

Zgrzewanie wybuchowe płytek metalowych w celu uzyskania wielowarstwowych kompozytów

Jerzy Nowaczewski¹⁾, Bartłomiej Bożik¹⁾, Rafał Pluta¹⁾, Jacek Rudnicki²⁾

1) Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, PL

2) Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, PL

Słowa kluczowe: zgrzewanie wybuchowe, amonale, zawieszinowe materiały wybuchowe.

1. Wstęp

Zgrzewanie wybuchowe metali jest jedną ze znanych od dawna technologii wybuchowych [1÷7], choć niezbyt często stosowanych w praktyce przemysłowej, głównie z powodu rygorystycznych przepisów dotyczących zasad gospodarowania materiałami wybuchowymi (MW).

Zgrzewanie wybuchowe zwane również platerowaniem lub powierzchniowym łączeniem wybuchowym stosuje się najczęściej jako etap pośredni w technologii wytwarzania dwuwarstwowych blach, z których wykonuje się zbiorniki, cysterny, wymienniki ciepłe dla przemysłu chemicznego, spożywczego lub innych. Jedna z warstw zwykle chroni drugą przed korozją, a ta druga spełnia najczęściej funkcję zwiększania wytrzymałości konstrukcji wyrobu. Wyrób wykonany z blachy dwuwarstwowej jest na ogół znacznie tańszy, niż gdyby był zbudowany np. z jednorodnej blachy odpornej na korozję.

Zainteresowanie autorów metodą otrzymywania warstwowych kompozytów podyktowane było zamiarem zastosowania tej wybuchowej technologii do wytwarzania wielowarstwowych płyt pancernych o podwyższonej odporności na przebicie karabinowym pociskiem.

Przeznaczenie warstwowych kompozytów zdecydowało o wyborze rodzaju łączonych metali. Szczególną uwagę zwrócono na połączenia takich metali jak: stal z tytanem i tytan z aluminium, ponieważ według niektórych autorów [8,9] możliwe jest powstanie w strefie złącza tych metali tzw. fazy międzymetalicznej o znacznej twardości.

2. Materiały wybuchowe stosowane do wybuchowego zgrzewania

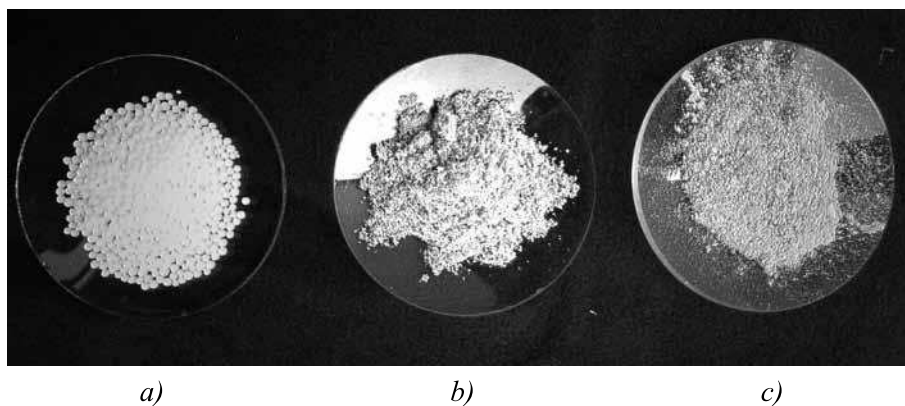
Zgrzewanie wybuchowe metali wykonuje się przy użyciu MW, których parametry detonacyjne, takie jak: prędkość i ciśnienie detonacji, gęstość, średnica krytyczna są niezbyt wysokie. Przyjmuje się, że prędkość detonacji MW nie powinna przekraczać prędkości dźwięku w łączonych metalach [2,3,7]. W praktyce najczęściej stosuje się MW syplik o gęstości nasypowej około 1 g cm^{-3} i prędkości detonacji rzędu $(2,5 \div 4,0) \text{ km s}^{-1}$.

Innym, ważnym czynnikiem determinującym wybór takich, a nie innych MW są koszty surowców i technologia wytwarzania, a także bezpieczeństwo stosowania.

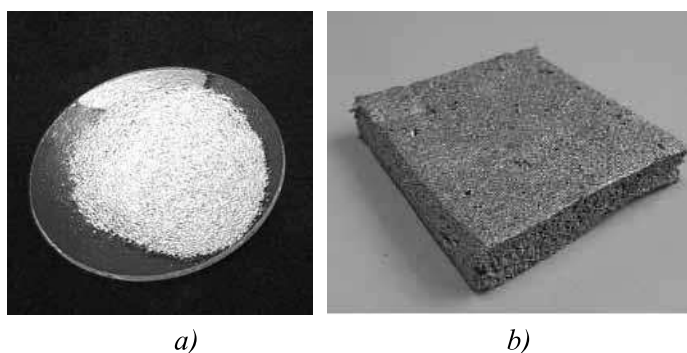
Wcześniejsze artykuły pracowników WAT [4÷6,10] poświęcone otrzymywaniu, badaniu właściwości i stosowaniu mieszanin wybuchowych uczulanych płatkowym glinem skierowały uwagę autorów na te MW i utwierdziły w przekonaniu, że właśnie tego typu MW najlepiej będą nadawały się do zgrzewania wybuchowego.

Są to mieszaniny bardzo bezpieczne podczas wytwarzania i stosowania – np. amonale zawierają jedynie rozdrobniony azotan(V) amonu i płatkowany pył glinowy, a otrzymuje się je przez wymieszanie obu składników. Również koszty surowców są niewielkie, ponieważ azotan(V) amonu jest bardzo tani, a płatkowanego glinu stosuje się zaledwie kilka procent. Drugi z zaproponowanych MW należał do grupy MW zawieszinowych (MWZ) również uczulanych płatkowym glinem (MWZ-Al). Skład chemiczny tego MWZ-Al jest bardziej skomplikowany, bowiem oprócz wymienionych wyżej składników zawiera wodę i substancję zagęszczającą

z środkiem sieciującym, dzięki czemu półpłynna początkowo postać mieszaniny po pewnym czasie staje się elastycznym żelem, z którego można łatwo formować warstwowe ładunki o różnej grubości i – w razie potrzeby – o różnej gęstości. Ładunki te są wygodne w stosowaniu i dobrze przylegają do zgrzewanych płytek, nie tylko poziomych, ale nawet ustawionych pionowo. Obie opisywane mieszaniny wybuchowe nie zawierały żadnych dodatków silnych, kruszących MW takich jak: heksogen, pentryt, trotyl. Na rys. 1 i 2 pokazano próbki surowców i stosowanych MW.



Rys. 1. Podstawowe surowce do wytwarzania amonali i MWZ: a) granulowany azotan(V) amonu; b) mielony azotan(V) amonu; c) pył glinowy.

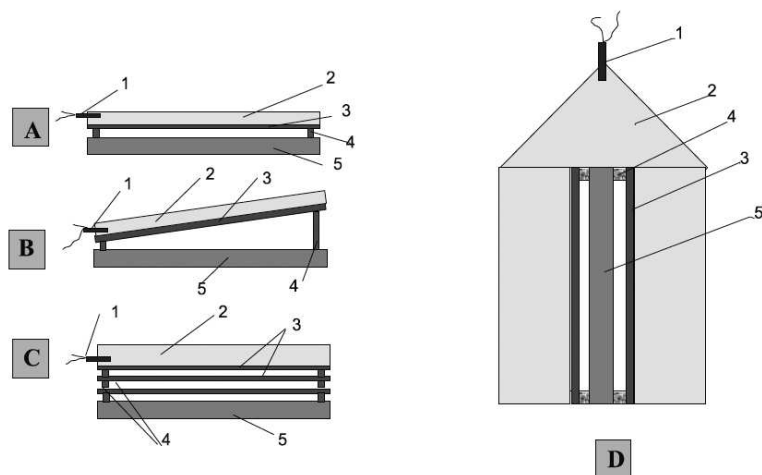


Rys. 2. Próbkki stosowanych materiałów wybuchowych: a) amonal 5; b) MWZ-Al.

3. Konstrukcja układów do wybuchowego zgrzewania

Płytki wybranych metali zgrzewano według ogólnych zasad stosując znane i opisane w literaturze układy płaskie [1÷3,11] – schematycznie przedstawione na rys. 3. Łączone płytki przed zgrzewaniem czyszczono papierem ściernym, odtłuszczano acetonem i ustawiano na stalowej podstawie. Dystanse między płytkami wykonywane były z drewna lub z cienkich pasków blachy aluminiowej (zgiętych w kształt litery V) o szerokości odpowiadającej wzajemnej odległości między płytkami, która najczęściej była równa grubości płytki napędzanej. Dystanse ustawiano na narożach płytki nieruchomej. W przypadku zgrzewania wybuchowego przy użyciu amonalu, na płytce ruchomej konstruowano ramkę kartonową o wysokości odpowiadającej dziesięciokrotnej grubości tej płytki. Ramka stanowiła brzegi pojemnika na MW i wyznaczała grubość warstwy MW, a dnem pojemnika była napędzana płytka. Wymiary płytki ruchomej były zawsze o (10 ÷ 15)% większe od płytki platerowanej, aby wyeliminować tzw. efekty brzegowe, czyli mniejsze – na brzegach napędzanej płytki – ciśnienie produktów detonacji, wynikające z szybszego ich rozlotu wzdłuż krawędzi ładunku MW. W przypadku tworzenia kompozytu wielowarstwowego Ti/Al podczas jednego aktu zgrzewania łączono dwie płytki tytanowe i jedną

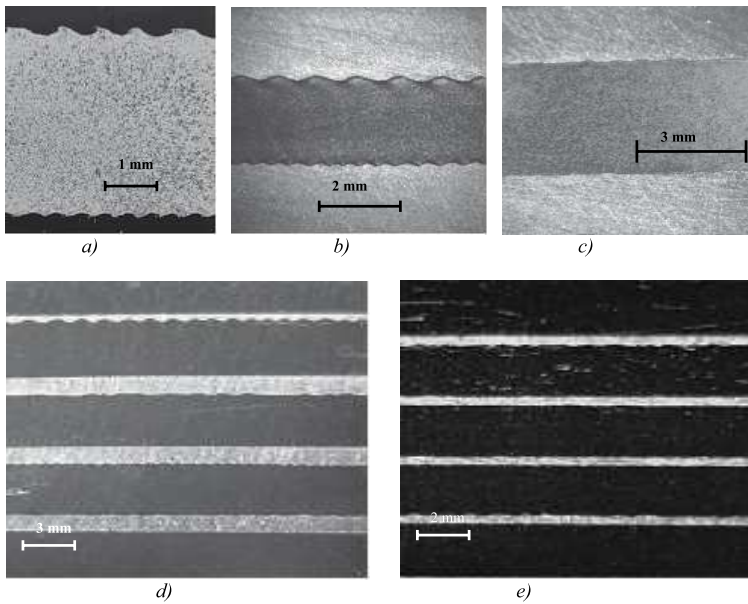
aluminiową zgodnie z układem przedstawionym na rys. 3C, przy czym MW umieszczano na grubszej płycie tytanowej. Po każdym odstrzale płytkę wierzchnią kompozytu czyszczono, odłuszczano i nakładano kolejne dwie warstwy. Przedstawione na rys. 4d i 4e kompozyty uzyskano po czterokrotnym zgrzewaniu wybuchowym. Do otrzymania niektórych kompozytów trójwarstwowych stosowano układy jednoczesnego dwustronnego zgrzewania [6,10] – przedstawione schematycznie na rys. 3D.



Rys. 3. Schematy konstrukcyjne podstawowych układów płaskich do zgrzewania wybuchowego: A – układ równoległy; B – układ kątowy; C – układ równoległy wielowarstwowy; D – układ dwustronny. Oznaczenia: 1 – zapalnik; 2 – materiał wybuchowy; 3 – płyta ruchoma (napędzana); 4 – klocki dystansowe; 5 – płyta nieruchoma.

4. Obróbka uzyskanych kompozytów

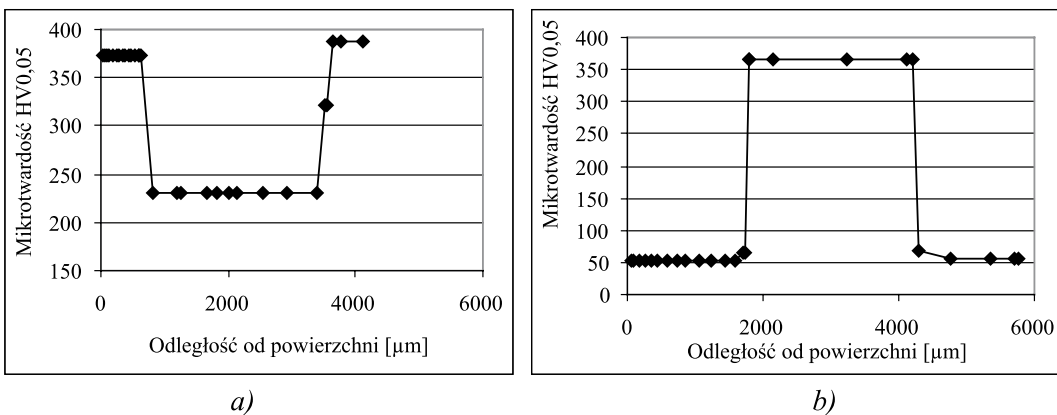
Otrzymane w wyniku wybuchowego zgrzewania kompozyty były poddawane obróbce mechanicznej. Aby nie wprowadzać w strukturę kompozytów naprężeń i oddziaływań cieplnych, wycinano z nich metodą elektroiskrową próbki, które po szlifowaniu, polerowaniu i trawieniu były przeznaczone do badań metalograficznych. Badania te polegały na obserwacjach mikroskopowych obszarów złącza zgrzewanych płytek, poszukiwaniu charakterystycznych typów połączeń i porównywaniu ich z danymi literaturowymi. Rys. 4 ilustruje przykłady niektórych uzyskanych połączeń. Zaobserwowano występowanie falistej strefy złącza w przypadkach użycia silniejszego MW jakim był MWZ-Al (rys. 4a i 4b). Trójwarstwowy kompozyt Al/Ti/Al (rys. 4b) otrzymano w wyniku jednoczesnego dwustronnego zgrzewania wybuchowego przy użyciu amonalu o zawartości 5% płatkowego glinu. Zróżnicowaną falistość złącza uzyskano przypadkowo, na skutek przesunięcia płytki tytanowej względem płytek aluminiowych. Zamiast jednakowych (2 mm) odległości między zgrzewanymi płytkami powstała większa odległość (3 mm) od strony wyższych fal i jednocześnie mniejsza odległość (1 mm) od strony fal niższych (rys. 4b). Dwa wielowarstwowe kompozyty Ti/Al utworzono za pomocą różnych MW. Jeden z nich (rys. 4d) powstał w wyniku zgrzewania za pomocą MWZ-Al, a drugi (rys. 4e) przy użyciu amonalu 5%. Obecność falistości tylko w przypadku górnej, cienkiej warstwy aluminium (rys. 4d) można tłumaczyć występowaniem znacznie większego kąta ugięcia dla tej płytki Al i wyższymi parametrami energii zderzenia, w porównaniu z pozostałymi warstwami Al zgrzewanymi w analogicznych warunkach.



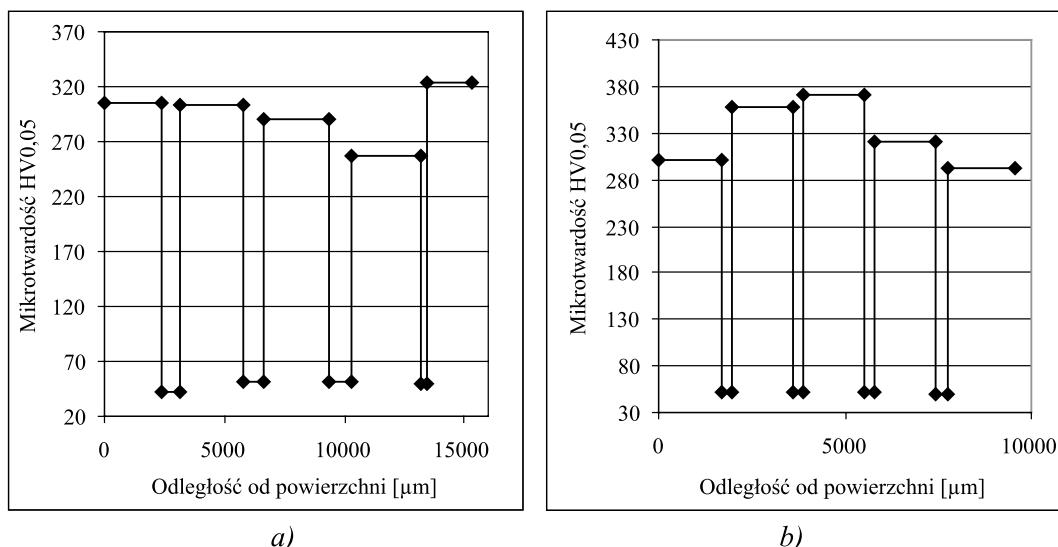
Rys. 4. Mikroskopowe obrazy strefy połączeń metalowych płytek zgrzewanych wybuchowo: a) stal/Ti/stal = 0,7/3/0,7 mm; b) Al/Ti/Al = 2/2/2 mm; c) Al/Ti/Al = 2/3/2 mm; d) Ti/Al/Ti/Al/Ti/Al/Ti/Al/Ti = 2/0,3/3/1/3/1/3/1/3 mm; e) Ti/Al/Ti/Al/Ti/Al/Ti/Al/Ti = 2/0,3/2/0,3/2/0,3/2/0,3/2 mm.

5. Badania rozkładów mikrotwardości w przekrojach kompozytów

Na wypolerowanych przekrojach próbek, tzw. zglądach metalograficznych wykonywano pomiary twardości i rozkładów mikrotwardości, aby przekonać się, czy podczas wybuchowego platerowania następuje, w strefie zderzenia, umocnienie któregoś z łączonych metali. Nie stwierdzono obecności umocnienia, o czym świadczą poniższe rys. 5 i 6. Występujące różnice poziomów mikrotwardości niektórych metali: stali (rys. 5a) i tytanu (rys. 6a i 6b) należy przypisać rozrzutom twardości płytek w stanie wyjściowym.



Rys. 5. Rozkłady mikrotwardości w przekrojach poprzecznych próbek trójwarstwowych kompozytów: a) stal/Ti/stal = 0,7/3/0,7 mm; b) Al/Ti/Al = 2/3/2 mm.



Rys. 6. Rozkłady mikrotwardości w przekrojach poprzecznych próbek kompozytów wielowarstwowych Ti/Al: a) 3/1/3/1/3/1/3/0,3/2 mm; b) 2/0,3/2/0,3/2/0,3/2/0,3/2 mm.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone próby wybuchowego zgrzewania płytek metalowych w celu uzyskania trój- i wielowarstwowych kompozytów potwierdziły przydatność w tej technologii obu zaproponowanych MW.

Wydaje się, że sypanki amonal, o nieco niższych parametrach detonacyjnych, ale za to łatwiejszy do otrzymania, stanowi wygodniejsze narzędzie w przypadku pojedynczego nakładania warstw na płytę podstawową. Natomiast MWZ-Al mają przewagę w przypadku zgrzewania dwustronnego, bo ładunki MW bez trudu utrzymują się na pionowych płaszczyznach napędzanych płytek i spełniają wymagania w sytuacjach zapotrzebowania na MW o wyższych parametrach detonacyjnych.

Z obserwacji mikroskopowych przekrojów otrzymanych kompozytów wynika, że proponowane MW posiadają dostateczną energię umożliwiającą powstanie falistego, trwałego złącza. W niektórych przypadkach złącza, zwłaszcza w kompozytach Ti/Al, nie miały charakteru falistego. Należy przypuszczać, że powodem tego były niższe parametry (kąt i prędkość) zderzenia łączonych warstw, wynikające z ich większej grubości.

Pomiary mikrotwardości wykazały, że podczas wybuchowego zgrzewania nie zachodzi wyraźne umocnienie strefy złącza powstałych kompozytów i dlatego wskazana jest dalsza obróbka wybuchowa, dzięki której nastąpi dodatkowe umocnienie i zdefektowanie omawianej strefy. Umożliwi ono osiągnięcie w dalszej obróbce korzystnych zmian strukturalnych na większych odległościach od powierzchni próbki.

Uzyskane warstwy kompozytowe przeznaczone są do dalszej obróbki termo-chemicznej, w wyniku której autorzy spodziewają się, oprócz typowego wzrostu twardości zgrzewanych warstw, uzyskać w strefie złącza tzw. fazy międzymetaliczne, o szczególnie korzystnych właściwościach.

Literatura

- [1] Rinehart J. S., Pearson J., *Explosive working of metals*, Pergamon Press, New York, 1963.
- [2] Babul W., *Zgrzewanie wybuchowe metali*, Wyd. PWN, Warszawa 1972.
- [3] Deribas A.A., *Fizyka uprochnienia i svarki vzryvom*, Moskva 1980.
- [4] Maranda A., Nowaczewski J., Włodarczyk E., Zygmunt B., *O niektórych własnościach detonacyjnych zawieszinowych materiałów wybuchowych uczulanych pyłem aluminiowym (MWZ-Al)*, Biul. WAT, 27,1978,5.

- [5] Maranda A., Nowaczewski J., Zygmunt B., Dyja H., *Primienienije Vzryvchatych veščestv tipa amonalov dlja plakirovanija*, VI Miezinardni Sympozim „Vyuziti Energie Vybuha k Pripravie Kovavych Materialu Novych Vlasnosti”, cz. 3, Gottvaldov 1985, s. 520-525.
- [6] Dyja H., Maranda A., Nowaczewski J., *Amonale tanie i bezpieczne materiały wybuchowe w wysokoenergetycznej obróbce metali*, Inż. Mat. Nr 5 (130), IX-X 2002, s. 589-592.
- [7] Walczak W., *Zgrzewanie wybuchowe metali i jego zastosowanie*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1989.
- [8] Bojar Z., Przetakiewicz W., *Materiały metalowe z udziałem faz międzymetalicznych*, Wyd. Bellona, Warszawa 2006.
- [9] Szkliniarz W., *Stopy na osnowie faz międzymetalicznych z układu Ti-Al*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [10] Maranda A., Nowaczewski J., Zygmunt B., *Adaptacja zawieszinowych materiałów wybuchowych do wybuchowego zgrzewania blach*, Biul. WAT 31, 1982, 2.
- [11] Napadłek W., Kowalczyk S., Cudziło S., Maranda A., Nowaczewski J., *Platerowanie wybuchowe jako metoda łączenia stali trudnospawalnych*, Inż. Mat. Nr 6 (119), XI-XII 2000, s. 357-360.