



Badania pocisków fragmentujących

JACEK JANISZEWSKI, KRZYSZTOF RUTYNA*, ZBIGNIEW SURMA,
WOJCIECH FURMANEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Instytut Elektromechaniki,
*Instytut Optoelektroniki, 00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Artykuł jest poświęcony opracowanym w WAT pistoletowym pociskom fragmentującym, które wytworzono metodą metalurgii proszków. W pierwszej części pracy dokonano prezentacji wyników badań nad technologią wytwarzania pistoletowej amunicji fragmentującej z proszków Cu i Sn. W drugiej części artykułu przedstawiono wyniki badań fragmentacji pocisków pistoletowych po zderzeniu z wybranymi rodzajami tarcz. Do oceny fragmentacji pocisków wykorzystano metodę odzyskiwania odłamków na aramidowych materiałach wyhamowujących oraz fotografię kadrową. Rezultaty badań dowodzą, że pociski pistoletowe wytwarzane wstępnie opracowaną technologią charakteryzują się bardzo dobrą zdolnością do fragmentacji po uderzeniu w tarczę wykonaną z blachy stalowej o grubości 1 mm i całkowitą destrukcją po uderzeniu w twardą przegrodę.

Słowa kluczowe: amunicja o ograniczonej strefie rażenia, pociski fragmentujące, amunicja bezołowiowa, badania materiałowe, fotografia bardzo szybkich procesów

Symbole UKD: 669.018.2

1. Wprowadzenie

W celu zapewnienia właściwego wyszkolenia strzeleckiego żołnierzy oraz funkcjonariuszy, np. policji, niezbędny jest systematyczny trening strzelecki. Powinien on umożliwić oswojenie się ze zjawiskiem strzału, wyrobić prawidłowe nawyki w posługiwaniu się bronią i częściowo przyzwyczać do rzeczywistych warunków bojowych. Aby trening strzelecki spełniał swoją rolę, powinien odbywać się często i na odpowiednio przygotowanych obiektach — strzelnicach lub placach ćwiczeń. Jednak proces szkolenia z wykorzystaniem amunicji bojowej wiąże się z dużymi kosztami, wynikającymi z konieczności utrzymania

odpowiedniej infrastruktury technicznej strzelnic i zapewnienia rygorystycznych warunków bezpieczeństwa.

W dobie przebudowy Sił Zbrojnych, w związku z którą następuje likwidacja wielu strzelnic i poligonów, realizacja szkolenia strzeleckiego napotyka coraz większe trudności. Problem ten pogłębiają jeszcze bardziej wysokie wymagania związane ze spełnianiem obowiązujących unormowań dotyczących ekologii i bezpieczeństwa prowadzenia szkolenia strzeleckiego.

Jednym z możliwych rozwiązań zapewniających poprawę tego stanu rzeczy jest wprowadzenie nowego typu amunicji przeznaczonej jedynie do prowadzenia szkolenia strzeleckiego, którą ogólnie określa się terminem „amunicji o ograniczonej strefie rażenia”. Charakteryzuje się ona przede wszystkim tym, że zachowuje realizm szkolenia, a jednocześnie zapewnia bezpieczeństwo treningu nawet na strzelnicach z małymi strefami bezpieczeństwa. Efekt ten osiąga się dzięki takiemu zaprojektowaniu całego naboju, że jego konstrukcja zapewnia na określonym dystansie zdolność rażenia modelowego celu (np. tarczy), a jednocześnie, w wyniku występowania różnych zjawisk fizycznych, pocisk jest pozbawiony cech rażących po uderzeniu w cel lub po przekroczeniu przyjętej strefy bezpieczeństwa.

Spotykane są różne rozwiązania konstrukcyjne amunicji o ograniczonej strefie rażenia, ogólnie dzielonej na:

- amunicję o zmniejszonej donośności (ang. *short range training ammunition*),
- amunicję z plastikowym, połączonym układem „pocisk-łuska” (ang. *plastic training cartridge*) oraz
- amunicję z pociskami fragmentującymi (ang. *frangible ammunition*) [1, 2].

Ze względu na szybką realizację i niskie koszty opracowania, najbardziej interesującym rodzajem amunicji o ograniczonej strefie rażenia, wydają się naboje z pociskami fragmentującymi [3-6].

Artykuł ten prezentuje wyniki badań, których głównym celem było opracowanie wstępnej technologii wytwarzania pocisku pistoletowego charakteryzującego się zdolnością do destrukcji (fragmentacji) po uderzeniu w modelową przegrodę.

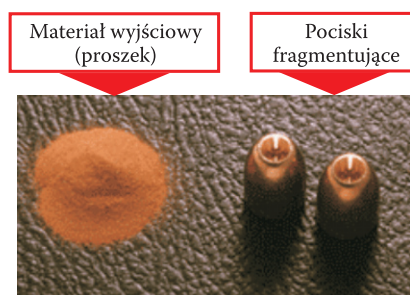
2. Charakterystyka amunicji fragmentującej

Naboje z pociskami fragmentującymi są wykorzystywane w celach treningowych oraz w działaniach patrolowo-interwencyjnych prowadzonych na terenach zurbanizowanych, na których istnieje duże niebezpieczeństwo rażenia rykoszetem osób postronnych. Charakterystyki balistyczne tych pocisków są bardzo zbliżone do charakterystyk pocisków bojowych. Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie przyrządów celowniczych broni bez konieczności ich przestawiania. Ponadto

odpowiednie zaprojektowanie całego naboju zapewnia poprawne działanie całej automatyki broni bez konieczności jakichkolwiek jej modyfikacji.

Najczęściej spotykane są pociski fragmentujące wykonywane z proszków metali z dodatkiem tworzyw sztucznych. Do ich produkcji stosuje się zazwyczaj metodę wtryskowego formowania proszków (ang. *PIM* — *Powder Injection Molding*). W tej technologii pocisk jest wykonywany z materiału kompozytowego, w którym proszek metalu pełni rolę wypełniacza zapewniającego odpowiednią gęstość, a tworzywo sztuczne jest lepiszczem spajającym cząstki proszku i gwarantującym odpowiednią wytrzymałość materiałowi kompozytowemu. Lepiszczce odgrywa tu bardzo istotną rolę, gdyż jego wytrzymałość musi być na tyle wysoka, aby materiał pocisku mógł przenosić obciążenia występujące zarówno podczas dosyłania naboju do komory nabożowej, jak i podczas strzału. Jednocześnie, po uderzeniu pocisku w tarczę (np. sklejka, cienka blacha), właściwości mechaniczne lepiszcza powinny zapewnić fragmentację pocisku możliwie na jak najmniejsze odłamki. Dzięki temu energia kinetyczna pocisku ulega rozproszeniu, a powstałe za tarczą odłamki o małej masie szybko wytracają swoją energię, nie powodując nadmiernego niszczenia infrastruktury strzelniczy.

Pociski fragmentujące o podobnych cechach są także produkowane za pomocą technologii metalurgii proszków (rys. 1).



Rys. 1. Pociski 9×19 mm Parabellum wykonane za pomocą technologii metalurgii proszków

Dzięki tej metodzie otrzymuje się pociski całkowicie metalowe, gdyż zarówno wypełniacz, jak i lepiszcze są odpowiednio dobranymi metalami. Charakterystyczną cechą metalicznych kompozycji proszkowych wykorzystywanych do produkcji pocisków fragmentujących jest to, że — po pierwsze — wybrane proszki metali różnią się między sobą temperaturą topnienia oraz po drugie — w procesie spiekania tworzą wytrzymałe, ale kruche fazy międzymetaliczne. Dzięki tak dobranemu składowi chemicznemu proszków otrzymuje się spiekany materiał kompozytowy, którego wypełniaczem jest metal o wyższej temperaturze topnienia, a lepiszczem — metal o niższej wartości temperatury topnienia. Ponadto w zależności od przy-

jętych warunków spiekania (temperatura i czas spiekania) można programować udział fazy kruchej w spieku, która występuje na styku cząstek proszku wypełniacza i lepiszcza. Rola fazy kruchej jest bardzo istotna, gdyż ilość i właściwości tej fazy determinują proces fragmentacji pocisku podczas zderzenia z tarczą.

W produkcji pocisków fragmentujących stosowane są bardzo różne mieszanki proszkowe [7]. Najczęściej są to mieszanki proszkowe pozbawione ołowiu oraz bazujące głównie na proszkach miedzi lub wolframu, które pełnią rolę wypełniacza.

Opisany wyżej rodzaj pocisków fragmentujących (całkowicie metalowych) jest stosunkowo łatwy do otrzymania w warunkach laboratoryjnych Wojskowej Akademii Technicznej, dlatego w niniejszej pracy skoncentrowano się jedynie na pociskach tego rodzaju.

3. Badania technologiczne pocisków fragmentujących

3.1. Wybór proszków

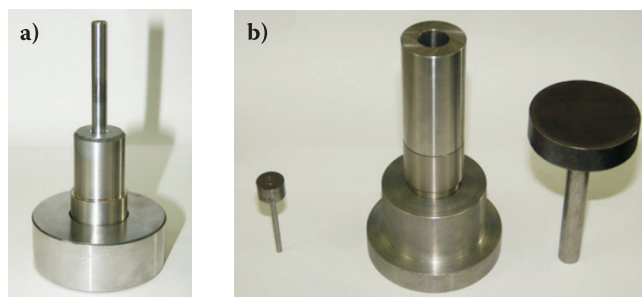
Na podstawie analizy opracowań naukowych dotyczących pocisków fragmentujących i dwuskładnikowych układów równowagi miedzi z wybranymi pierwiastkami, wytypowano mieszankę proszkową, której skład chemiczny bazuje na miedzi i cynie [8]. Wybór ten podyktowany został następującymi przesłankami:

- miedź i cyna tworzą kruche fazy międzymetaliczne (faza δ) w stosunkowo niskiej temperaturze,
- bardzo duża jest różnica w wartościach temperatur topnienia tych metali (Cu — 1180°C; Sn — 232°C),
- proszki Cu i Sn są dostępne i tanie,
- gęstości tych metali umożliwiają wykonanie pocisku, który zachowując kształt pocisku bojowego, ma także masę zbliżoną do takiego pocisku.

3.2. Przygotowanie próbek

Do badań przygotowano siedem mieszanek proszkowych oznaczonych kolejno od M1 do M7, w których udział masowy cyny wynosił odpowiednio od 4 do 16%. Do wykonania mieszanek proszkowych użyto elektrolitycznego proszku miedzi gatunku ECu1 0,040 i rozpylanego proszku cyny RSn1-0,063 oraz środka poślizgowego. Proces mieszania proszków zrealizowano w mieszalniku, a czas trwania tej operacji wynosił około 20 minut.

Formowanie proszków odbywało się na drodze prasowania matrycowego. Wykonano dwie serie próbek, które prasowano pod ciśnieniem P_1 i P_2 , przy czym $P_1 < P_2$. Fotografie zastosowanych matryc do prasowania próbek walcowych o średnicy 9 mm oraz pocisków o kształcie zbliżonym do 9 mm pocisku Parabellum przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Matryca do prasowania 9 mm pocisków pistoletowych: a) konstrukcja do prasowania proszku; b) elementy konstrukcyjne do wypychania wypraski

Operacje spiekania wyprasek przeprowadzono w piecu rurowym, stosując w czasie trwania procesu atmosferę ochronną zdysocjowanego amoniaku. Przygotowane próbki spiekano w dwóch różnych temperaturach T_1 i T_2 ($T_1 < T_2$) przez okres 30 minut.

3.3. Metodyka badań

Pierwszym etapem zaplanowanych badań było wykonanie pomiarów gęstości oraz zmian wymiarowych otrzymanych spieków względem gniazda matrycy. Na podstawie tych wyników zaprojektowano i wykonano w Zakładach Metalowych „Mesko” S.A. w Skarżysku Kamiennej matrycę do wykonywania pocisku kalibru 9 mm.

Drugi etap obejmował próby prasowalności mieszanek proszkowych w matrycy z gniazdem w kształcie pocisku Parabellum w celu określenia wartości ciśnienia prasowania. Ponadto wykonano pomiary sprawdzające poprawność wymiarową i masową otrzymywanych pocisków. Przyjęto kryterium, że ze względu na zapewnienie poprawności działania automatyki broni i zachowania kształtu pocisku Parabellum, masa pocisku spiekane go nie może być niższa niż 6 g.

Trzeci etap stanowiły badania wytrzymałościowe, których celem było określenie naprężeń ściskających powodujących fragmentację spieków w warunkach statycznych (standardowa próba na ściskanie). Badania te przeprowadzono na próbkach w kształcie walca o średnicy 9 mm i wysokości 15 mm.

3.4. Wyniki badań technologicznych

3.4.1. Gęstość i zmiany wymiarowe spieków Cu+Sn

Wyniki badań mające na celu pozyskanie danych wyjściowych pomocnych do zaprojektowania matrycy fragmentującego się pocisku pistoletowego przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Gęstość i zmiany wymiarowe spieków Cu+Sn dla przyjętych mieszanek proszkowych

Nazwa mieszanki proszkowej – spieku	Temperatura spiekania	Gęstość [g/cm ³]		Zmiany wymiarowe [%]	
		Ciśnienie P_1	Ciśnienie P_2	Ciśnienie P_1	Ciśnienie P_2
M1 (Cu+4%Sn)	T_1	7,11	7,25	0,80	0,78
M2 (Cu+6%Sn)	T_2	7,16	7,34	0,79	0,78
	T_1	7,13	7,33	0,80	0,75
M3 (Cu+8%Sn)	T_2	7,14	7,36	0,81	0,81
	T_1	7,10	7,3	0,82	0,78
M4 (Cu+10%Sn)	T_2	7,11	7,32	0,86	0,81
	T_1	7,09	7,28	0,83	0,77
M5 (Cu+12%Sn)	T_2	7,12	7,31	0,81	0,79
	T_1	7,10	7,31	0,81	0,77
M6 (Cu+14%Sn)	T_2	7,14	7,34	0,83	0,89
	T_1	7,11	7,34	0,85	0,79
M7 (Cu+16%Sn)	T_2	7,16	7,34	0,87	0,86
	T_1	7,12	7,31	0,87	0,83
	T_2	7,18	7,36	0,93	0,90

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że wszystkie badane spieki, niezależnie od składu chemicznego i temperatury spiekania, posiadają podobną gęstość. Jedynie w przypadku spieków prasowanych pod wyższym ciśnieniem (P_2), zgodnie z przewidywaniami odnotowano większą gęstość.

Parametry materiałowo-technologiczne nie wpływają także na zmiany wymiarowe badanych spieków. Zmiany te są niewielkie i nie przekraczają 1%. Cechą charakterystyczną jest to, że badane spieki nie ulegają skurczowi w czasie ich wytwarzania, lecz ulegają spęcznieniu, tzn. ich wymiary liniowe zwiększają się w porównaniu z wymiarami gniazda matrycy.

W związku z tymi wynikami w projekcie gniazda matrycy do prasowania pocisku uwzględniono zmiany wymiarowe równe 0,9%.

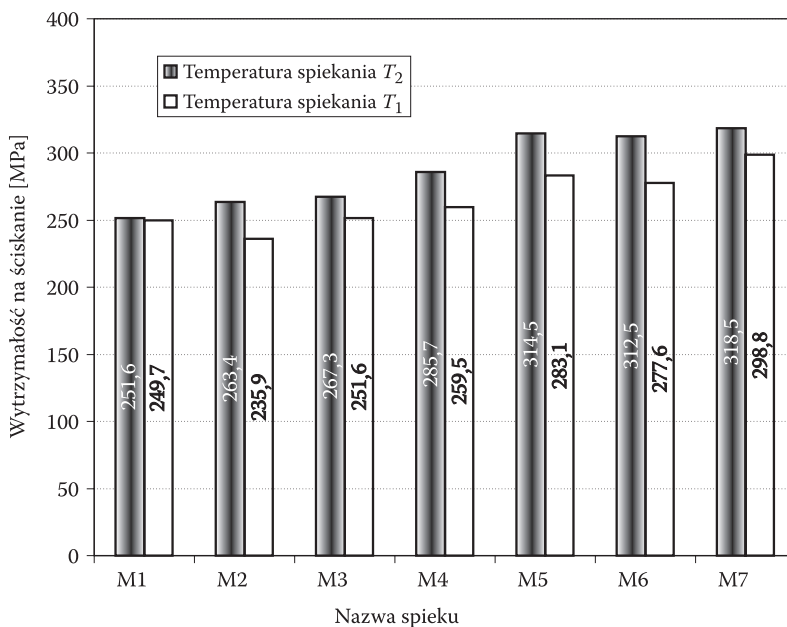
3.4.2. Prasowalność mieszanki proszkowej Cu+Sn w matrycy z gniazdem w kształcie pocisku Parabellum

W trakcie operacji prasowania stwierdzono trudności z prawidłowym zagęszczeniem mieszanki proszkowej w matrycy z gniazdem o geometrii pocisku Parabellum. W przypadku prasowania pod ciśnieniem P_1 (szczególnie w przypadku prasowania mieszanek oznaczonych symbolami M1, M2 i M3) nie następowało prawidłowe zaprasowanie cząstek proszków w części ostrołukowej pocisku, które skutkowało fragmentacją wypraski podczas jej usuwania z matrycy. Zjawiska pękania wyprasek nie stwierdzono w przypadku prasowania pod wyższym ciśnieniem. Wobec tego kolejne badania prowadzono jedynie na spiekach prasowanych pod ciśnieniem P_2 .

Pomiary geometryczne pocisków spiekanych wykazały, że ich kształt mieści się w granicach tolerancji wymiarowych przyjętych dla pocisku Parabellum. Ponadto pomiary masy potwierdziły, że pociski modelowej serii ważą nie mniej niż 6 g.

3.4.3. Wytrzymałość spieków na ściskanie

Wyniki badania wytrzymałości spieków Cu+Sn na ściskanie zostały przedstawione w formie wykresu na rysunku 3. Ogólnie można stwierdzić, że niezależnie od składu chemicznego spieków, ich wytrzymałość ($R_c = 250 \div 318$ MPa) jest niższa w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie miedzi ($R_c = 350$ MPa). Zauważyć



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie badanych spieków dla dwóch temperatur spiekania (ciśnienie prasowania — P_2)

można także wzrost wytrzymałości spieków wraz ze wzrostem zawartości cyny w spieku. Wyższą wytrzymałość spieków uzyskuje się również podczas spiekania ich w temperaturze T_2 . Oprócz tego odnotowano taką prawidłowość, że niezależnie od przyjętych temperatur spiekania, otrzymane spieki są kruche i pękają na stosunkowo małe fragmenty (rys. 4).



Rys. 4. Fragmenty próbki walcowej po próbie ściskania (ciśnienie prasowania — P_2 , temperatura spiekania — T_2)

4. Badania dynamiczne pocisków fragmentujących

4.1. Metodyka badań

Celem badań dynamicznych była ocena wytrzymałości i fragmentacji nowo opracowanych pocisków w warunkach strzału i zderzenia. Ponadto w ramach pracy zaplanowano przeprowadzanie rejestracji, metodą fotografii kadrowej, procesu fragmentacji pocisku po uderzeniu w 1mm blachę stalową lub w 10 mm tarczę wykonaną ze stali o twardości około 45 HRC.

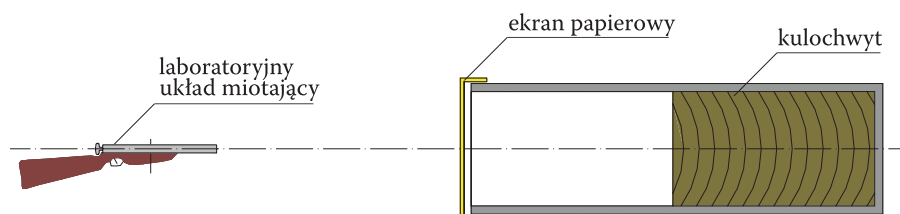
4.1.1. Metodyka oceny wytrzymałości i fragmentacji pocisków w warunkach strzału

Badania dynamiczne przeprowadzono w Zakładzie Konstrukcji Specjalnych i Balistyki Wojskowej Akademii Technicznej. Dotyczyły one jakościowej oceny zdolności pocisków do przenoszenia obciążeń występujących w lufie oraz do fragmentacji w wyniku naprężeń powstających w czasie zderzenia z tarczą metalową. Do badań wykorzystano stanowisko, w skład którego wchodzi: laboratoryjny układ miotający oraz kulochwyt w osłonie grubościenniej rury (rys. 5).

Podczas badań sprawdzających wytrzymałość spieków na obciążenia występujące w lufie, na czołowej powierzchni kulochwytu oddalonej o 1,5 m od wylotu lufy umieszczono ekran-świadek wykonany z kartonu (rys. 6). Po każdym strzale



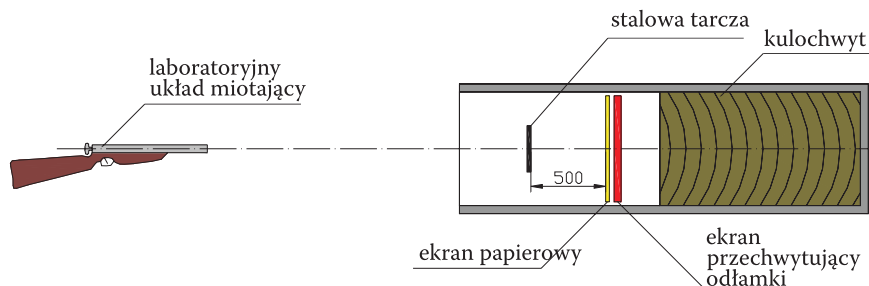
Rys. 5. Fotografia elementów stanowiska do badań balistycznych



Rys. 6. Schemat funkcjonalny stanowiska do badania spójności materiału pocisku

obserwowano kształt otworu pozostawionego przez pocisk na papierowej przesłonie. Pojedynczy i regularny kształt otworu na tarczy interpretowano jako oznakę braku naruszenia spójności materiału pocisku podczas strzału.

Z kolei badania zdolności pocisków do fragmentacji po zderzeniu z tarczą zostały wykonane na stanowisku, którego schemat funkcjonalny przedstawiono na rysunku 7. W osłonie grubościenniej rury kulochwytu umieszczono kolejno: stalową tarczę, kartonowy ekran-świadek oraz materiał przechwytyjący odłamki.

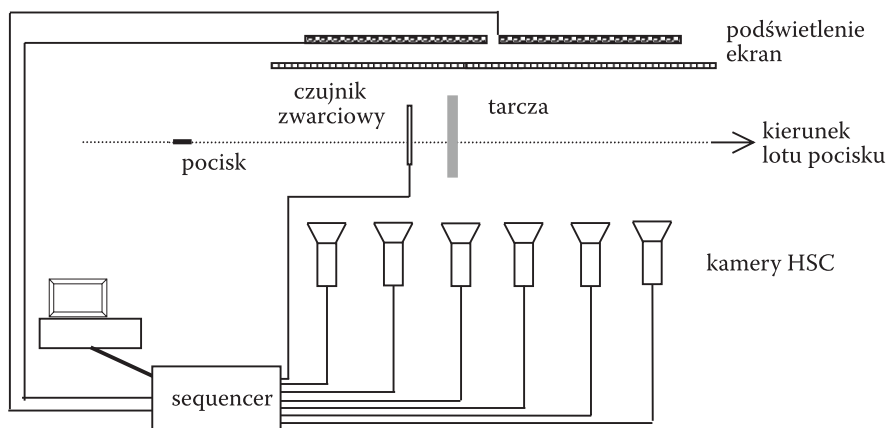


Rys. 7. Schemat funkcjonalny stanowiska do badania fragmentacji pocisku

Tarcza przygotowana została ze stali gatunku St 3 o grubości 1 mm. Ekran przechwytyjący odłamki wykonano na bazie wkładu kompozytowego kamizelek kuloodpornych stanowiącego wielowarstwową, swobodnie ułożoną kompozycję tkanin z włókien aramidowych. Taka konstrukcja ekranu przechwytyjącego pozwoliła odzyskiwać większość fragmentów pocisku. Pozostałe elementy, które z różnych przyczyn nie zostały wychwycone, odzyskiwano w wyniku przeszukania wnętrza całego kulochwyty (rury). Uzyskane w ten sposób dane stanowiły podstawę do jakościowej oceny zdolności pocisków do fragmentacji.

4.1.2. Metodyka oceny fragmentacji pocisków na podstawie analizy rejestracji kadrowych

Lot pocisków oraz proces ich fragmentacji po uderzeniu w 1 mm i 10 mm tarczę stalową fotografowano kamerami CCD z krótkim czasem ekspozycji. Do badań wykorzystano laboratoryjne stanowisko fotografowania szybkich procesów składające się z sześciu autonomicznych kamer HSC-145BW. Kamery te zostały połączone przez interfejs z komputerem oraz asynchronicznym układem sterującym kamerami i układami podświetlającymi (sequencer) — rysunek 8 [9-10]. Zautomatyzowany system rejestrujący był przeznaczony do fotografowania wybranej fazy w czasie trwania procesu oraz pojedynczych zdarzeń przebiegających w bardzo krótkim czasie [11-12].



Rys. 8. Schemat funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego do wykonywania fotografii kadrowej procesu fragmentacji pocisków

Kamery pracowały w trybie asynchronicznym pod nadzorem specjalistycznego oprogramowania. Każda kamera w takim rozwiązaniu mogła rejestrować przebieg eksperymentu w innym miejscu i czasie. Synchronizację eksperymentu (wyzwolenie migawki kamery w czasie pojawienia się obiektu w obserwowanym

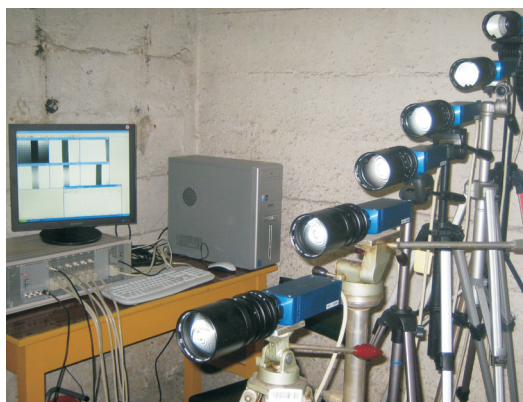
obszarze) zapewniał autonomiczny cyfrowy generator-sequencer. Uruchamiał on proces akwizycji (rejestracji) po otrzymaniu impulsu z czujnika zwarciego w chwili przebicia go przez pocisk (zwarcie dwóch folii aluminiowych). Sygnał ten — zgodnie z ustawionymi wcześniej czasami opóźnienia — wyzwał układy podświetlające oraz migawki sensorów (rys. 8).

Fotografowanie tak szybkiego procesu wymagało dokładnej synchronizacji położenia pocisku z momentem generacji impulsu oświetlającego i wyzwolenia migawek elektronicznych w kamerach. Kamery były wyzwalane w odstępach czasu korespondujących z prędkością lotu pocisku i rozlotu odłamków po zderzeniu z przeszkodą. Czas naświetlania sensora był programowany i wynosił 3 μ s.

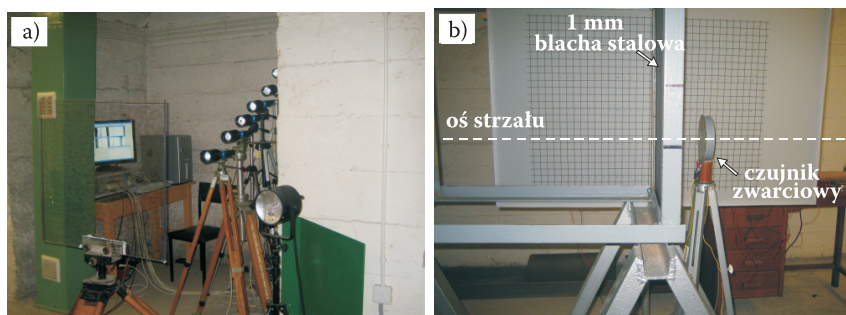
W przypadku bardzo krótkich czasów naświetlania sensora, gdy czułość kamery nie była wystarczająca (ciemny obraz), przemieszczający się pocisk oraz jego odłamki były dodatkowo podświetlane źródłem światła o dużej intensywności. Stosownie do wybranej konfiguracji stanowiska fotograficznego określano intensywność oświetlenia, uzależniając ją od następujących czynników: czasu ekspozycji, jakości toru optycznego, wykorzystywanej przesłony obiektywu oraz odległości między kamerą a fotografowanym obiektem [9-11].

Stanowisko zostało wyposażone w autonomiczny oświetlacz o regulowanej energii błysku, zsynchronizowany z procesem fotografowania.

Podczas badań amunicji fragmentującej stosowano metodę fotografii cieniowej [11, 12]. Metoda ta polega na rejestracji kształtu pocisku (jego fragmentów) na tle rozświetlonego i wyskalowanego ekranu (skala 2×2 cm). W zależności od rodzaju tarczy, rejestrację wykonywano w dwóch konfiguracjach ustawienia kamer. Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono fotografię systemu akwizycji danych obrazowych oraz konfigurację ustawienia kamer podczas rejestracji przebiegu procesu fragmentacji pocisku po przebicium 1 mm blachy stalowej (konfiguracja 1).



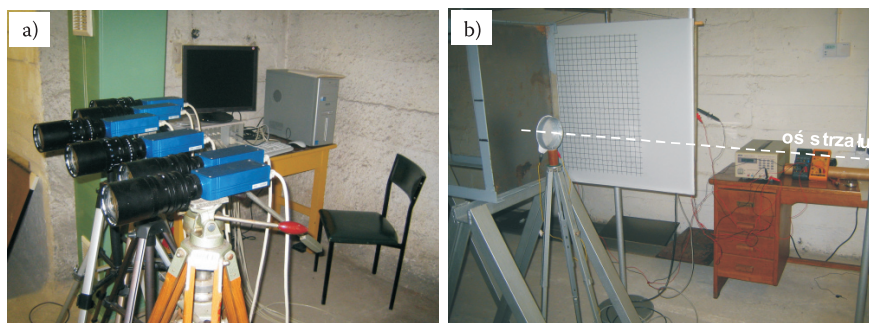
Rys. 9. Elementy systemu do fotografowania procesu penetracji tarczy i fragmentacji pocisku; sequencer wraz z podłączonymi sześcioma kamerami oraz układem nadzorującym (widok ogólny)



Rys. 10. Stanowisko laboratoryjne w konfiguracji 1: a) widok systemu akwizycji i synchronizacji — kamery za osłoną poliwęglanową; b) widok od strony kamer — oś strzału na tle wyskalowanego ekranu

Rozmieszczenie elementów zautomatyzowanego stanowiska rejestrującego w konfiguracji 1 przedstawiono na rysunku 10. W celu zabezpieczenia przed odłamkami kamer oraz ekranów i układów podświetlających zastosowano przezroczyste osłony wykonane z 15 mm poliwęglanu i 3 mm pleksi.

Z kolei na rysunku 11 przedstawiono fotografię zautomatyzowanego stanowiska do rejestracji fragmentacji pocisków po zderzeniu z grubą (10 mm) i twardą (~45 HRC) tarczą stalową (konfiguracja 2).



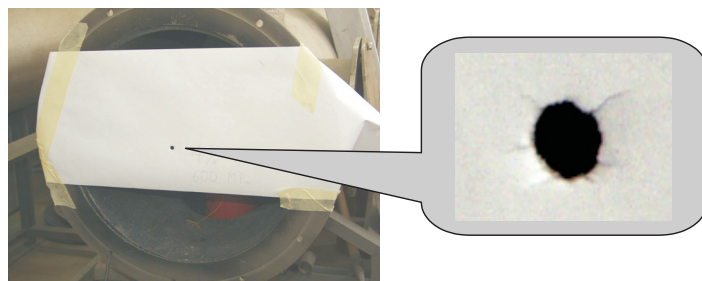
Rys. 11. Elementy zautomatyzowanego stanowiska rejestrującego w konfiguracji 2: a) fotografia ustawienia kamer na stanowisku; b) widok od strony kamer (10 mm tarcza i czujnik zwarcioowy na tle ekranu)

4.2. Wyniki badań dynamicznych

4.2.1. Ocena wytrzymałości i fragmentacji materiału pocisku w warunkach strzału

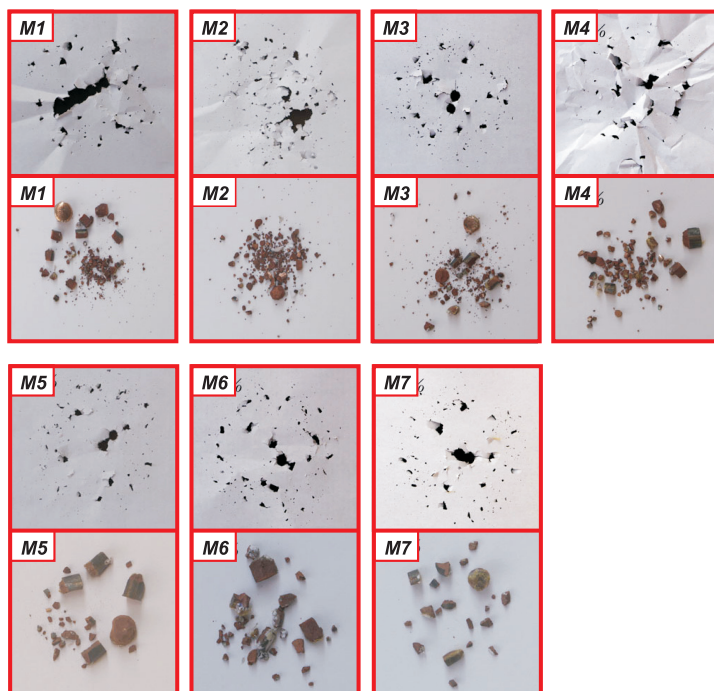
Podczas badań wytrzymałości spieków na obciążenia występujące w lufie stwierdzono, że po wylocie z lufy pociski nie ulegały fragmentacji niezależnie od tego, jaki był skład chemiczny i temperatura spiekania materiału, z którego zostały

wykonane. Przestrzeliny w kształcie okręgu widoczne na ekranie-świadku były pojedyncze i regularne. Typowy widok przestrzeliny przedstawiono na rysunku 12.

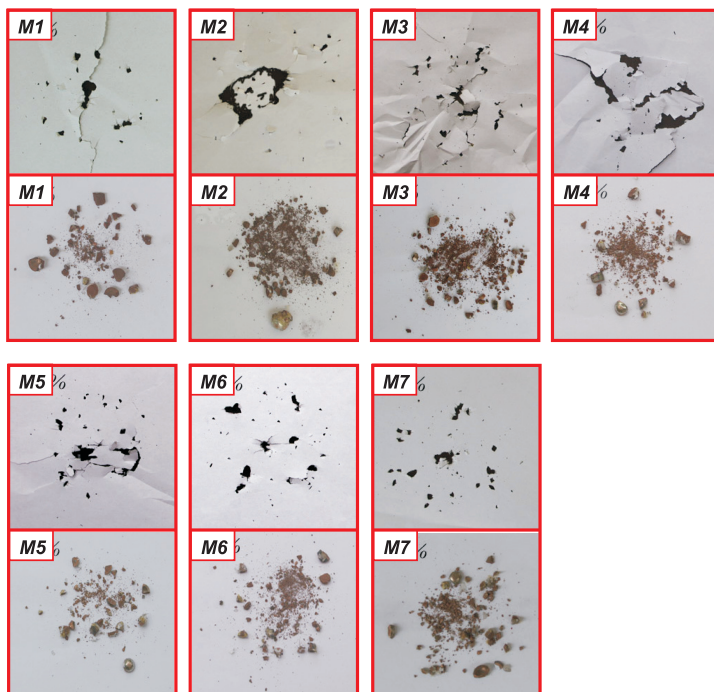


Rys. 12. Fotografia przestrzeliny po uderzeniu pocisku fragmentującego w ekran — „świadek”

Z kolei wyniki badań fragmentacji pocisków zobrazowano na rysunkach 13 i 14. Dla poszczególnych pocisków ze spieków M1 ÷ M7 przedstawiono fotografie ekranu-świadka oraz odpowiadające im fotografie wychwyconych fragmentów pocisków.



Rys. 13. Fragmenty pocisków oraz odpowiadające im otwory w ekranach papierowych (pociski wykonane w warunkach prasowania pod ciśnieniem P_2 i spiekania w temperaturze T_1)



Rys. 14. Fragmenty pocisków oraz odpowiadające im otwory w ekranach papierowych (pociski wykonane w warunkach prasowania pod ciśnieniem P_2 i spiekania w temperaturze T_2)

Wyniki uzyskane w czasie strzelań pozwalają stwierdzić, że wszystkie pociski perforowały 1 mm tarczę (blacha St 3) i ulegały fragmentacji. Na podstawie zbiorczej oceny przestrzelin w ekranach papierowych oraz ilości i wyglądu odzyskanych fragmentów pocisków trudno jest jednoznacznie wytypować spiek o najbardziej korzystnym składzie chemicznym. Można jednak stwierdzić, że z uwagi na dużą ilość drobnych odłamków pociski z materiału spiekane w temperaturze T_2 mają korzystniejszy rodzaj fragmentacji niż spieki otrzymane w wyniku spiekania w temperaturze T_1 . Ponadto, analiza przestrzelin pozwala przyjąć, że z punktu widzenia fragmentacji wydaje się, że korzystne składy chemiczne mają spieki oznaczone symbolami M3, M6 i M7, spiekane w temperaturze T_2 . Pociski z tych spieków fragmentowały się na odłamki o masie nie przekraczającej 1 g.

Ostatecznie przyjęto, że dalsze badania będą prowadzone z wykorzystaniem pocisków wykonanych z mieszanki M6 (Cu+14%Sn), prasowanych pod ciśnieniem P_2 i spiekanych w temperaturze T_2 .

Zaobserwowano także, że perforacje w tarczy papierowej pochodzące od odłamków pocisków układają się quasi-regularnie, tworząc obrys podobny do okręgu. Widoczne większe otwory w papierowych ekranach zostały prawdopodobnie

nie wykonane zarówno przez duże odłamki samego pocisku, jak i przez fragmenty blachy stalowej, z której wykonano tarczę.

Na podstawie szczegółowej analizy kształtu większych fragmentów pocisków (2÷3 g) stwierdzono, że prawdopodobnie pochodzą one z ostrołukowej części pocisku (rys. 15). Kształt odłamka pocisku wskazuje, że w czasie zderzenia z przeszkodą ulegał on plastycznemu odkształceniu bez znacznego naruszenia spójności tej części pocisku.

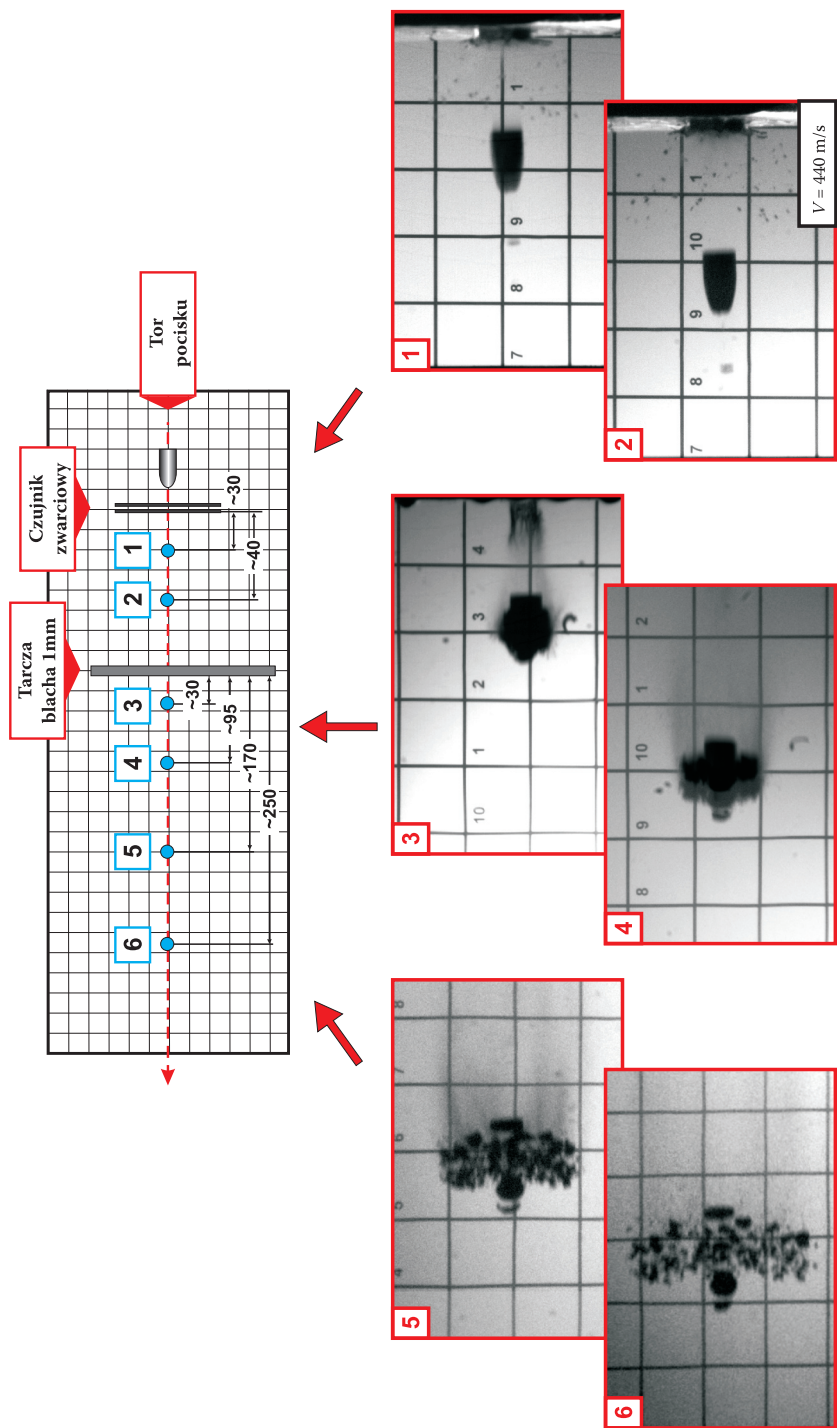


Rys. 15. Fotografia odłamka powstałego z wierzchołkowej części pocisku — największy odzyskiwany fragment

Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest niejednorodny rozkład gęstości materiału pocisku wynikający z technologii formowania wypraski z mieszanki proszkowej. Specyfika prasowania jednostronnego oraz ostrołukowy kształt gniazda zasypowego dolnej części matrycy sprawia, że mimo stosowania środka poślizgowego i bardzo wysokiego ciśnienia prasowania, różnica w gęstości obszarów części ostrołukowej pocisku (mała gęstość) i tylnej (duża gęstość) jest znaczna. Dlatego w trakcie procesu spiekania z udziałem fazy ciekłej, pod wpływem działania sił kapilarnych cyna przemieszcza się do obszarów o małej gęstości — tam gdzie struktura spieku charakteryzuje się największą porowatością. Cyna jest metalem plastycznym, a ponieważ jej stężenie w części ostrołukowej jest dużo większe niż w pozostałych obszarach pocisku, pod wpływem naprężeń powstałych w chwili zderzenia z tarczą stalową, część ostrołukowa nie pękała na drobne fragmenty, lecz odkształcała się plastycznie.

4.2.2. Ocena fragmentacji na podstawie obserwacji optycznych

Wyniki obserwacji optycznych przedstawione na rysunkach 16 i 17 potwierdzają wnioski sformułowane podczas badań doświadczalnych zaprezentowanych w poprzednim rozdziale. Pociski ze spieku Cu-Sn nie ulegają fragmentacji pod wpływem działania sił występujących w lufie oraz podczas lotu balistycznego (rys. 16, fot. 1 i 2). Zderzenie pocisku z tarczą stalową o grubości 1 mm wywołuje, w efek-



Rys. 16. Fotografie wybranych faz lotu pocisku i jego fragmentów po penetracji blachy stalowej o grubości 1 mm (numery zdjęć odpowiadają numerom obszarów obserwacji kamer, które przedstawiono na schemacie)

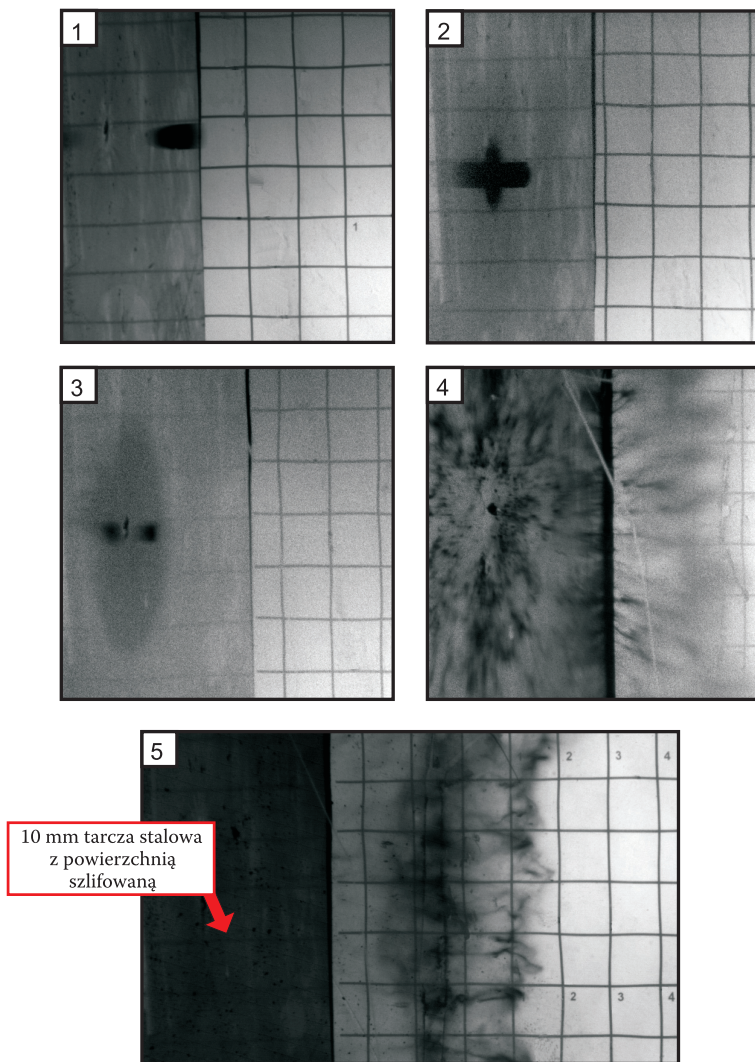
cie działania fali odciążenia, dezintegrację pocisku na stosunkowo małe odłamki, które ulegają promieniowemu rozproszeniu. Rozlot odłamków jest powodowany przez siłę odśrodkową wynikającą z ruchu obrotowego pocisku, nadawanego mu w celu stabilizacji na torze lotu. Stąd powstawanie charakterystycznych „okręgów perforacyjnych”, które zaprezentowano wcześniej na rysunkach 13 i 14. Średnica „chmury” odłamków widoczna na rysunku 16 (fot. 6) wynosi około 60 mm. Wykonując proste obliczenia bazujące na analizie geometrycznej ruchu odłamków, można stwierdzić, że w odległości 1 m i 2 m od tarczy, średnica chmury odłamków wynosi już odpowiednio ~ 230 mm i ~ 450 mm.

Interesujące spostrzeżenia wypływają z porównania fotografii z badań eksperymentalnych pocisków fragmentujących z analogicznymi zdjęciami standardowych pocisków Parabellum z rdzeniem ołowianym (rys. 16 i 18). Pocisk standardowy po zderzeniu z 1 mm blachą stalową ulega jedynie małej deformacji plastycznej, która obejmuje tylko jego część ostrołukową (rys. 18, fot. 3, 4, 5, 6). Prędkość częściowo zdeformowanego pocisku prawdopodobnie nie zmniejsza się znacząco mimo zderzenia z tarczą oraz wskutek wzrostu oporu aerodynamicznego wynikającego z deformacji kształtu pocisku. Zdolność do rażenia takiego pocisku pozostaje nadal wysoka, nawet w znacznej odległości za tarczą.

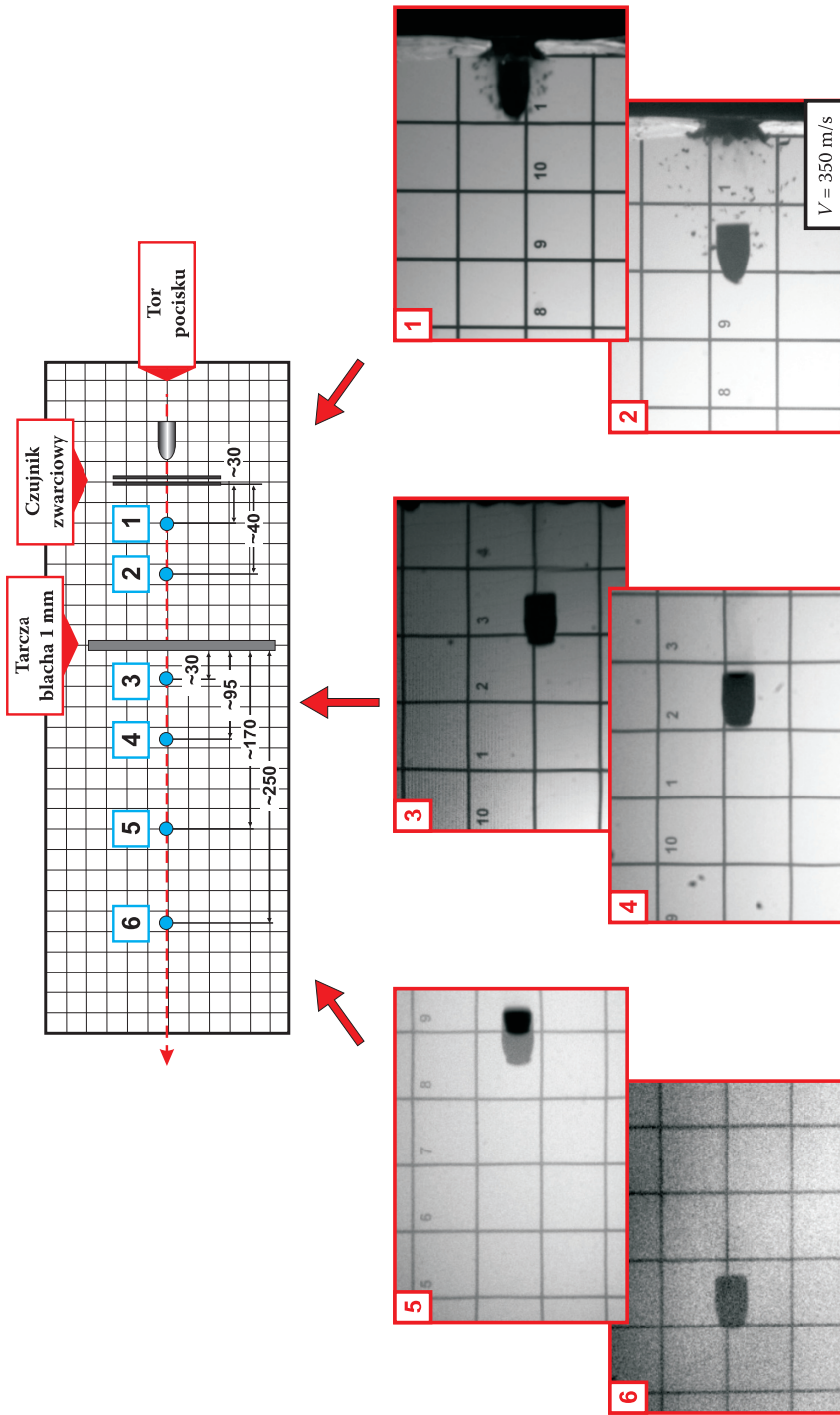
Odmienne cechy wykazuje natomiast pocisk ze spieku Cu-Sn. Zderzenie z 1 mm tarczą stalową wywołuje w nim wiele pęknięć i powoduje powstanie dużej ilości odłamków o małej masie. Zgodnie z opisanym wcześniej mechanizmem, odłamki te mają dużą zdolność do rozpraszania się i wytracania energii na stosunkowo krótkim dystansie. Po przebiciu 1 mm blachy stalowej ich zdolność do rażenia wydaje się zatem stosunkowo niska.

Potwierdzeniem dużej zdolności do fragmentacji pocisków Cu-Sn i małej strefy rażenia odłamków są wyniki uzyskane podczas eksperymentu zderzenia pocisku z grubą tarczą stalową o dużej twardości. Na rysunku 17 przedstawiono fotografie kadrowe pięciu kolejnych faz zderzenia pocisku fragmentującego z twardą tarczą. W wyniku takiego zderzenia powstawała chmura bardzo drobnych odłamków, przypominająca obłok dymu lub kurzu (rys. 17, fot. 4 i 5). Chmura ta miała bardzo małą zdolność do penetracji, o czym świadczy fakt, że nie powodowała ona większych zniszczeń przezroczystej osłony ekranu skalującego (3 mm pleksi) usytuowanej w odległości około 20 cm od miejsca zderzenia. Niewielkie, miejscowe zniszczenia wyrządzane przez drobiny chmury odłamków zaobserwowano dopiero po trzech — czterech eksperymentach.

Należy przypomnieć, że standardowy pocisk z rdzeniem ołowianym w przypadku prostopadłego uderzenia w grubą i twardą tarczę metalową ulega bardzo dużej deformacji plastycznej (rys. 19) i odbija się od tarczy (ang. *splashback*) na odległość do 10 m [13]. W toku badań własnych zaobserwowano, że pociski standardowe odbijały się od tarczy na odległość nie przekraczając 2,5 m.



Rys. 17. Fazy fragmentacji pocisku ze spieku Cu-Sn podczas zderzenia z tarczą stalową o dużej twardości



Rys. 18. Fotografie wybranych faz lotu pocisku bojowego po penetracji blachy stalowej o grubości 1 mm (numery zdjęć odpowiadają numerom obszarów obserwacji kamer, które przedstawiono na schemacie)



Rys. 19. Elementy pocisku Parabellum z rdzeniem ołowianym po zderzeniu prostopadłym z tarczą stalową

5. Podsumowanie

Przedstawione wyżej wyniki badań technologicznych i balistycznych pozwalają twierdzić, że otrzymane za pomocą ww. technologii pociski nie ulegają zniszczeniu pod wpływem działania sił występujących w czasie napędzania w przewodzie lufy i podczas lotu balistycznego. Pociski te charakteryzują się bardzo dobrą zdolnością do fragmentacji, nawet po zderzeniu z tarczą metalową o grubości 1 mm.

Takie zderzenie wywołuje dezintegrację pocisków na stosunkowo małe odłamki, które ulegają promieniowemu rozproszeniu pod wpływem siły odśrodkowej ruchu obrotowego pocisku. Po przebiciu 1 mm blachy stalowej zdolność pocisków do rażenia wydaje się zatem niska. Z kolei zderzenie badanych pocisków z grubą tarczą stalową o dużej twardości powoduje powstanie chmury bardzo drobnych odłamków, przypominającej obłok dymu lub kurzu, która w odległości powyżej 60 cm od miejsca zderzenia, daje efekt jedynie miejscowego zmatowienia ekranu ochronnego wykonanego z 15 mm przezroczystego poliwęglanu.

Opracowana wstępnie technologia umożliwia wytwarzanie pocisków fragmentujących, które spełniają podstawowe kryteria stawiane tego typu pociskom ćwiczebnym (duża zdolność do fragmentacji, materiał pocisków pozbawiony pierwiastków toksycznych). Ponadto zaprezentowana technologia jest stosunkowo tania i może być zaimplementowana przez polski przemysł amunicyjny z wykorzystaniem rodzimych surowców.

W trakcie badań stwierdzono, że stosowanie ekranów papierowych w zupełności wystarcza do oceny właściwości mechanicznych badanych spieków w warunkach strzału oraz do analizy fragmentacji pocisku wskutek zderzenia z blachą stalową.

W pracy zastosowano nietypowe i nowoczesne techniki badawcze, wśród których na uwagę zasługuje zaprezentowana technika rejestracji kadrowej. Pozwala ona na bezpośredni dostęp do rejestrowanych ekspozycji, a przy pomocy specjalistycznego oprogramowania umożliwia analizę kształtu pocisku, określanie jego

prędkości przed fragmentacją i po niej, ocenę efektu penetracji przeszkody oraz deformację na tarczy. Z tego względu wyniki otrzymane za pomocą tego układu badawczego mogą stanowić materiał pomocny w opracowaniu i weryfikacji teoretycznych modeli procesu deformacji nowoczesnej amunicji strzeleckiej i artyleryjskiej. Ponadto oprogramowanie do obsługi systemu HSC-6145 z kamerami typu HSC-145BW może być z powodzeniem wykorzystane do laboratoryjnej i poligonomowej diagnostyki amunicji fragmentującej.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.11.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w marcu 2006 r.

LITERATURA

- [1] T. L. JONES, *Frangible and Nontoxic Ammunition*, www.policeandsecurity-news.com, 2003.
- [2] J. JANISZEWSKI, W. FURMANEK, J. KIJEWSKI, *Badania technologiczne fragmentującego się pocisku pistoletowego*, V Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia, Waplewo, 2004.
- [3] W. FURMANEK, P. KUPIDURA, R. WOŹNIAK, *Analiza konstrukcyjna amunicji strzeleckiej o ograniczonej strefie rażenia pod kątem jej przydatności w działaniach wojskowych i policyjnych*, Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej, Kołobrzeg, 2002.
- [4] G. BELANGER et al., *Frangible practice ammunition*, United States Patent 5, 237, 930, 1993.
- [5] H. L. WEST et al., *Lead-free frangible ammunition*, United States Patent 5, 616, 642, 1997.
- [6] S. J. BILSBURY et al., *Low toxicity composite bullet and material therefore*, United States Patent 5, 665, 808, 1997.
- [7] J. T. ABRAMS et al., *Lead-free frangible bullets and process for making same*, United States Patent 6, 074, 454, 2000.
- [8] J. C. BENINI, *Frangible metal bullets, ammunition and method of making such articles*, United States Patent 6, 263, 798, 2001.
- [9] K. RUTYNA, *Metody diagnozowania procesów wybuchowego formowania pocisków*, rozprawa doktorska, WAT, 1999.
- [10] K. RUTYNA i in., *Eksperymentalne metody diagnozowania prędkości oraz kształtu wybuchowo formowanych pocisków*, XXX MKM, Szczecin 1998, 267-273.
- [11] K. JACH i in., *Laboratoryjne stanowisko do fotografowania bardzo szybkich procesów kamerami CCD*, V Krajowa Konferencja PES-5, Kościelisko, 20-24 czerwca 2005.
- [12] L. BARANOWSKI, K. RUTYNA, Z. SURMA, M. SZUDROWICZ, *Wykorzystanie kamery zdjęć szybkich do badania powyłotowego działania gazów prochowych*, Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Waplewo, 2006.
- [13] Materiały ze strony internetowej www.SafeDirection.com.

J. JANISZEWSKI, K. RUTYNA, Z. SURMA, W. FURMANEK

Investigations of frangible bullets

Abstract. The paper concerns the frangible bullets developed at the Military University of Technology by using powder metallurgy. The results of the technological investigation related to the frangible bullets manufactured from Cu-Sn powders are reported in the first part of the paper, whereas in the

second one, the impact behavior results of the Cu-Sn frangible bullets upon hit selected targets are presented. To estimate frangibility of the tested bullets, the “fragments recovery” technique and the optical record method were used. It was found that the developed frangible bullets are characterized by high fragmentation capability upon impact against 1-mm steel sheet and by total disintegration upon impact on hard steel target.

Keywords: munition of limited field of fire, frangible bullets, non-lead ammunition, material investigations, high-speed photography

Universal Decimal Classification: 623.45