

Wybuchowość pyłów metali na przykładzie pyłów

mgr inż. DOROTA KONDEJ
dr EWA GAWĘDA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z niebezpieczeństwem wybuchu pyłów palnych, w szczególności pyłów metali w zakładach, w których pyły takie są emitowane podczas procesów produkcyjnych. Scharakteryzowano pył aluminium, który należy do pyłów bardzo silnie wybuchowych i występuje powszechnie w procesach produkcji okuć budowlanych i drobnych detali metalowych. Opisano także czynniki wpływające na wybuchowość pyłów oraz podano sposoby zapobiegania wybuchom w zakładach przemysłowych.

Explosion of metal dusts exemplified with aluminium dusts

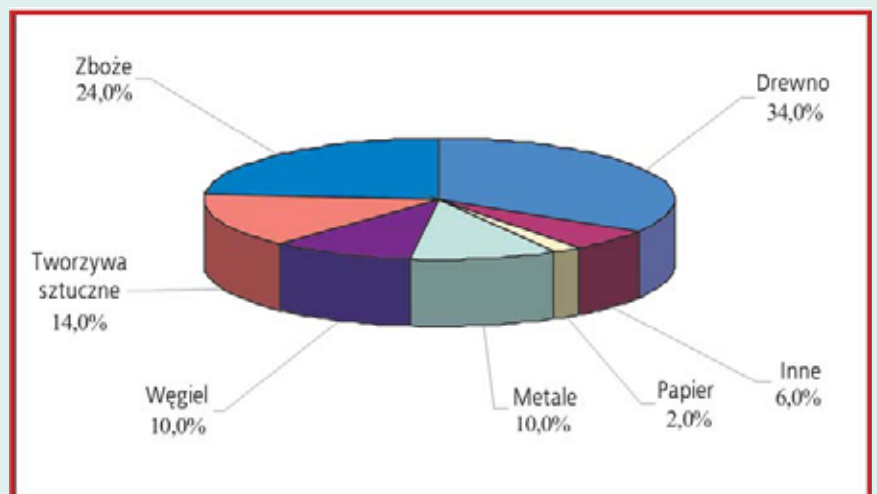
This paper presents issues associated with the explosion hazard of combustible dusts, especially metal ones, in plants in which they are emitted during manufacturing processes. Aluminium dust, which is highly explosive and common in the production of building fittings and metal accessories, is characterized. Factors influencing dust explosion and means for preventing dust explosions in plants are discussed.

Wprowadzenie

Wybuchy pyłów stanowią poważny problem w różnych gałęziach przemysłu. Problem ten dotyczy praktycznie wszystkich zakładów pracy, w których występują pyły palne. Do pyłów palnych zalicza się zarówno pyły pochodzenia organicznego, np. pyły drewna, węgla, produktów żywnościowych (mąki,

cukru) czy pyły środków chemicznych (np. pigmentów organicznych), jak i pyły metali, które w powszechnej opinii uważane są za niepalne. Do palnych pyłów metali należą m.in. [pyły aluminium i pyły magnezu](#) [1].

Najwięcej wybuchów, dotyczy pyłów drewna i pyłów zbożowych – odpowiednio 34% i 24% wszystkich wybuchów (rys. 1.). Z udziałem pyłów węgla ma miejsce 10% wybuchów.



Rys. 1. Rodzaje pyłów biorących udział w wybuchach [1]

Fig. 1. Types of dusts involved in dust explosions [1]

Podobnie jest z pyłami metali, uczestniczą one w co dziesiątym wybuchu pyłów palnych.

Pyły metali, w tym palne pyły metali, są emitowane w procesach technologicznych, przede wszystkim w zakładach przemysłu metalurgicznego, zakładach obróbki metali oraz we wszystkich tych zakładach, w których do produkcji określonych wyrobów stosowane są metale, związki metali oraz stopy metali. Jednym z najważniejszych pyłów, które w określonych warunkach mogą wybuchnąć, jest pył aluminium. Pył ten występuje w wielu zakładach, a w szczególności w zakładach produkujących okucia budowlane i meblowe oraz różnego rodzaju metalowe detale. W produkcji okuć budowlanych i galanterii metalowej głównymi surowcami jest bowiem aluminium i jego stopy (zawartość aluminium w stopach przekracza z reguły 85%, np. popularny stop AK11 zawiera

około 87% aluminium, około 11% krzemu i niewielkie ilości innych metali) oraz w mniejszym zakresie stale (obok żelaza zawierają one miedź, cynk, nikiel, mangan, magnez i in. pierwiastki), żelazo (stopy cynku z aluminium), mosiądże (stopy miedzi i cynku z dodatkiem cyny, ołowiu, żelaza, manganu itd.), mosiądże niklowe, brązy itp. [2, 3]. W procesie wytwarzania okuć budowlanych i drobnych detali metalowych można wyróżnić etapy: odlewania półfabrykatu, obróbki mechanicznej obejmującej m.in. toczenie, szlifowanie i polerowanie, nakładanie powłok malarskich lub galwanicznych oraz montaż gotowych wyrobów z wchodzących w ich skład elementów. Ze względu na specyfikę procesów technologicznych i rodzaje materiałów stosowanych w produkcji różnego rodzaju wyrobów metalowych, na stanowiskach pracy w zakładach je wytwarzających występuje m.in.

ryzyko związane z narażeniem na pyły szkodliwych czynników chemicznych (np. metali, ich związków i stopów), pyły zawierające wolną krystaliczną krzemionkę oraz czynniki fizyczne (w szczególności hałas), a także ryzyko wystąpienia wybuchu pyłów metali, przede wszystkim pyłu aluminium.

Zagrożenie wybuchem

Zagrożenie wybuchem definiuje się jako możliwość tworzenia przez palne gazy, pary palnych cieczy, pyły lub włókna palnych ciał stałych, w różnych warunkach, mieszanin z powietrzem, które pod wpływem czynnika inicjującego zapłon (iskra, łuk elektryczny lub przekroczenie temperatury samozapłonu) wybuchają, czyli ulegają gwałtownemu spalaniu połączonemu ze wzrostem ciśnienia [4].

aluminium



Pyły palne stwarzają zagrożenie wybuchem przez:

- tworzenie się mieszanin pyłowo-powietrznych (obłoku) w wyniku uwolnienia pyłów palnych do powietrza z jakiegokolwiek źródła emisji
- powstanie warstwy pyłu (pył osiadły), która może ulec zapłonowi w wyniku samonaгрzewania lub od gorącej powierzchni, powodując zagrożenie pożarowe lub przegrzewanie urządzeń; zapalony pył osiadły może odgrywać rolę źródła zapłonu do kolejnych wybuchów.

Wybuchy pyłów palnych mogą przebiegać w kilku etapach ze względu na podnoszenie się zalegającego pyłu i tworzenie się kolejnego układu wybuchowego.

Właściwości pyłów palnych

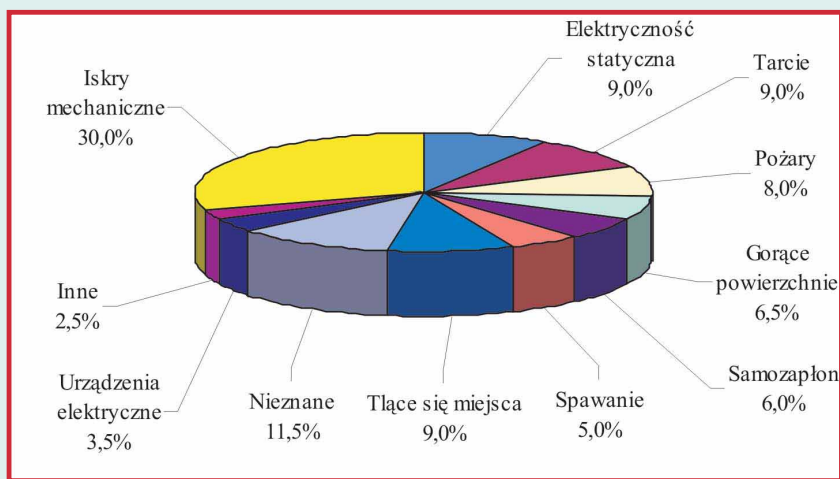
Podstawowymi czynnikami wpływającymi na wybuchowość pyłów palnych są: skład chemiczny cząstek pyłu, wymiar cząstek, zawartość wilgoci, stężenie pyłu i klasa wybuchowości pyłów [1, 5].

Skład chemiczny cząstek pyłu wpływa na jego zdolności wybuchowe. Obecność w budowie chemicznej pewnych grup chemicznych, takich jak COOH, OH, NH₂, NO₂, C≡N, C=N, N=N decyduje o wyższych parametrach wybuchowych (większe ryzyko wybuchu). Pyły czystych metali reagują z powietrzem tworząc tlenki metali. W tym przypadku przyrost ciśnienia wybuchu związany jest z wydzielaniem się ciepła. Aluminium jest jednym z tych metali, które wchodzi z tlenem w silną reakcję egzotermiczną. Wytworzona podczas tej reakcji ilość ciepła wynosi 200100 kcal/kmol i jest dwa razy większa niż np. przy spalaniu węgla.

Wybuchowość pyłów zależy również od rozkładu wymiarowego cząstek. W przypadku pyłów metali (również pyłu aluminium) niebezpieczeństwo wybuchu wzrasta wraz ze zmniejszaniem wymiarów cząstek, co jest związane ze zwiększeniem się powierzchni właściwej. Nawet kilkuprocentowy udział masowy drobnych cząstek w mieszaninie powietrzno-pyłowej znacząco wpływa na wzrost ryzyka wystąpienia wybuchu.

Na wybuchowość pyłów ma również wpływ zawartość wilgoci, chociaż prawdopodobieństwo wystąpienia wybuchu przy zawartości wilgoci powyżej 30% jest znikome. Zawartość wilgoci w pyłe poniżej 10% też nie odgrywa znaczącej roli.

Wybuch pyłów palnych może wystąpić tylko przy określonym stężeniu, tzn. kiedy zawartość składnika palnego w mieszaninie z powietrzem mieści się w zakresie wybuchowości. Minimalne i maksymalne stężenia wybuchowe, przy których zapłon już jest lub jeszcze jest możliwy, są różne dla poszczególnych pyłów palnych. Trzeba jednak pamiętać, że przekroczenie tych granic nie powoduje zniknięcia zagrożenia wybuchem. Stężenie pyłu może w każdej chwili ulec zmianie ze względu na zmianę



Rys. 2. Źródła zapłonu przy wybuchach pyłów [1]

Fig. 2. Ignition sources of dust explosions [1]

warunków lokalnych i znaleźć się w zakresie wybuchowości.

Pyły palne są klasyfikowane pod względem ich wybuchowości. Pyły klasyfikuje się jako niewybuchowe (klasa 0), słabo wybuchowe, np. pyły węgla kamiennego, poliuretanu, mąki (klasa 1.), silnie wybuchowe, np. pyły pigmentów organicznych (klasa 2.) i bardzo silnie wybuchowe, np. pyły aluminium, polietylen (klasa 3.).

W tabeli podano podstawowe właściwości wybuchowe wybranych pyłów palnych.

Źródła zapłonu

Do wystąpienia wybuchu potrzebne są zatem następujące elementy: materiał palny wymieszany z powietrzem, stężenie materiału palnego, które musi mieścić się w określonych granicach oraz źródło zapłonu. W warunkach przemysłowych istnieje wiele źródeł, które mogą zapoczątkować spalanie i wybuch mieszanin pyłowo-powietrznych. Najczęstszymi źródłami zapłonu w przypadku wybuchów pyłów występujących na stanowiskach pracy są iskry mechaniczne, które mają swój udział aż w 30% zdarzeń (rys. 2.). Do innych znaczących źródeł zapłonu należą również: elektryczność statyczna, tarcie oraz tłące się miejsca.

Czynniki sprzyjające wybuchom pyłów aluminium

Niebezpieczeństwo wystąpienia pożaru i wybuchu pyłów aluminium w zakładach pracy jest obiektem wielu badań w różnych ośrodkach naukowych [6, 7, 8].

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym realizowany jest projekt, którego celem jest ocena ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na szkodliwe czynniki chemiczne i fizyczne występujące w procesach produkcji okuć budowlanych i galanterii oraz innych akcesoriów metalowych. W ramach tego projektu prowadzone są pomiary stężeń i natężeń wybranych czynników

szkodliwych dla zdrowia na przemysłowych stanowiskach pracy. Między innymi prowadzone są pomiary stężeń pyłów aluminium (obok pyłów innych metali) w powietrzu środowiska pracy, w aspekcie wielkości narażenia zawodowego (do porównania z wartościami NDS).

W wyniku pomiarów przeprowadzonych dotychczas na dwóch „rodzajach” stanowisk: stanowiska odlewania detali i stanowiska obróbki mechanicznej pozostałości, szlifowanie, polerowanie, frezowanie itp.) stwierdzono niewielkie ilości aluminium (i innych metali) w badanym powietrzu. Nie znaczy to jednak, że nie ma niebezpieczeństwa wybuchu na stanowiskach pracy, gdzie stwierdza się znikome ilości pyłu w strefie oddychania pracownika. Biorąc pod uwagę silne właściwości wybuchowe pyłów aluminium, należy zachować daleko idącą ostrożność. Znajdujące się na stanowisku pracy pyły aluminium (pył osiadły), a także wióry, okrawki i opiłki powstające np. podczas obróbki mechanicznej elementów, mogą łatwo ulec zapaleniu nawet w kontakcie ze stosunkowo słabym środkiem zapalającym, np. iskrą czy płomieniem zapalniczki, przy czym niebezpieczeństwo zapalenia wzrasta w obecności smarów (te znajdują się w maszynach do obróbki detali). Ponadto, pyły te są zaliczane do pyłów przewodzących, mogą więc spowodować zwarcia w urządzeniach elektrycznych w sytuacji, jeśli poddane są działaniu odpowiednio wysokiego napięcia. Łuk elektryczny może stanowić źródło zapłonu dla obłoku pyłu lub zapalić zalegającą warstwę pyłu, a w konsekwencji spowodować wybuch.

Ważnym problemem jest gromadzenie się warstw pyłu osiadłego. Podobnie jak w przypadku wszystkich pyłów palnych, poza możliwością wytworzenia się z takiej warstwy obłoku pyłu, np. w wyniku ruchów powietrza, istnieje zagrożenie zapalenia się pyłu osiadłego [9]. Taka sytuacja stwarza zagrożenie ze względu na spalanie się pyłu i jednocześnie

może być źródłem zapłonu dla mieszaniny pyłowo-powietrznej. Poza tym ruchy powietrza spowodowane spalaniem się pyłu mogą również wytworzyć obłok pyłu w powietrzu, a następnie zainicjować jego zapłon. Często pierwotny wybuch obłoku pyłu w powietrzu powoduje podniesienie się pyłu osiadłego i wystąpienie wybuchu wtórnego, którego skutki mogą być znacznie poważniejsze niż skutki wybuchu pierwotnego.

Do wybuchu może przyczynić się również źle zaprojektowana instalacja wentylacyjna lub jej awaria. W literaturze dotyczącej tego zagadnienia [10] opisano wybuch mieszaniny pyłu aluminium z powietrzem w hali zakładu przemysłowego, w której dokonywano szlifowania i polerowania, m.in. okuć budowlanych odlanych ze stopu aluminium. W hali tej było zainstalowanych ponad 20 polerek i szlifierek „przyłączonych” do dwóch tuneli wyciągowych. Wentylator pierwszego tunelu, zainstalowany na zewnątrz budynku, łączył się z tunelem wyciągowym drugiego zespołu polerek. Drugi tunel wyciągowy z dużym wentylatorem, cyklonem i zbiornikiem na pyły zainstalowany był poza budynkiem. Przed wybuchem wentylator pierwszego tunelu nie pracował. Wybuch był prawdopodobnie zainicjowany iskrzeniem w czasie polerowania bądź szlifowania przedmiotu stalowego. Pracujący w hali szlifowali i polerowali różne przedmioty. Źródłem zapłonu mogły być także palące się podczas polerowania cząstki filcu ściernego. Czynnikiem, który sprzyjał wystąpieniu wybuchu, było nagromadzenie w pierwszym tunelu wyciągowym – z powodu awarii wentylatora – dużych ilości pyłu aluminium. Wskutek wybuchu w hali wzniosł się pył osiadły zalegający na urządzeniach. Powstała w ten sposób mieszanina pyłowo-powietrzna uległa wtórnemu wybuchowi.

Zapobieganie wybuchom pyłów palnych

Zapobieganie wybuchom pyłów palnych, w tym pyłów aluminium, ma na celu, przede wszystkim, zapobieganie tworzeniu się mieszanin pyłowo-powietrznych o stężeniach mieszczących się w zakresie wybuchowości oraz wyeliminowanie źródeł zapłonu. Stąd niezmiernie ważne jest zmniejszenie stężenia pyłu w miejscach zagrożonych przez dobrze zaprojektowaną, wykonaną i eksploatowaną instalację wentylacyjną, zarówno miejscową wywiewną, jak i wentylację ogólną pomieszczenia produkcyjnego. Wentylacja miejscowa wywiewna umożliwia usunięcie emitowanych pyłów bezpośrednio z rejonu ich wydzielania, co ogranicza rozprzestrzenianie się pyłów w pomieszczeniach.

W przypadku pyłów aluminium niebezpieczeństwo wybuchu jest ściśle związane z obecnością cząstek drobnodispersyjnych i dlatego korzystniejsze jest (o ile jest to możliwe) inne rozwiązanie technologiczne, np. stosowanie

szlifowania na mokro, gdzie cząstki pyłu aluminium mogą być zbierane w postaci zawiesiny w wodzie i wówczas problem wybuchu może zostać całkowicie wyeliminowany.

W innych sytuacjach konieczne jest ograniczenie prawdopodobieństwa wystąpienia czynnika inicjującego wybuch, np. przez stosowanie urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym, zapobieganie powstawaniu iskier mechanicznych i elektrycznych oraz ładunków elektryczności statycznej, rozgrzewania się powierzchni i oczywiście unikanie palenia na stanowiskach pracy.

Jednym ze sposobów uniknięcia zagrożeń związanych z wybuchem pyłów palnych, do-

tyczących głównie pyłów osiadłych, jest stosowanie odpowiednich procedur porządkowych. W przypadku przeprowadzania prac porządkowych na dobrym poziomie efektywności, kiedy utrzymywana jest znikoma grubość warstwy pyłu lub pył jest sukcesywnie całkowicie usuwany, zagrożenie powstania mieszaniny wybuchowej lub pożaru pyłu zostaje zlikwidowane u źródła. Z kolei, gdy poziom efektywności prac porządkowych jest słaby i warstwa pyłu oraz grubszych frakcji (opiłki, wiórki) występuje dłużej niż jedną zmianę, zagrożenie wybuchem może być znaczące, nawet na stanowiskach, gdzie stężenie pyłu w powietrzu (w aspekcie narażenia zawodowego) jest małe.

Tabela

CHARAKTERYSTYKI ZAPALNOŚCI WYBRANYCH PYŁÓW POCHODZENIA ORGANICZNEGO I PYŁÓW METALI
Flammability characteristics of selected organic and metal dusts

Pył	Temperatura zapłonu		Minimalna energia zapłonu, mJ	Minimalne stężenie wybuchowe w obłoku, g/m ³
	warstwy °C	obłoku °C		
Drewno/sosna (trociny)	260	470	40	35
Mąka /pszenica	440	440	60	50
Cukier	400	370	30	45
Mleko w proszku	200	490	50	50
Aluminium do gruntowania	460÷900	550÷700	50÷120	45÷120
Opiłki aluminiowe	400÷900	600÷700	10÷100	40÷60
Proszek aluminiowy	490÷700	550÷800	15÷160	40÷140
Aluminium magnezowe (stop)	480	430	80	20
Cyna	430	630	80	190
Cynk	540	690	960	460
Krzem	950	780	96	160
Magnez do gruntowania	430	560	40	30
Mangan	240	460	305	125

Minimalna temperatura samozapłonu obłoku pyłu – najniższa temperatura gorącej powierzchni, w której najbardziej zapalna mieszanina pyłu z powietrzem ulega zapłonowi w określonych warunkach badania.

Minimalna temperatura samozapłonu warstwy pyłu – najniższa temperatura gorącej powierzchni, przy której warstwa pyłu ulega zapłonowi w określonych warunkach badania.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Eckhoff R. K. *Dust Explosions in the Process Industries*. Butterworth-Heinemann, Oxford 2002
- [2] Gawęda E., Kondej D. *Produkcja okuć budowlanych i galanterii metalowej – analiza zagrożeń*. „Bezpieczeństwo Pracy” 10(420), 2005, 12-14
- [3] Gawęda E., Kondej D. *Zagrożenia środowiska pracy w procesach produkcji okuć budowlanych i detali metalowych*. „Medycyna Pracy” 57(1), 2006, 1-6
- [4] Sawicki T. *Wybuchy przestrzenne*. „Bezpieczeństwo Pracy” 11(421), 2005, 22-25
- [5] Porowski R. *Zabójcze drobiny. Ochrona przed wybuchem. Wybuchy pyłów palnych*. „Przegląd Pożarniczy” 11, 2005, 17-19
- [6] Righetti A., Casati L. *Aluminium dust explosion*. „Alluminio e Leghe”, Vol. 12, no 124, 2000, 103-106
- [7] Marmo L., Cavallero D., Debernardi M. L. *Aluminium dust explosion risk analysis in metal workings*. „Journal of Loss Prevention in the Process Industries”, Vol. 17, no. 6, 2004, 449-465
- [8] Wolnarek D. *Significant explosion and fire risks with processing, storage and transport of combustible substances in dust form*. „Ex-Magazine” 27, 2001, 33-43
- [9] Sobiecki M. *Pyły pod nadzorem*. „Przegląd Pożarniczy” 12, 2004, 14-16
- [10] Sawicki T. *Zagrożenie wybuchem pyłów aluminium*. „W akcji” 4, 2003, 44-48

Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania realizowanego w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy