

Wanda Matczak
Magdalena Przybylska-Stanisławska

OZNACZANIE DYMÓW I ICH SKŁADNIKÓW POWSTAJĄCYCH PODCZAS SPAWANIA DRUTAMI PROSZKOWYMI*

DETERMINATION OF FUMES AND THEIR ELEMENTS FROM FLUX CORED ARC WELDING

Z Zakładu Zagrożeń Chemicznych
Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

STRESZCZENIE

Wstęp. Celem pracy było oznaczenie poziomów stężeń i badanie składu dymów powstających podczas spawania drutami proszkowymi, potrzebnych do oceny narażenia spawaczy. **Materiał i metody.** W sześciu zakładach (stoczniach, zakładach mechanicznych i elektrowni) wykonano oznaczenia dymów spawalniczych i ich składników, takich jak: żelazo, mangan, chrom (w tym chrom rozpuszczalny i chrom VI wartościowy), nikiel, miedź, wapń, glin, bar, fluorki i fluorowodor, występujących w powietrzu na stanowiskach spawania drutami proszkowymi (10 rodzajów drutu). Do oznaczania stosowano metodę: grawimetryczną (dymy), absorpcyjnej spektrometrii atomowej (metale), spektrofotometriczną (chrom VI, fluorki i fluorowodor). **Wyniki.** W wyniku przeprowadzonych badań określono zależności pomiędzy stężeniem dymu i zawartych w nim składników oraz dokonano oceny narażenia pracowników. Stężenia średnie ważone dymu i jego składników w strefie oddychania pracowników wynosiły, w mg/m³: pył 0,2–24,3; Fe 0,2–6,7; Mn 0,01–1,8; Cr 0,004–0,5 (głównie Cr III); Ca 0,004–2,5; Ni ≤ 0,004; Cu < 0,002–0,05; Al < 0,14–0,4; Ba < 0,14; F- 0,07–0,43. **Wnioski.** Spawacze stosujący niektóre rodzaje drutów proszkowych pracowali w warunkach szkodliwych dla zdrowia, ze względu na znaczne przekroczenia normatywów higienicznych dymu i manganu oraz sporadyczne i niewielkie przekroczenia – wapnia i żelaza. Med. Pr. 2004; 55 (6): 481–489

SŁOWA KLUCZOWE: dymy spawalnicze, spawanie drutem proszkowym, oznaczanie składników, ocena ekspozycji

ABSTRACT

Background: The aim of this work was to assay the concentration levels and composition of welding fumes, released during flux cored arc welding, to assess exposure of welders. **Materials and Methods:** Concentrations and welding fume components, such as iron, manganese, chromium (including the soluble and chromium VI), nickel, copper, calcium, aluminium, barium, and fluorides (including hydrogen fluoride) were determined in the air of six industrial plants (shipyards, mechanical engineering plants and a power station) at the breathing zones of the welders who used 10 types of wires during flux cored arc welding. The following determination methods were used: gravimetry (fumes), AAS (metals), and spectrophotometry (chromium VI, fluorides – including hydrogen fluoride). **Results:** The results made it possible to determine the relationship between concentrations of welding fume and its elements, and to assess worker's exposure. Time weighted average concentrations of the welding fumes and its elements at the worker's breathing zone were: mg/m³: dust 0.2–24.3; Fe 0.2–6.7; Mn 0.01–1.8; Cr 0.004–0.5 (mainly Cr III); Ca 0.004–2.5; Ni ≤ 0.004; Cu < 0.002–0.05; Al < 0.14–0.4; Ba < 0.14; F- 0.07–0.43. **Conclusions:** The welders using some types of flux cored welding wires worked in conditions harmful to their health owing to the considerably exceeded TLV value for fume and MAC values for manganese, and occasional slightly excessive MAC values for calcium and iron. Med Pr 2004; 55 (6): 481–489

KEY WORDS: welding fumes, flux cored arc welding, determination of fume elements, evaluation of exposure

Adres autorów: Św. Teresy 8, 90-950 Łódź, e-mail: wmatczak@imp.lodz.pl
Nadesłano: 19.11.2004
Zatwierdzono: 30.11.2004
© 2004, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

WSTĘP

Spawanie i procesy pokrewne należą do najbardziej rozpowszechnionych technologii stosowanych w obróbce metali i związane są z emisją toksycznych dymów, tj. cząstek stałych (pyłów) i gazów. Skład pyłu zależy od składu elektrod (rdzenia i otuliny), drutów (pełnych i proszkowych), topników, materiału spawanego i obecności na nim powłok ochronnych oraz stosowanej metody i parametrów spawania. Podstawowymi metodami spawania pozostają nadal metody łukowe, jednak wyraźnie zmieniają się proporcje pomiędzy udziałem poszczególnych metod. Przede wszystkim spada zastosowanie spawania ręcznego i zużycie elektrod otulonych (manual metal arc, MMA), natomiast wzrasta spawanie drutem w osłonach gazowych (metal inert gas, MIG/metal active gas, MAG), a zwłaszcza drutami proszkowymi (flux cored arc we-

lding, FCAW). Druty proszkowe mają postać rurki metalowej wypełnionej sproszkowanymi składnikami mineralnymi lub metalowymi, a często mieszaniną tych składników. Spawanie drutem proszkowym może być wykonywane w osłonie gazowej (CO₂, Ar + CO₂, Ar + O₂) lub bez osłony gazowej (druty samoosłonowe). Podczas spawania MIG/MAG drutem litym powstają dymy pochodzące głównie z drutu (metal lub stop metalu), natomiast podczas spawania MMA i FCAW (procesy żużłotwórcze) powstają dymy zawierające znaczny udział składników pochodzących z rozkładu otuliny lub rdzenia proszkowego (1–4).

Celem pracy było określenie poziomów stężeń i ustalenie składu dymów powstających podczas spawania drutami proszkowymi, potrzebnych do oceny narażenia spawaczy.

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 37 spawaczy zatrudnionych w sześciu zakładach: przemysłu stocznioowego (zakład 1 i 4), mechanicz-

* Praca wykonana w ramach zadania finansowanego z dotacji na działalność statutową nr IMP 4.3/2002 pt. „Oznaczanie składników dymów powstających podczas spawania drutami proszkowymi dla potrzeb opracowania zasad oceny narażenia spawaczy”. Kierownik zadania: dr W. Matczak.



Tabela 1. Zestawienie zakładów i materiałów objętych badaniami
Table 1. List of investigated plants and tested materials

Proces Processes			Material Materials												
Nr zakładu Plant No.	spawanie drutem proszkowym Flux cored arc welding	nr drutu Wire No.	rodzaj drutu Wire type	oznaczenie wg Designation by	typ osłony Shield type	skład chemiczny stopiwa Chemical composition of weld metal %									inne: P, S: < 0,015 Other: P, S: < 0,015
						C	Mn	Si	Cr	Al	Mo	Ni	Cu		
1 Stocznia Shipyard	remont statku Ship repair	1	Megafil 713 R	PN-EN 758:2001, T 46 2 PC1/ T 46 4 PM1	80% Ar +20%CO2	0,05	1,3	0,5							
2 Zakład mechaniczny Mechanical engineering facility	napawanie koparek węgla Pad welding of coal excavators	2	CS-400 Ø 2,4 mm	DIN 8555-MF1- GW-45-GP	samoosłonowy Self-shielding	0,35	2	0,15	1,5	1,7	0,2				
		3	DPT-6 Ø 2,4 mm i 3,5 mm												
		4	Lincoln 40 Ø 2,8 mm			0,2	1,5		3,5	1,8	0,4				
		5	DPD 38K DPD 35K DPD 46K			0,24 0,16 0,37	1,70 1,71 1,20	0,70 0,78 0,43	3,95 1,10 5,18					W 2,35; V 0,33 V 0,20 W 2,26, V 0,44	
3 Zakład mechaniczny Mechanical engineering facility	obróbka walców Working of rollers	6	DPA 46K (SP 7)		napawanie pod topnikiem Fluxing agent pad welding	0,36 0,11	1,30 1,05	0,41 0,17	2,70 0,04		0,5	0,05	0,05	W 8,01 V 0,33	
		7	35 HGS5 SP40 G2 S1 H1 Topnik TAsT-6 Flux		0,36 0,35	0,98 MnO 36,6	1,27 SiO2 40,2	1,28 1,24	Al2O3 7		0,14 0,11	0,26	CaO 5,1; CaF2 1,1; FeO 0,65		
4 Stocznia Shipyard	budowa statku Ship construction	1	Megafil 713R Ø 0,2 mm	PN-EN 758:2001, T 46 4 P M1	82% Ar +18%CO2	0,05	1,3	0,5							
		8	Megafil A760B, Ø 1,2 mm	PN-EN 758:2001, T42 4B M3	82% Ar +18%CO2	0,05	1,4	0,4							
5 Zakład mechaniczny Mechanical engineering facility	montaż podwozia autobusów Assembling of bus chassis	9	Elgacore Ø 1,2 mm	AWS E81T1-Ni	80% Ar +20%CO2	0,05	1,35	0,2				0,95			P: 0,1 S: 0,1
6 Elektrownia Power station	regeneracja misy mielącej młyna węglowego Regeneration of coal grinder bowl	10	CN-O (POL) Ø 2,8 mm		samoosłonowy do napawania utwardzających Self-shielding	5,04	0,164	1,21	22,13						P: 0,012 S: 0,002 Nb: 6,9 V: 0,25

PN-EN 758:2001 (5).

nego (zakłady 2, 3 i 5) i elektrowni (zakład 6), wykonujących procesy spawania i napawania stali niskostopowych i stopowych drutami proszkowymi (10 rodzajów drutu). Pobrano 99 próbek indywidualnych całozmianowych do oceny średniego ważonego stężenia dymów spawalniczych i ich składników: żelaza (Fe), manganu (Mn), niklu (Ni), wapnia (Ca), miedzi (Cu), glinu (Al), baru (Ba) i chromu (Cr), Cr VI, Cr rozp. i Cr III rozp. oraz fluorków (F). Materiały i metody spawalnicze przedstawiono w tabeli 1.

Pobieranie próbek powietrza

Indywidualne próbki powietrza pobrano w strefie oddychania pracowników w sposób ciągły, w czasie 6–7 godzin, zgodnie z PN-Z-04008-7:2002 (6). Analogicznie, pobierano próbki do oceny ogólnego tła. Do pobierania próbek stosowano pyłomierz indywidualny (Personal Air Sampler, firmy Casella, AFC-123, Vortex), zbierając pył całkowity i frakcję respirabilną pyłu przy dodatkowym wyposażeniu pyłomierza w cyklon, przy przepływie 1,9–2 l/min, na filtry membranowe z azotanu celulozy (Sartorius 11304, 0,8 µm, 37 mm) oraz z włókna szklanego (Whatman GF/A 37 mm). Pył całkowity i frakcję respirabilną pobierano umieszczając jednocześnie 1–3 filtry po obu stronach twarzy pracownika.

Oznaczanie dymów/pyłów spawalniczych metodą grawimetryczną

Filtry przed i po pobraniu próbek pyłów suszono w temperaturze 105°C, w czasie jednej godziny, następnie chłodzono w eksykatorze (nad CaCl₂) i ważono. Wyznaczono masę pyłu z różnicy masy filtra po i przed pobraniem próbki.

Analiza elementarna składników metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej – AAS

Próbki dymów/pyłów pobrane na filtry membranowe (pojedyncze lub podwójne) mineralizowano na płycie grzejnej w temperaturze około 140°C, przy użyciu stężonego HNO₃, następnie sporządzono 10 ml roztworu próbki w 10% HNO₃, z dodatkiem: La, Cs i NH₄Cl – 1 mg/ml (7). Roztwory próbek zawierających osad sączono przez filtry membranowe Sartorius. Filtry z osadem umieszczano w tyglach platynowych, roztwarzano filtry przy użyciu 2 ml stężonego HNO₃ na płycie grzejnej, a następnie poddawano stapianiu z mieszaniną 0,3 g węglanu sodowego i 0,15 g boranu sodowego i rozpuszczano pozostałość w 10 ml 10% HNO₃ z dodatkiem La, Cs, NH₄Cl – 1 mg/ml (8). W roztworach próbek analizowano następujące metale: Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Ca, Ba i Al, metodą AAS (spektrometr SpectrAA-250, firmy Varian, płomień powietrze-acetylen i podtlenek azotu-acetylen).

Analiza rozpuszczalnych związków chromu

Próbki pyłów pobranych na filtry z włókna szklanego wmywano przy użyciu 0,05 M HNO₃, rozdzielano rozpuszczalne związki chromu na kolumnie wypełnionej żywicą difenylokarbazydową i oznaczano metodą AAS chrom rozpuszczal-

ny bezpośrednio w roztworze próbki po wymywaniu i chrom III rozpuszczalny w roztworze próbki po przepuszczeniu próbki przez kolumnę z żywicą (9).

Analiza związków chromu VI

Z próbek pyłu (pobranych z odciaгу miejscowego na stanowisku pracy w zakładzie 6, drut 10), wmywano związki Cr VI roztworem węglanu sodowego i oznaczano metodą spektrofotometryczną z s-difenylokarbazydem wg PN-87/Z-04126/03 (10).

Analiza związków fluoru metodą spektrofotometryczną

Do pobierania próbek związków fluoru zastosowano układ dwóch filtrów membranowych (Sartorius 11304, Ø porów 0,8 µm, Ø filtra 37 mm), z których pierwszy zatrzymuje stałe związki fluoru (fluorki), a drugi, impregnowany Na₂CO₃, stanowi podkładkę, na której pochłaniane są gazowe związki (fluorowodór), wg NIOSH (11).

Fluorki całkowite (z filtra) po stopnieniu z NaOH rozpuszczano w wodzie. Fluorki rozpuszczalne (z filtra) i fluorowodór (z podkładki) wmywano 0,04 M NaOH. Jon fluorkowy wydzielano z roztworu próbki metodą mikrodyfuzji i oznaczano pośrednią metodą spektrofotometryczną z kompleksem cyrkonu z azobarwnikiem SPADNS (sól sodowa kwasu p-sulfofenyloazochromotropowego) (12).

WYNIKI

Stężenie dymu i jego składników

Wyniki oznaczeń stężeń dymów i ich składników w powietrzu środowiska pracy podczas spawania i napawania drutami proszkowymi przedstawiono w tabeli 2 i na ryc. 1. Najwyższe stężenia dymów występowały na stanowiskach spawania w stocznich (zakład 1 i 4) i zmieniały się od 0,8 do 24,3 mg/m³, wartości średnie w zależności od rodzaju użytych materiałów wynosiły odpowiednio 15,3, 13,6 i 6,5 mg/m³. Niższe stężenia dymów występowały na stanowiskach spawania w zakładach mechanicznych i w elektrowni (zakłady 2, 5 i 6), zakres od 0,2 do 13,1 mg/m³ wartości średnie nie przekraczały 4,4 mg/m³ i najniższe stężenia w jednym z zakładów mechanicznych (zakład 3), zakres od < 0,5 do 1,4 mg/m³. Udział pyłu respirabilnego w ogólnej masie pyłu wynosił około 30 % (zakład 5 i 6). Stężenie dymu i jego składników w ogólnym tle hali było około 3–10 krotnie niższe niż w strefie oddychania spawaczy (zakład 5 i 6).

Wśród składników dymów metale, tj. żelazo, mangan, chrom i wapń występowały w znacznych stężeniach, nikiel i miedź w ilościach śladowych, glin występował sporadycznie, bar nie występował w ilościach oznaczalnych. Wyniki stężeń metali w dymach (tab. 2) i zależność między stężeniem składników a stężeniem dymów wyznaczona na podstawie wszystkich uzyskanych wyników (ryc. 2a) wskazują na stałą obecność w dymach żelaza ($r = 0,95$) i manganu ($r = 0,92$). Występowanie chromu i wapnia w dymach związane jest z rodzajem stosowanych drutów proszkowych (chrom-wyso-



Tabela 2. Stężenia dymu i jego składników na stanowiskach spawania drutami proszkowymi
Table 2. Concentrations of fume and its elements at workplaces of the welders using flux cored welding wires

Nr drutu/ Nr zakładu Wire No./ Plant No.	Ilość próbek/ liczba pracowników No. of samples/ No. of workers	dym Fume	Stężenie Concentrations mg/m ³										HF	F _{resp} F _{soluble}	F _{calc.} F _{total}
			Fe	Mn	Cr	Ni	Ca	Cu	Al	Ba					
1/1	11/6	$\bar{x}$ 15,3 min.-max 4,2–24,3	3,9 1,1–6,7	0,62 0,2–1,2	<0,007	0,005 <0,003–0,01	0,226 0,014–0,9	0,019 <0,003–0,05	<0,28	<0,28					
2/2	16/5	$\bar{x}$ 3,9 min.-max 2,2–8,2	0,7 0,3–1,2	0,11 0,03–0,3	0,020 0,01–0,3	<0,003 0,004	0,475 0,2–0,95	0,003 <0,003–0,006	0,121 <0,28–0,4	0,038 0,02–0,08	0,063 <0,014–0,13	0,31 0,24–0,37			
3/2	10/5	$\bar{x}$ 4,4 min.-max 0,5–13,1	1,1 0,6–1,8	0,12 0,05–0,2	0,135 0,06–0,25	0,004 <0,003–0,006	0,700 0,05–2,5	0,004 0,003–0,006	<0,28	0,025 0,02–0,03	<0,014	0,43 0,25–0,60			
4/2	2/1	$\bar{x}$ 4,0 min.-max 0,6–1,4	1,3 0,1	0,12 0,02	0,047 0,01–0,03	0,004 <0,003	0,146 0,015	0,009 0,003	<0,28	<0,014	0,05				
5/3	15/5	$\bar{x}$ 0,6 min.-max 0,5–1,4	0,1 0,06–0,10	0,02 0,01–0,03	0,007 0,007	<0,003 0,003	<0,007–0,04	<0,002–0,006	<0,28	<0,014–0,024	<0,07				
6/3	3/1	0,7						0,009	<0,014	0,32					
7/3	3/1	0,5	0,1	0,04	<0,007	<0,003	0,018	<0,003	<0,014	<0,07					
8/4	6/2	$\bar{x}$ 13,6 min.-max 0,8–23,3	3,3 0,3–4,9	1,25 0,1–1,8	0,35 0,02–0,5	0,004 0,003–0,005	1,45 <0,007–2,2	0,03 <0,003–0,05	0,17 0,15–0,18						
1/4	4/2	$\bar{x}$ 6,5 min.-max 0,8–11,9	1,5 0,2–2,5	0,55 0,04–0,9	0,003 0,004	0,003 <0,003–0,004	0,05 <0,007–0,1	0,01 0,003–0,02	<0,28	<0,28					
9/5	13/5	$\bar{x}$ 3,2 min.-max 0,7–4,9	0,9 0,2–1,9	0,06 0,02–0,1	0,026 0,01–0,05	0,021 0,008–0,04		0,006 0,003–0,008	<0,014	0,32					
10/6	12/6	$\bar{x}$ 2,3 min.-max <0,5–4,9	0,4 0,22–0,59	0,01 0,005–0,02	0,055 0,014–0,094	0,003 <0,003–0,003		<0,003							
	3/tło Background	$\bar{x}$ 0,8 min.-max 0,5–1,1	0,03 0,03–0,04	<0,007	<0,007	<0,003		<0,003							
	3 r. 3	$\bar{x}$ 0,8 min.-max 0,9–1,9	0,4 0,22–0,53	0,06 0,04–0,09	0,039 0,019–0,07	0,024 0,014–0,041		0,006 0,004–0,007							
	2 r./ 2	$\bar{x}$ 0,9 min.-max 0,5–1,5	0,4 0,02–0,68	0,008 <0,007–0,014	0,052 <0,003–0,003			<0,003							
Normatyw higieniczny Hygienic standard	5*	5	5	0,3	0,05	0,25	2	0,1	1	0,5	0,5	1	1		
Oznaczalność Limit of determination	0,5	0,007	0,007	0,007	0,003	0,003	0,007	0,003	0,28	0,28	0,014	0,014	0,07		

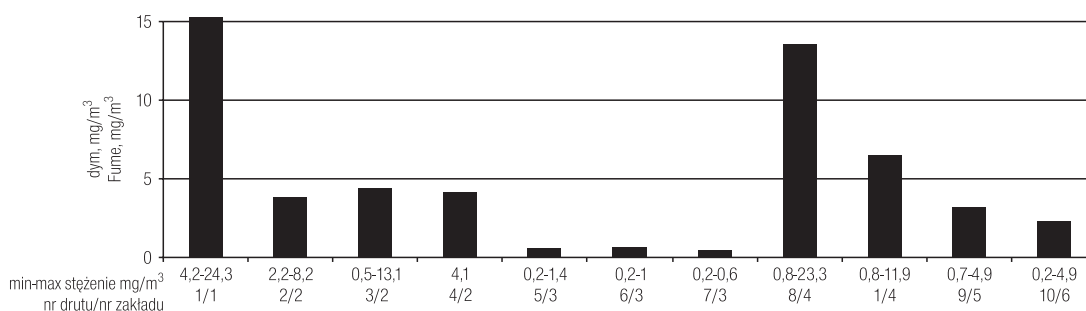
min-max – zakres.
min-max – range.

$\bar{x}$ – średnia arytmetyczna.
 $\bar{x}$ – arithmetic mean.

NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie (13).
MAC – maximum admissible concentration in Poland (13).

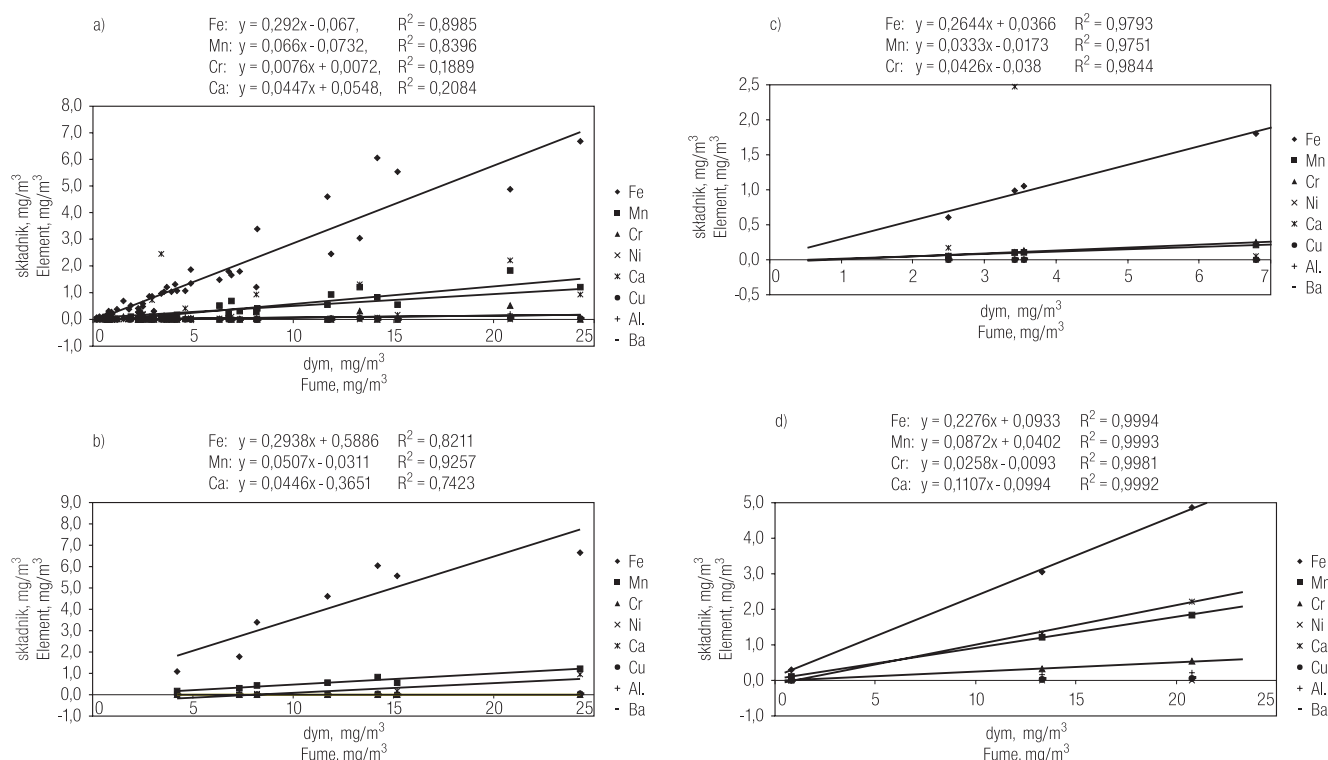
r. – pył respirabilny.
r. – respirable dust.

* TLV threshold limit value according to ACGIH (14).



Ryc. 1. Średnie stężenia dymów na stanowiskach spawania drutami proszkowymi (objaśnienia jak w tabeli 2).

Fig. 1. Mean concentrations of fumes at workplaces of the welders using flux cored welding wires (explanations as in Table 2).



Ryc. 2. Zależność stężenia składników i dymu na stanowiskach spawania drutami proszkowymi: a) wszystkie rodzaje drutów; b) drut nr 1: Megail 713 R/CO₂; c) drut nr 3: DPT-6; d) drut nr 8: Megafil A760B.

Fig. 2. The relationship between the concentrations of welding fume elements and welding fumes at workplaces of welders using flux cored welding wires a) all types of wire; b) wire No 1: Megail 713 R/CO₂; c) wire No 3: DPT-6; d) wire No 8: Megafil A760B.

kostopowych, wapiń-zasadowych), co potwierdzają uzyskane zależności stężeń dymu i jego składników (ryc. 2b-d).

Zawartości procentowe metali w dymach przedstawiono na rycinie 3. Średnie zawartości metali w dymach w zależności od rodzaju stosowanych drutów zmieniały się w następujących zakresach: Fe 10–30%, Mn < 0,1–10%, Cr < 0,1–3%, Ca < 0,1–20 %, Ni i Cu < 1%. W pyłach pobranych z odciągu miejscowego na stanowisku spawania drutem 10 w zakładzie 6 (tab. 3) oznaczono wyższe zawartości procentowe składników, tj. Fe 35%, Mn 3,3%, Cr 11,2% niż w dymach pobranych w strefie oddychania spawaczy: Fe 23–44%, Mn 0,1–0,9%, Cr 0,1–6,8. Natomiast zawartość procentowa składników oznaczanych w nierozpuszczalnej po mineralizacji części

próbek pyłów, w stosunku do oznaczanych w wyniku mineralizacji była niewielka i wynosiła: Fe 2,9%, Mn 0,9%, Cr 4,6%. Do pobierania próbek dymu na stanowisku spawania drutem 10 w zakładzie 6 zastosowano dodatkowo podwójne filtry membranowe (filtr + podkładka) i wykazano, że próbki dymów spawalniczych, przeznaczone do elementarnej analizy składników metodą AAS, należy pobierać na pojedyncze filtry membranowe (na podkładkach oznaczono < 0,1% analizowanych składników).

Chrom występował w pyłach głównie w postaci chromu nierozpuszczalnego (tab. 3). Udział chromu rozpuszczalnego do chromu całkowitego w próbkach dymu wynosił średnio ok. 17%, w tym 75% Cr III (zakład 4, drut 8) oraz ok. 2%,

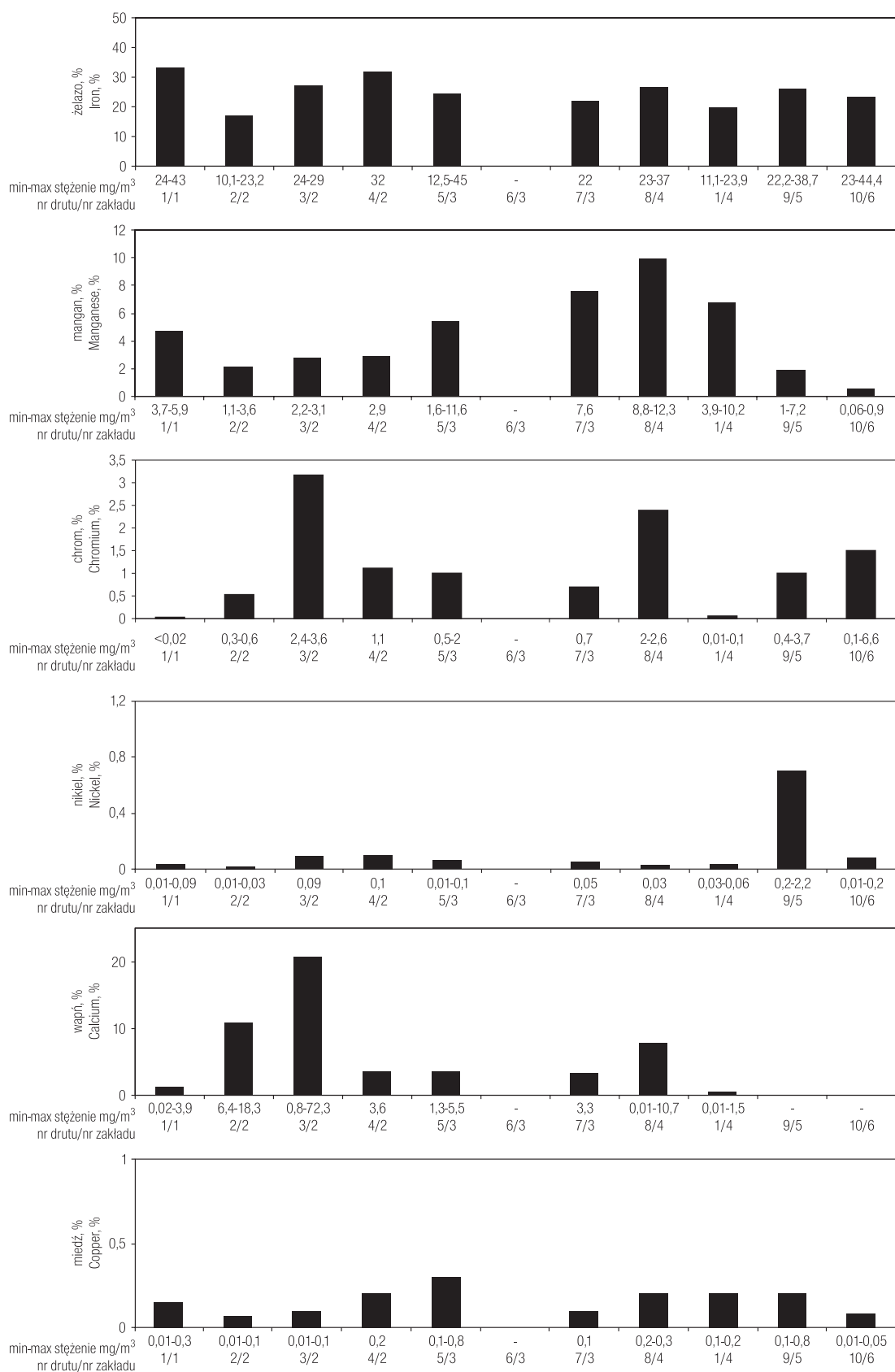




Tabela 3. Procentowe zawartości chromu i innych składników w dymach powstających podczas spawania drutami proszkowymi
Table 3. The percent content of chromium and other elements in fumes from flux cored welding wires

Zawartość składników w pyłe Content of the elements in the dust %																		
Nr drutu/ Nr zakładu Wire No./ Plant No.	Rodzaj pyłu/dymu Dust/fume type	Masa pyłu/dymu Dust/fume mass g	mineralizacja w kwasie azotowym Nitric acid mineralization					rozdział na żywicy dwufenylokarbazydowej Separation on diphenylcarbaside resin		alkaliczne stopianie nierozpuszczalnej pozostałości po mineralizacji Alkaline melting of insoluble mineralisation residue					alkaliczne wycinanie Alkaline washing		względna zawartość związków chromu Relative content of chromium compounds %	
			Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Cr ^{rozp.} Cr ^{soluble}	CrIII ^{rozp.} CrIII ^{soluble}	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Cr VI	C ^{rozp.} Cr ^{soluble}	CrIII ^{rozp.} CrIII ^{soluble}	C ^{rozp.} Cr ^{soluble}
10/6		4	31,80	2,96	11,00	0,08	0,02	0,26	0,17	0,81	0,02	0,45	0,01	<0,01	0,10			
	Pył z odcigu miejscowego Dust from local exhaust	4	35,55	3,12	10,80	0,08	0,02	0,28	0,18	0,62	0,02	0,40	0,01	<0,01	0,09			
4		36,55	3,62	11,55	0,13	0,02	0,20	0,13	1,05	0,03	0,50	0,01	<0,01	0,09				
4		34,55	3,23	11,23	0,08	0,02	0,23	0,17	0,80	0,02	0,45	0,01	0,01	0,10				
4		35,20	3,44	11,48	0,09	0,02	0,23	0,14	1,75	0,05	0,78	0,01	0,01					
$\bar{x}$			34,73	3,27	11,21	0,09	0,02	0,24	0,16	1,04	0,03	0,52	0,01	<0,01	0,096	2,1	65,7	
	Dym Fume	3,5			6,56			0,150	0,126							2,2	86,3	
8/4		1,0			2,2			0,44	0,39							20,1	87,3	
	Dym Fume	2,5						0,31	0,26							14,1	83,9	
		1,1			2,6			0,42	0,28							16,0	68,5	
		1,6						0,41	0,31							15,8	75,6	
		1,3			2,6			0,51	0,32							19,6	62,4	
$\bar{x}$								0,45	0,33							17,1	75,5	

$\bar{x}$ – średnia arytmetyczna.
 $\bar{x}$ – arithmetic mean.



Ryc. 3. Zawartość procentowa składników w dymach na stanowiskach spawania drutami proszkowymi (objaśnienia jak w tabeli 2).

Fig. 3. Percent content of welding fume elements at workplaces of welders using flux cored welding wires (explanations as in Table 2).



w tym 66–86% Cr III (zakład 6, drut 10 w próbkach dymu i pyłu pobranego z odciagu miejscowego).

Maksymalne poziomy stężenie fluorków wynosiły 0,24–0,60 mg/m³ (zakład 2, drut 2 i 3; zakład 3, drut 6), fluorki rozpuszczalne stanowiły niewielki udział fluorków całkowitych: 0,06 mg/m³ (zakład 2, drut 2) i < 0,014 mg/m³ (zakład 2, drut 3), fluorowodor również występował w niskich stężeniach od < 0,014 do 0,18 mg/m³.

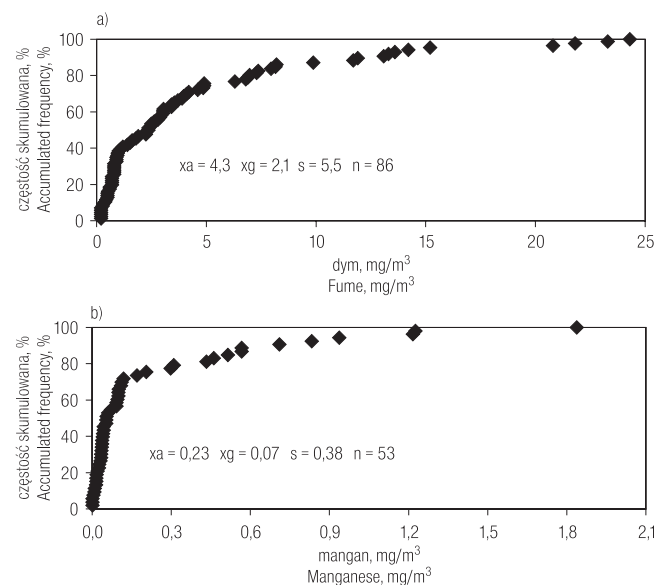
Ocena narażenia spawaczy stosujących druty proszkowe

Narażenie pracowników na dym i jego składniki podczas spawania drutami proszkowymi przedstawiono na rycinach 1 i 4. Około 20% spawaczy pracowało w warunkach szkodliwych, przekraczających (max. kilkakrotnie) wartości zalecanego przez ACGIH (14) normatywu higienicznego dla dymów spawalniczych, 5 mg/m³ i najwyższego dopuszczalnego stężenia manganu 0,3 mg/m³ (13) (ryc. 4a–b). W warunkach szkodliwych pracowali spawacze stosujący druty 1 i 8 w zakładach 1 i 4.

Stężenie wapnia (przy założeniu, że występuje jako tlenek wapnia, chociaż może on występować również jako fluorek wapnia) przekraczało wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS CaO – 2 mg/m³) (zakład 4, drut 8 oraz zakład 2, drut 3).

Stężenie żelaza nieznacznie przekraczało wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS tlenu żelaza 5 mg/m³) (zakład 1, spawanie drutem 1).

Stężenie chromu występujące maksymalnie na poziomie 0,5 mg/m³ (drut 8, zakład 4), stanowi go głównie Cr III nierozpuszczalny, nie przekraczało wartości NDS (Cr III 0,5 mg/m³). Udział chromu VI rozpuszczalnego do chromu całkowitego wynosi około 4%, co odpowiada 0,02 mg/m³ (NDS Cr VI 0,05 mg/m³).



Ryc. 4. Częstość skumulowana stężenia: a) dymu, b) manganu, na stanowiskach spawania drutami proszkowymi.

Fig. 4. Accumulated frequency of concentration for a) fume, b) manganese, at workplaces of welders using flux cored welding wires.

Stężenia pozostałych oznaczanych składników dymów nie przekraczały odpowiadających im wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń na stanowiskach spawania drutami proszkowymi w badanych zakładach.

OMÓWIENIE I WNIOSKI

W wyniku po raz pierwszy w Polsce przeprowadzonych kompleksowych badań oznaczono stężenia dymu i jego składników: żelaza, manganu, chromu, w tym Cr VI, Cr rozpuszczalnego i Cr III rozpuszczalnego, niklu, miedzi, wapnia, glinu, baru oraz fluorków i fluorowodoru na stanowiskach spawania drutami proszkowymi (10 rodzajów drutu w 6 zakładach przemysłowych). I tak:

- średnie ważone stężenia dymów i jego składników w strefie oddychania pracowników wynosiły, w mg/m³: dym 0,5–24,3; żelazo 0,2–6,7; mangan 0,01–1,8; chrom < 0,007–0,5 (w tym Cr rozpuszczalny/Cr 2–17% oraz Cr III rozpuszczalny/Cr rozpuszczalny 68–86 %); wapń < 0,007–2,5; nikiel < 0,003–0,01; miedź < 0,003–0,05; glin < 0,28–0,4; bar < 0,28; fluorki < 0,07–0,60.

- żelazo i mangan stanowią główne składniki wszystkich badanych dymów, występowanie pozostałych składników, np. chromu, wapnia, glinu i niklu uzależnione jest od rodzaju stosowanego do spawania drutu proszkowego.

- średnie zawartości metali w dymach, w zależności od rodzaju stosowanych drutów, zmieniały się w następujących zakresach (w %): żelazo 10–30; wapń < 0,1–20; mangan < 0,1–10; chrom < 0,1–3; nikiel i miedź < 1; glin < oznaczalności – 4,9; bar < oznaczalności tj. < 0,5.

- ocena narażenia pracowników przeprowadzona na podstawie średnich ważonych stężeń dymów wykazała, że spawacze stosujący niektóre druty proszkowe pracowali w warunkach szkodliwych, przekraczających wartości normatywów higienicznych: pyłu i manganu (spawanie drutem 1 i 8, zakład 1 i 4) – przekroczenia maksymalnie kilkakrotnie; wapnia (spawanie drutem 8, zakład 4 i drutem 3, zakład 2) i żelaza (spawanie drutem 1, zakład 1) – przekroczenia niewielkie i sporadyczne; stężenia pozostałych składników dymu nie przekraczały wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń.

PIŚMIENICTWO

1. Matczak W., Gromiec J.P.: Zasady oceny narażenia spawaczy na dymy i gazy. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2003.
2. PN-EN ISO 10882-1,2:2002: 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. Część 2: Pobieranie próbek gazów. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002.
3. Klimpel A.: Spawanie i napawanie drutami proszkowymi, jakość i ekonomiczność. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 2002; 5: 52–58.
4. Matusiak J., Rams B.: Druty proszkowe jako źródło zagrożeń chemicznych w środowisku pracy. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 2001; 5: 61–67.



5. PN-EN 758:2001: Materiały dodatkowe do spawania. Druty proszkowe do spawania łukowego w osłonie i bez osłony gazowej stali niestopowych i drobnoziarnistych. Klasyfikacja. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2001.
6. PN-Z-04008-7:2002: Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza i interpretacji wyników. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002.
7. Matczak W., Chmielnicka J.: Metodyka i ocena narażenia na dymy powstające podczas spawania stali chromowo-niklowych. *Med. Pr.* 1988; 39 (3):175–185.
8. Matczak W.: Glin i jego związki. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 1997; 16: 124–128.
9. Matczak W., Chmielnicka J.: Metoda jednoczesnego oznaczania rozpuszczalnych związków Cr III i Cr VI w powietrzu. *Chem. Anal.* 1989; 34: 431–439.
10. PN-87/Z-04126/03: Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości chromu i jego związków. Oznaczanie chromu sześciowartościowego na stanowiskach pracy metodą kolorymetryczną z alkaliczną ekstrakcją próbki. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warszawa 1987.
11. NIOSH Manual of Analytical Methods. Fluorides aerosol and gas, by IC. Method 7906, Wyd. 4. National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati 1994.
12. Ciosek A., Kęsy-Dąbrowska I.: Oznaczanie związków fluoru w powietrzu. *Med. Pr.* 1972; 23 (6): 585–594.
13. 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. *DzU* 2002, nr 217, poz. 1833.
14. ACGIH Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. Biological Exposure Indices. American Conference Governmental and Industrial Hygiene, Cincinnati 2001.

