 97,5%Ar+2,5%CO<sub>2</sub>, natomiast najniższe przy mieszance 98%Ar+2%O<sub>2</sub>. Podobna zależność ma miejsce przy spawaniu metodą ColdArc stali chromowej ferrytycznej. Natężenie promieniowania UV przy spawaniu stali nierdzewnych tradycyjnymi metodami MIG/MAG również zależy od składu gazu osłonowego. Podczas spawania stali austenitycznej najniższe natężenia promieniowania UV stwierdzono przy mieszance 98%Ar+2%O<sub>2</sub>, natomiast najwyższe przy argonie. Podczas spawania stali chromowej ferrytycznej najkorzystniejsza była mieszanka 82%Ar+18%CO<sub>2</sub>.

❖ Lutospawanie blach stalowych z powłokami ochronnymi również wiąże się ze wzrostem natężenia napromienienia UV przy wyższych parametrach prądowo-napięciowych procesu. Wpływ rodzaju powłoki ochronnej na promieniowanie UV

jest trudny do jednoznacznego zdefiniowania. Zauważalna jest tendencję, że przy lutowaniu blach z powłokami cynkowymi natężenie napromienienia UV jest niższe niż przy powłokach ze stopu cynk + żelazo.

❖ Natężenie napromienienia UV jest również związane z doбором metody spawania/lutowania. W aspekcie ograniczenia natężenia napromienienia nadfioletowego przy lutowaniu stali z powłokami korzystniejsze jest zastosowanie metody niskoenergetycznej ColdArc. Przy spawaniu stali nierdzewnych wybór metody (CMT, ColdArc, MIG/MAG) należy powiązać z wyborem gazu osłonowego i precyzyjnym określeniem parametrów prądowo-napięciowych.



## **7. ZALECENIA TECHNICZNE (MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNE) DO PROFILAKTYKI ZAGROZEŃ PYŁOWYCH, CHEMICZNYCH I FIZYCZNYCH PRZY SPAWANIU I LUTOSPAWANIU METODAMI NISKOENERGETYCZNYMI STALI ODPORNYCH NA KOROZJĘ I BLACH STALOWYCH POWLEKANYCH**

Zalecenia techniczne do profilaktyki zagrożeń pyłowych, chemicznych i fizycznych przy spawaniu i lutowaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi zaawansowanych materiałów (stali nierdzewnych i stali z powłokami) opracowano na podstawie badań emisji zanieczyszczeń oraz badań natężenia dźwięku i natężenia promieniowania optycznego. Badania prowadzono na specjalistycznym stanowisku doświadczalnym w Instytucie Spawalnictwa.

Celem zaleceń technicznych do profilaktyki zagrożeń jest wskazanie użytkownikowi danej technologii spawalniczej metod modyfikacji warunków materiałowo-technologicznych procesu spawania lub lutowania w aspekcie ograniczenia wielkości emisji pyłu spawalniczego, gazów, poziomu hałasu i ograniczenia promieniowania optycznego. Zalecenia przeznaczone są dla specjalistów z obszaru technik spawalniczych, którzy we współpracy ze służbami bezpieczeństwa pracy w zakładach produkcyjnych będą kształtować dobór materiałów spawalniczych, parametrów technologicznych oraz wybór metod łączenia materiałów konstrukcyjnych.

### ***Wykaz zaleceń do profilaktyki zagrożeń:***

1. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych przy spawaniu stali odpornych na korozję.
2. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych przy lutowaniu stali z powłokami ochronnymi.
3. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń fizycznych przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutowaniu stali z powłokami ochronnymi. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń hałasem.
4. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń fizycznych przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutowaniu stali z powłokami ochronnymi. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń promieniowaniem nadfioletowym, światłem niebieskim i promieniowaniem podczerwonym.

## 1. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych przy spawaniu stali odpornych na korozję



### •Spawanie stali odpornych na korozję

- Spawanie niskoenergetycznymi metodami łukowymi w osłonie gazów
  - metoda Cold Metal Transfer CMT
  - metoda ColdArc

### •Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych

➤ Przy projektowaniu technologii spawania stali odpornych na korozję należy uwzględnić wpływ warunków materiałowych i parametrów technologicznych na wielkość emisji pyłu całkowitego oraz emisji gazów i skład chemiczny pyłu ze szczególnym uwzględnieniem zawartości chromu(VI) i niklu w pyłe.

➤ Wybrana metoda spawania stali odpornych na korozję wpływa na wielkość emisji zanieczyszczeń do środowiska pracy.

W aspekcie poprawy warunków pracy przy spawaniu cienkich materiałów wrażliwych na ciepło metoda CMT jest metodą spawania zdecydowanie korzystną. Przy spawaniu metodą CMT (Cold Metal Transfer) wielkość emisji pyłu, NO<sub>x</sub> i CO jest mniejsza w porównaniu do wielkości emisji zanieczyszczeń przy metodzie ColdArc.

➤ Przy nadzorowaniu spawania stali odpornych na korozję należy pamiętać, że istotne znaczenie w aspekcie ochrony środowiska pracy ma zawartość w pyłe związków chromu i niklu oraz chromu sześciowartościowego. Zawartość chromu i niklu w pyłe powstającym przy spawaniu stali odpornych na korozję jest niższa niż ich zawartość w materiale podstawowym (spawanej stali) i materiale dodatkowym (spoiwo - drut elektrodowy lity).

➤ Ważnym czynnikiem kształtującym wielkość emisji do otoczenia poszczególnych składników chemicznych pyłu jest charakterystyczna dla danej metody i parametrów technologicznych wielkość emisji pyłu całkowitego. Z uwagi na całkowitą emisję do środowiska pracy substancji kancerogennych, niklu i chromu sześciowartościowego metoda CMT charakteryzuje się mniejszą emisją wymienionych substancji.



➤ Dobór skład gazu stosowanego na osłonę łuku spawalniczego wpływa na wielkość emisji pyłu, emisji gazów oraz zawartość chromu(VI) i niklu w pyłe powstającym przy spawaniu stali nierdzewnych metodą CMT i ColdArc;

- w celu ograniczenia emisji pyłu przy spawaniu stali austenitycznej i stali chromowej ferrytycznej korzystne jest zastosowanie mieszanki typu Ar+O<sub>2</sub>,
- w celu ograniczenia emisji tlenków azotu przy spawaniu stali odpornych na korozję należy zastosować dwuskładnikowe mieszanki gazowe typu Ar+CO<sub>2</sub>,
- ograniczenie emisji tlenku węgla z procesu spawania stali austenitycznej metodami CMT i ColdArc wiąże się z zastosowaniem do osłony łuku mieszanki Ar+O<sub>2</sub> i czystego argonu,
- przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej w celu zmniejszenia emisji tlenku węgla należy zastosować mieszankę Ar+O<sub>2</sub>,
- przy zastosowaniu na osłonę łuku gazów o własnościach silnie i średnio utleniających, zawartość chromu(VI) w pyłe wzrasta. Mieszanki o niskim wskaźniku utleniania, zawierające ditlenek węgla przyczyniają się do niskich zawartości chromu(VI),
- własności fizyko-chemiczne osłony gazowej wpływają również na zawartość w pyłe chromu całkowitego i niklu. Gazy osłonowe o wysokim wskaźniku utleniania zwiększają zawartość chromu całkowitego w pyłe przy spawaniu stali chromowych ferrytycznych. Natomiast przy spawaniu stali austenitycznych wzrost zawartości w pyłe chromu związany jest z obojętnym gazem osłonowym – argonem,
- na wzrost zawartości w pyłach tlenków niklu również wpływa utleniający charakter atmosfery łuku.

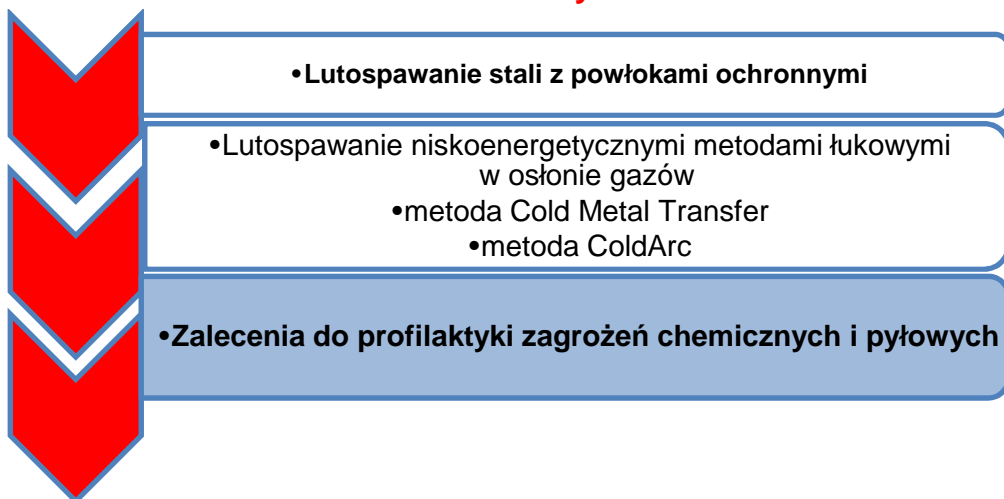
➤ Przy projektowaniu technologii spawania stali odpornych na korozję należy uwzględnić wpływ parametrów prądowo-napięciowych na emisję pyłu i gazów do środowiska pracy. Natężenie prądu spawania i napięcie łuku przy metodach CMT i ColdArc wpływa na wielkość emisji pyłu i gazów powstających przy spawaniu stali nierdzewnych. Przy wzroście natężenia prądu wzrasta temperatura w łuku i zwiększa się intensywność powstawania par metali;

- wzrost natężenia prądu i napięcia łuku jest przyczyną większej emisji pyłu spawalniczego, tlenków azotu i tlenku węgla,
- wzrost natężenia prądu wpływa na wzrost emisji do środowiska pracy substancji o działaniu kancerogennym; związków chromu(VI) i tlenków niklu.

### **Porównanie wielkości emisji zanieczyszczeń przy spawaniu stali odpornych na korozję tradycyjnymi metodami MIG/MAG oraz innowacyjnymi metodami niskoenergetycznymi CMT/ColdArc**

- Metody o niskiej energii łuku są korzystniejsze w aspekcie ochrony środowiska pracy przy zastosowaniu ich do łączenia cienkich materiałów.
- Wielkość emisji pyłu jest przy metodach CMT/ColdArc nawet kilkukrotnie mniejsza w porównaniu do konwencjonalnych metod spawania łukowego w osłonie gazów.
- Korzystnie kształtuje się wpływ metod niskoenergetycznych na ograniczenie zawartości w pyłe Cr(VI).
- Przy spawaniu stali austenitycznej zawartość niklu w pyłe przy metodach niskoenergetycznych jest wyższa w porównaniu z metodami tradycyjnymi MIG/MAG.

## 2. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń chemicznych i pyłowych przy lutowaniu stali z powłokami ochronnymi



➤ Przy projektowaniu technologii lutowania blach stalowych z powłokami ochronnymi należy uwzględnić wpływ warunków materiałowych i parametrów technologicznych na wielkość emisji pyłu całkowitego i emisji gazów oraz skład chemiczny pyłu.

➤ Wybrana metoda lutowania wpływa na wielkość emisji zanieczyszczeń do środowiska pracy

W aspekcie poprawy warunków pracy przy lutowaniu cienkich materiałów stalowych z powłokami antykorozyjnymi metoda CMT jest metodą lutowania zdecydowanie korzystniejszą. Przy lutowaniu metodą CMT (Cold Metal Transfer) wielkość emisji pyłu,  $\text{NO}_x$  i CO jest mniejsza w porównaniu do wielkości emisji zanieczyszczeń przy metodzie ColdArc.

➤ Ważnym czynnikiem wpływającym na emisję pyłu i emisję gazów jest rodzaj powłoki ochronnej. Największa emisja pyłu występuje przy procesie lutowania blach stalowych z powłoką ze stopu cynku i żelaza – powłoką typu ZF. Powłoka cynkowa charakteryzuje się niższymi wartościami emisji przy tych samych warunkach prądowo-napięciowych procesu i tych samych metodach lutowania.

➤ Na wielkość emisji pyłu, tlenków azotu i tlenku węgla wpływa grubość powłoki antykorozyjnej, jest to zależność wprost proporcjonalna. Przy większej grubości powłoki emisja zanieczyszczeń wzrasta.

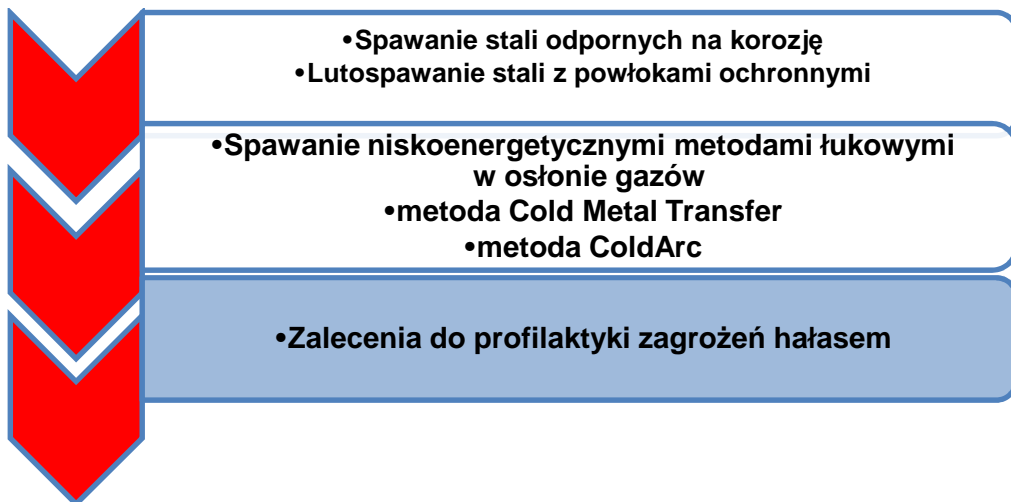
➤ Przy analizie wpływu powłoki ochronnej na stan środowiska pracy należy uwzględnić wpływ rodzaju powłoki antykorozyjnej na skład chemiczny pyłu powstającego przy procesach lutowania. Powłoki ze stopu cynk-żelazo (ZF) powodują większą zawartość cynku w pyłach w porównaniu do powłok typu Z (z czystego cynku).

- Zawartość cynku w pyłach kształtuje się na poziomie 42-43% przy łączeniu blach z powłoką typu ZF i 37-38% przy łączeniu blach z powłoką typu Z. Na zawartość cynku w pyłach wpływa również grubość powłoki ochronnej.

➤ Przy projektowaniu technologii lutowania i warunków środowiska pracy należy pamiętać, że na skład chemiczny pyłu przy lutowaniu wpływa skład drutu elektrodowego, rodzaj i grubość powłoki ochronnej, w znikomym procencie skład chemiczny materiału rodzimego.

➤ Na wielkość emisji pyłu i gazów przy lutowaniu blach stalowych z powłokami wpływa właściwy dobór parametrów prądowo-napięciowych procesu. Przy wyższych natężeniach prądu występuje wyższa emisja pyłu całkowitego, tlenków azotu i tlenku węgla.

### 3. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń fizycznych przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutospawaniu stali z powłokami ochronnymi



➤ Procesy spawania i procesy pokrewne zawsze związane są z występowaniem czynnika zagrażającego bezpieczeństwu pracy jakim jest hałas słyszalny. Walka z hałasem w środowisku pracy przy wytwarzaniu konstrukcji i wyrobów spawanych obejmuje kompleksową analizę stosowanych metod spajania i warunków technologicznych oraz korzystanie z możliwości modyfikacji procesów w aspekcie ograniczenia natężenia dźwięku.

➤ Spawanie metodami niskoenergetycznymi stali odpornych na korozję oraz lutospawanie stali z powłokami ochronnymi należy do grupy procesów charakteryzujących się wysokim poziomem równoważnym dźwięku A.

➤ W aspekcie ograniczenia hałasu przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutospawaniu stali z powłokami korzystne jest zastosowanie metod Cold Metal Transfer (CMT) jako metody charakteryzującej się niższymi wartościami poziomu dźwięku w porównaniu do metody ColdArc.

➤ Przy określaniu ryzyka dla środowiska pracy należy uwzględnić wpływ warunków technologicznych spawania metodami niskoenergetycznymi stali nierdzewnych na poziom natężenia dźwięku;

- wzrost natężenia prądu, napięcia łuku, prędkości podawania drutu i prędkości spawania powoduje wyższy poziom dźwięku. Prawidłowość ta utrzymuje się dla wszystkich gatunków stali nierdzewnych i dla metody CMT i ColdArc.

- Bardzo ważnym czynnikiem umożliwiającym redukcję hałasu przy procesie spawania metodami CMT i ColdArc jest właściwy dobór gazu osłonowego;
- najniższy poziom dźwięku przy spawaniu stali austenitycznej wyznaczono dla mieszanki 97,5% Ar+2,5% CO<sub>2</sub>,
  - przy spawaniu stali chromowej ferrytycznej najniższy poziom dźwięku występuje przy mieszance gazowej 82% Ar+18% CO<sub>2</sub>.
  - przy zastosowaniu na osłonę łuku argonu i mieszanki 98% Ar+2% O<sub>2</sub> wykazano najwyższy poziom równoważnego natężenia dźwięku A.

- Przy lutowaniu blach stalowych z powłokami rodzaj powłoki antykorozyjnej i jej grubość wpływa na poziom dźwięku;
- przy takich samych parametrach technologicznych dla powłoki typu Z (powłoka cynkowa) poziom natężenia dźwięku jest niższy niż przy lutowaniu blach z powłokami typu ZF (powłoka cynk + żelazo),
  - wyższe poziomy natężenia dźwięku występują przy grubszych warstwach powłoki antykorozyjnej.

- Przy lutowaniu blach z powłokami metodami CMT i ColdArc wzrost natężenia prądu, prędkości lutowania i prędkości podawania drutu powoduje wzrost poziomu natężenia dźwięku.

**Porównanie poziomu natężenia dźwięku przy spawaniu/lutowaniu różnych materiałów konstrukcyjnych tradycyjnymi metodami MIG/MAG i TIG oraz innowacyjnymi metodami niskoenergetycznymi CMT/ColdArc**

- Przy spawaniu stali metodami łukowymi (MAG, CMT, ColdArc i TIG) najniższe poziomy dźwięku charakteryzują metodę TIG (spawanie łukowe elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego).
- Zastosowanie metody CMT do spawania stali nierdzewnych, stopów aluminium i lutowania stali z powłokami pozwala na ograniczenie poziomu hałasu.
- Przy stosowaniu do łączenia stali niestopowych i niskostopowych tradycyjnych metod spawania MIG/MAG oraz przy metodach niskoenergetycznych poziom natężenia dźwięku jest porównywalny.

#### 4. Zalecenia do profilaktyki zagrożeń fizycznych przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutowaniu stali z powłokami ochronnymi



- Spawanie stali odpornych na korozję
- Lutowanie stali z powłokami ochronnymi

- Spawanie niskoenergetycznymi metodami łukowymi w osłonie gazów
  - metoda Cold Metal Transfer
  - metoda ColdArc

- Zalecenia do profilaktyki zagrożeń promieniowaniem nadfioletowym, światłem niebieskim i promieniowaniem podczerwonym

➤ Przy projektowaniu technologii spawania stali odpornych na korozję metodami niskoenergetycznymi należy uwzględnić wpływ parametrów prądowo-napięciowych procesu na natężenie napromienienia promieniowania nadfioletowego i podczerwonego oraz luminancję energetyczną światła niebieskiego.

- wraz ze wzrostem natężenia prądu spawania i napięcia łuku rośnie poziom natężenia napromienienia promieniowania nadfioletowego i podczerwonego oraz poziom luminancji energetycznej światła niebieskiego.

➤ Natężenie napromienienia promieniowania nadfioletowego i podczerwonego oraz luminancja energetyczna światła niebieskiego przy spawaniu stali nierdzewnych metodami CMT, ColdArc zależy od rodzaju gazu osłonowego, rodzaju spawanej blachy oraz wybranej metody spawania.

➤ Przy doborze parametrów technologicznych dla lutowania blach stalowych z powłokami ochronnymi należy uwzględnić fakt, że przy wyższych parametrach prądowo-napięciowych procesu następuje wzrost natężenia napromienienia promieniowania nadfioletowego i podczerwonego oraz wzrost poziomu luminancji energetycznej światła niebieskiego.

➤ Przy projektowaniu technologii lutowania i warunków środowiska pracy należy pamiętać, że zauważalna jest tendencja, że przy blachach z powłokami cynkowymi natężenie napromienienia UV i IR oraz luminancja energetyczna światła niebieskiego są niższe niż przy powłokach ze stopu cynk + żelazo.

- Z badanych metod spawania niskoenergetycznego największe zagrożenie promieniowaniem nadfioletowym wystąpiło przy stosowaniu metody CMT.
- Największe zagrożenie światłem niebieskim przy spawaniu stali odpornych na korozję wystąpiło przy metodzie ColdArc.
- Natężenie napromienienia promieniowania podczerwonego przyjmuje najwyższe wartości przy spawaniu stali nierdzewnych metodą CMT i tradycyjną metodą MIG/MAG.
- Proces lutowania blach stalowych z powłokami charakteryzuje się mniejszym zagrożeniem środowiska pracy promieniowaniem nadfioletowym, światłem niebieskim i promieniowaniem podczerwonym w porównaniu do procesu spawania.
- Przy spawaniu stali odpornych na korozję i lutowaniu blach stalowych z powłokami promieniowanie nadfioletowe oraz światło niebieskie stanowią poważne zagrożenie dla oczu i skóry pracowników.



## 8. NORMY I ROZPORZĄDZENIA

W profilaktyce zagrożeń zdrowia i bezpieczeństwa pracy przy spawaniu i lutowaniu łukowym metodami niskoenergetycznymi niezwykle ważną rolę pełnią normy i rozporządzenia.

<b>EMISJA PYŁU I GAZÓW</b>	
PN-EN ISO 15011-1:2010	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Metoda laboratoryjna pobierania próbek dymu i gazów - Część 1: Określanie wielkości emisji dymu podczas spawania łukowego i pobieranie dymu do analizy
PN-EN ISO 15011-2:2010	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Metoda laboratoryjna pobierania próbek dymu i gazów - Część 2: Określanie wielkości emisji tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO <sub>2</sub> ), tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO <sub>2</sub> ) podczas spawania łukowego, cięcia i żłobienia
PN-EN ISO 15011-3:2010	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Metoda laboratoryjna pobierania próbek dymu i gazów - Część 3: Określanie wielkości emisji ozonu podczas spawania łukowego
PN-EN ISO 15011-4:2008	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Metoda laboratoryjna pobierania próbek pyłu i gazów - Część 4: Karty charakterystyki pyłu
PN-EN ISO 15012-1:2009	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Wymagania, badanie i znakowanie sprzętu do oczyszczania powietrza - Część 1: Badanie skuteczności oddzielania pyłu spawalniczego
PN-EN ISO 15012-2:2009	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Wymagania, badanie i znakowanie sprzętu do oczyszczania powietrza - Część 2: Określanie minimalnego strumienia objętości powietrza okapów wyciągowych i końcówek wylotowych
PN-EN ISO 17652-4:2008	Spawanie - Badanie powłok ochronnych w odniesieniu do spawania i procesów pokrewnych - Część 4: Emisja pyłów i gazów
PN-EN ISO 10882-1:2004	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu i gazów w strefie oddychania spawacza - Część 1: Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu
PN-EN ISO 10882-2:2005	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu i gazów w strefie oddychania spawacza - Część 2: Pobieranie próbek gazów
PN-EN 136:2001	Sprzęt ochrony układu oddechowego. Maski. Wymagania, badanie, znakowanie
PN-EN 140:2001	Sprzęt ochrony układu oddechowego. Półmaski i ćwierćmaski. Wymagania, badanie, znakowanie

<b>HAŁAS</b>	
PN-N-01307:1994	Hałas - Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy - Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów
PN-EN 352-1:2005	Ochronniki słuchu. Wymagania ogólne. Część 1: Nauszniki przeciwhałasowe
PN-EN 352-2:2005	Ochronniki słuchu. Wymagania ogólne. Część 2: Wkładki przeciwhałasowe.
<b>PROMIENIOWANIE OPTYCZNE</b>	
PN-EN 14255-1:2010	Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne - Część 1: Promieniowanie nadfioletowe emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy
PN-EN 14255-2:2010	Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne - Część 2: Promieniowanie widzialne i podczerwone emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy
PN-EN 166:2005	Ochrona indywidualna oczu. Wymagania
PN-EN 169:2005	Ochrona indywidualna oczu - Filtry spawalnicze i filtry dla technik pokrewnych - Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie
PN-EN 379+A1:2010	Ochrona indywidualna oczu - Automatyczne filtry spawalnicze
PN-EN 170:2005	Ochrona indywidualna oczu - Filtry chroniące przed nadfioletem - Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie
PN-EN 175:1999	Ochrona indywidualna. Środki ochrony oczu i twarzy stosowane podczas spawania i w procesach pokrewnych
PN-EN 1598:2011	Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych - Przezroczyste zasłony spawalnicze, taśmy i ekrany do procesów spawania łukowego
<b>POLE ELEKTROMAGNETYCZNE</b>	
PN-EN 50444:2010	Norma podstawowa dotycząca oceny ekspozycji człowieka w polach elektromagnetycznych pochodzących od sprzętu do spawania łukowego i procesów pokrewnych
PN-EN 50445:2010	Norma grupy wyrobów do wykazania zgodności sprzętu do zgrzewania rezystancyjnego, spawania łukowego i procesów pokrewnych z podstawowymi ograniczeniami dotyczącymi ekspozycji człowieka w polach elektromagnetycznych (0 Hz - 300 GHz)
<b>ODZIEŻ OCHRONNA</b>	
PN-EN 340:2006	Odzież ochronna. Wymagania ogólne
PN-EN ISO 11611:2009	Odzież ochronna do stosowania podczas spawania i w procesach pokrewnych

Do najważniejszych aktów prawnych zaliczyć można:

- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 9 lipca 1996 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 86, poz. 394 z 1996 r.)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 grudnia 2002 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 21, poz. 180 z 2003 r.)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 września 1996r. w sprawie czynników rakotwórczych w środowisku pracy oraz nadzoru nad stanem zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (Dz. U. nr 121, poz. 571 z 1996 r.)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 6 stycznia 2003 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie czynników rakotwórczych w środowisku pracy oraz nadzoru nad stanem zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (Dz. U. nr 36, poz. 314 z 2003 r.)
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 217, poz. 1833 z 2002 r.)
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 10 października 2005 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 212, poz. 1769 z 2005 r.)
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 sierpnia 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 161, poz. 1142 z 2007 r.)
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 czerwca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 105, poz. 873 z 2009 r.)
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 141, poz. 950 z 2010 r.)
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 grudnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 274, poz. 1621 z 2011 r.)

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 kwietnia 2000 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach spawalniczych (Dz. U. nr 40, poz. 470 z 2000 r.)
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych (Dz. U. nr 105, poz. 869 z 2009 r.)
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (Dz. U. nr 100, poz. 643 z 2010 r.)
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz. U. nr 157, poz. 1318 z 2005 r.)

## 9. LITERATURA

1. Heile R.F., Hill D.C.: Particulate fume generation in arc welding processes, *Welding Journal*, t. 54 nr 7, 1975, s. 201-210
2. Gray C.N., Hewitt P.J., Dare P.R.: New approach would help control welding fumes at source (MIG, MAG), part 2: MIG fumes, *Welding and Metal Fabrication* nr 11, 1982, s. 393-397
3. Dennis J., Hewitt P., Redding C., Workman D.: A model for prediction of fume formation rate in gas metal arc welding (GMAW), globular and spray models, DC electrode positive, *Annals of Occupational Hygiene* t.45, nr 2, 2001, s. 105-113
4. Quimby B., Ulrich G.: Fume formation rates in gas metal arc welding. *Welding Journal, Welding Research Supplement* nr 4, 1999, s. 142-149
5. Matczak W., Gromiec J.P.: *Zasady oceny narażenia spawaczy na dymy i gazy*, wyd. Instytut Medycyny Pracy im. J.Nofera, Łódź 2003
6. Voitkevich V.: *Welding Fumes. Formation, properties and biological effects*, Abington Publishing, Cambridge 1995
7. Matusiak J.: Zagrożenia zdrowia spawaczy podczas spawania stali nierdzewnych, *Przegląd Spawalnictwa* nr3/2008, s.3-9
8. Matusiak J.: Spawanie bezpieczne ale efektywne. *Magazyn przemysłowy MM* 11/2008
9. Matusiak J., Wyciślik J.: Zdrowie i bezpieczeństwo przy produkcji spawalniczej. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* nr 3/2009
10. Matusiak J.: Spawanie stali nierdzewnych a zdrowie spawaczy. *ATEST. Ochrona Pracy* nr 11-12/2010
11. Matusiak J. Wpływ warunków technologicznych spawania stali nierdzewnych na toksyczność pyłu. *Praca doktorska Politechnika śląska*, 2007,
12. Matusiak J., Wyciślik A.: Spawanie stali nierdzewnych w aspekcie zagrożeń zdrowia i bezpieczeństwa pracy spawaczy. *Hutnik. Wiadomości hutnicze*.10/2007
13. Redding C.: Fume model for gas metal arc welding, *Welding Journal, Welding Research Supplement* nr 6, 2002, s. 95-103
14. Jenkins N.T., Pierce W., Eager T.W.: Particle size distribution of gas metal and flux cored arc welding fumes, *Welding Journal, Welding Research Supplement* nr 10, 2005, s. 156-163
15. Jenkins N.T., Eager T.W.: Chemical analysis of welding fume particles, *Welding Journal, Welding Research Supplement* nr 7, 2005, s. 87-93
16. Pires I., Quintino L., Miranda R.M., Gomes J.F.P.: Control of gaseous emissions in arc welding, *EUROJOIN 6 – 16as Jornadas Tecnicas de Soldadura*, Santiago de Compostela, 2006, s. 323-328
17. Moreton J., Stiller K.R.: Fume emission characteristics of stainless steel MIG.MAG welding. *IIW Doc. VIII-1458-89*
18. Jordan D.: *Stainless steels and welding fume*. Opracowanie Nickel Institute, UK 2005
19. Matusiak J., Rams B., Machaczek S.: Emisja zanieczyszczeń pyłowych i gazowych przy procesach spawania i lutowania, *Katalog charakterystyk materiałów spawalniczych pod względem emisji zanieczyszczeń*, wyd. WAM - Instytut Spawalnictwa 2004
20. Matusiak J. i in.: Badanie możliwości ograniczenia emisji substancji chemicznych i pyłów przy procesach spawania i lutowania przez modyfikację warunków technologicznych i optymalizację składu i rodzaju materiałów dodatkowych, *Praca badawcza w ramach Programu Wieloletniego pn. „Dostosowanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”*, nr I-3.03/2002-04
21. Matusiak J., Rams B.: Emission of dust and gases in tubular cored wire welding of steel, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* t. 9, nr 3, 2003, s. 333-350

22. Smars E., Sipek L.: Ozone in arc welding, IIW Doc. VIII 1485-89
23. Balchin N.C.: Health and safety in welding and allied processes, Abington Publishing 1991
24. Hewitt P.: Occupational health in metal arc welding, *Welding in the World*, t. 43, nr 5, 1999, s. 12-19, (IIW Doc. VIII-1816-97)
25. Watson G.: Welding fume. Assessment and control of fume and ozone during welding, *Welding & Metal Fabrication* t. 68, nr 1, 2000, s.10-11
26. Hannu T., Piipari R., Kasurinen H.: Occupational asthma due to manual metal arc welding of special stainless steels, *European Respiratory Journal* nr 26, 2005, s. 736-739
27. International Agency for Research on Cancer: Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, Vol. 49. Chromium, Nickel and Welding, France, Lyon, 1987-2002
28. Spiegel-Ciobanu V.E.: Beurteilung partikelformiger Stoffe in der Schweisstechnik, *Schweissen & Schneiden*, t. 51, nr 4, 1999, s. 212-215
29. Yamada H.:Respiratory protective devices used for arc welding, IIW Doc.VIII-1983-04
30. McMillan G.: Current concerns for health of welders, EUROJOIN 6 – 16as Jornadas Tecnicas de Soldadura, Santiago de Compostela, 2006, s. 317-322
31. McMillan G.: Burning questions in risk assessment of manganese in welding fume. EUROJOIN 6 – 16as Jornadas Tecnicas de Soldadura, Santiago de Compostela, 2006, s. 619-621
32. Matczak W.: Ocena narażenia spawaczy na zanieczyszczenia wydzielające się w procesach spawania. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* nr 5, 1998, s.54-64
33. Spiegel-Ciobanu V.E.: Chromium and nickel in welding and allied processes-some important aspects, IIW Doc. VIII 1799-97
34. Cunat P.J.: Chromium in stainless steel welding fumes, IIW Doc.VIII-1973-03
35. McMillan G.: Lung cancer and electric arc welding, IIW Doc.1988-05
36. Marini F.: Does welding stainless steel cause cancer? IIW Doc. VIII 1767-95
37. Sjogern B.: Exposure to stainless steel welding fumes and lung cancer, IIW Doc. VIII 1748-94
38. Wytyczne szacowania ryzyka zdrowotnego dla czynników rakotwórczych, wyd. Instytut Medycyny Pracy w Łodzi, Zeszyt 10, 2000
39. McMillan G.: Control of fume arising from electric arc welding of stainless steels, IIW Doc. VIII 1927-01
40. Fiore S.: Reducing exposure to hexavalent chromium in welding fumes, *Welding Journal* nr 8, 2006, s. 38-42
41. Ravert E.: Controlling chromium fumes, *Welding Journal* nr 11, 2006, s. 24-27
42. Baune E., Bonnet C.: Stainless steel welding consumables leading to low fume emission rate and increased safety, IIW Doc. IX-2196-06
43. Matusiak J., Rams B.: Studium zagadnień identyfikacji substancji kancerogennych występujących w zanieczyszczeniach emitowanych z procesów spawalniczych, Praca badawcza Instytut Spawalnictwa, Ma-29/2001
44. Matusiak J., Rams B.: Badanie wpływu warunków spawania wysokostopowych stali nierdzewnych na zawartość substancji kancerogennych w pyłach, Praca badawcza Instytut Spawalnictwa, Bb-96/2003
45. Matusiak J., Rams B.: Badania zawartości substancji kancerogennych w pyłach przy spawaniu elektrodami otulonymi i cięciu plazmowym wysokostopowych stali nierdzewnych, Praca badawcza Instytut Spawalnictwa, Da-100/2004
46. Matusiak J.: Wpływ warunków materiałowych i technologicznych na emisję zanieczyszczeń przy spawaniu wysokostopowych stali nierdzewnych. *Przegląd Spawalnictwa* nr 8/2008,s.3-11

47. Koradecka D. (red.): Bezpieczeństwo pracy i ergonomia, t.1, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1999
48. Matusiak J.: Hałas przy procesach cięcia i spawania metali. Seminarium Instytut Spawalnictwa 2003
49. Indulski J. (red.): Higiena pracy, t.2, Instytut Medycyny Pracy im. J. Nofera, Łódź 1999
50. Uzarczyk A., Zabiegała W.: Charakterystyka czynników szkodliwych i niebezpiecznych w środowisku pracy – Hałas, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk 1998
51. Matusiak J. „Badanie poziomu hałasu słyszalnego występującego przy procesach spawania i cięcia metali“, praca badawcza IS Ma-29/2001.
52. Wolska A., Pawlak A.: Ocena zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym na wybranych stanowiskach pracy, Bezpieczeństwo Pracy 12/2002
53. Łastowiecka-Moras E., Bugajska J.: promieniowanie nadfioletowe - zasady zapobiegania negatywnym skutkom zdrowotnym. Bezpieczeństwo Pracy 11/2008
54. Himmelbauer K.: The CMT process – a revolution in welding technology. IIW Doc. XII-1875-05.
55. CMT: Cold Metal Transfer – materiały firmy Fronius.
56. Bruckner J.: Potential areas of use for the CMT process, notably in joining steel to aluminium. IIW Doc. XII-1846-05.
57. Bruckner J.: Cold metal transfer has a future joining steel to aluminum. Welding Journal, [www.aws.org/wj/2005/06/038](http://www.aws.org/wj/2005/06/038),
58. Goecke S. F.: Low Energy Arc Joining Process for Materials Sensitive to Heat., publikacja firmy EWM Hightec Welding,
59. Matusiak J., Pfeifer T., Lehrich W.: Badania wpływu warunków materiałowo-technologicznych nowych procesów spawania MIG/MAG o małej energii łuku na emisję zanieczyszczeń przy spawaniu materiałów wrażliwych na ciepło. Praca badawcza Instytutu Spawalnictwa, 2007,
60. Matusiak J., Czwońóg B., Pfeifer T.: Nowe procesy spawania MIG/MAG o małej energii łuku w aspekcie ograniczania emisji zanieczyszczeń. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 5/2007.
61. Matusiak J., Czwońóg B.: Niskoenergetyczne procesy spawania łukowe w osłonie gazów do łączenia cienkich blach stalowych. Hutnik. Wiadomości hutnicze.3/2008
62. Matusiak J., Pfeifer T.: Niskoenergetyczne metody spawania łukowego w osłonie gazów-wpływ warunków materiałowo-technologicznych na jakość złączy i emisję zanieczyszczeń do środowiska pracy. Biuletyn IS nr 5/2008
63. Poradnik inżyniera. Spawalnictwo. Turyk E., Czwońóg B.: Lutospawanie metodą MIG/MAG. WNT 2005,
64. Stenbacka N., Persson K.: Shielding gases for gas metal arc welding, Welding Journal nr 11, 1989, s. 41-47
65. Smolec B., Knapik P.: Metoda opracowana na podstawie *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza*, tom 62, nr 3 2010.
66. Węgrzyn J.: Fizyka i metalurgia spawania, wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 1990
67. Ferenc K., Ferenc J.: Spawalnicze gazy osłonowe i palne, WNT, Warszawa 2005
68. Pierózek B., Lassociński J.: Spawanie łukowe stali w osłonach gazowych, WNT, Warszawa 1987