

Piotr Faber, Krzysztof Mrocza

Efekty uderzenia wybranych rodzajów pocisków w blachy stalowe

Wprowadzenie

Właściwości materiałów zależą nie tylko od ich składu chemicznego, makro- i mikrostruktury, warunków w jakich się znajdują (np. temperatura, ciśnienie), ale również od sposobu oddziaływania na nie, tj. prędkości i koncentracji przykładanej do nich energii kinetycznej oraz kinetyki tego procesu. Z tych względów badania efektów uderzenia pocisków o różnej masie i budowie w dany materiał stanowią odrębny obszar badań.

Destruktywne oddziaływanie pocisków na przeszkodę sprowadza się do przekazania odpowiednio dużej i skoncentrowanej energii, wystarczającej do naruszenia spójności materiału. Zależnie od wspomnianej kinetyki tego procesu, tj. utrzymania lub nawet zwiększenia koncentracji energii podczas uderzenia, lub przeciwnie – jej rozproszenia, efekty oddziaływania pocisku na materiał są różne. Pocisk może przejść na wskroś przez przeszkodę (porównywalna średnica otworu wlotowego i wylotowego), zachowując swoją spójność, może ulec fragmentacji w pierwszej fazie kontaktu z przeszkodą, a może też ulec rozdzieleniu wewnątrz materiału. Zależy to po części od cech materiału, z jakiego wykonana jest przeszkoda, ale w znacznym stopniu od budowy pocisku. Budowa oraz kształty pocisków są różne i zależą od poszczególnych producentów oraz przeznaczenia. Istotna dla balistyki jest grubość płaszczka, twardość rdzenia, kształt pocisku, zespolenie rdzenia i płaszczka.

Pociski Soft Point charakteryzują się miękkim rdzeniem wykonanym z ołowiu lub jego stopu, który najczęściej w części wierzchołkowej jest odkryty. Taka budowa pozwala na stosunkowo szybką i gwałtowną deformację po trafieniu w przeszkodę. Dzięki temu zwiększa się pole przekroju poprzecznego pocisku. Proces ten nosi nazwę „grzybkowania” – od kształtu, jaki uzyskuje pocisk. Większa powierzchnia pocisku prowadzi do szybszego wytracenia prędkości, przy jednoczesnym, lepszym oddawaniu energii do materiału (celu). Jest to istotne podczas polowań. Pociski półpłaszczkowe są najpopularniejsze wśród myśliwych.

Pociski Hollow Point w części wierzchołkowej posiadają niewielki otwór. Rdzeń ma wgłębienie i nie wypełnia w całości płaszczka. Pociski są zaprojektowane tak, aby w momencie trafienia ulegały maksymalnej deformacji. Grzybkowanie następuje

szybko, ponieważ ciśnienie w pustej wierzchołkowej części osiąga duże wartości. W związku z powyższym ten typ pocisku charakteryzuje się najmniejszą zdolnością do penetracji. Są bardzo często używane do treningu strzeleckiego.

Pociski Full Metal Jacket posiadają cylinder wiodący, głowicę i czoło okryte płaszczem. Częściowo odsłonięte jest jedynie dno pocisku. Do produkcji płaszczy amunicji wojskowej, jak również taniej amunicji na rynek cywilny, używa się stali ciągliwej, która jest platerowana miedzią. Bardzo często rdzeń pocisku jest lity – stalowy. Taka budowa ma na celu zminimalizowanie odkształceń, szczególnie poprzecznych oraz jak największą penetrację celu. Pociski te mają największe zastosowanie w służbach mundurowych (wojsko, policja) oraz wśród strzelców sportowych.

Kalibry, które użyto do poniżej opisanych testów, należą do różnych grup. Naboje .223 Rem (5,56 x 45 mm) i 7,62 x 39 mm to przedstawiciele amunicji pośredniej, natomiast .30-06 karabinowej. Główna różnica polega na energii, jaką uzyskują pociski. Amunicja karabinowa jest zdecydowanie mocniejsza (tabela nr 3).

Nabój .223 Remington jest cywilną wersją wojskowego naboju 5,56 x 45. Jego historia zaczyna się w latach 60. XX wieku. Powstał on w wyniku przeprojektowania naboju kaliber .222 Remington. Wydłużona została długość łuski, co pozwoliło na zwiększenie ładunku prochowego. Dzięki temu wzrosła energia wystrzelonego pocisku. Do głównych zalet należą przede wszystkim wysoka celność, mały odrzut broni, płaski tor lotu pocisku do odległości 300 metrów. Do wad można zaliczyć wrażliwość na boczny wiatr oraz stosunkowo małą energię na dystansie powyżej 200 metrów.

Nabój pośredni 7,62 x 39 wz. 43 mm zaprojektowano podczas II wojny światowej. Przez kilkadziesiąt lat był podstawowym nabojem pośrednim w państwach związanych gospodarczo ze Związkiem Radzieckim. Przez lata jego popularność wzrastała na całym świecie. Podstawową zaletą jest stosunkowo mały odrzut broni, dosyć dobra balistyka na dystansach do 300 metrów, ogromne rozpowszechnienie, niskie koszty amunicji w szczególności tej ze starych wojskowych magazynów. Do wad należy zaliczyć słabe skupienie na dystansach powyżej 200 metrów, ograniczony wybór pocisków, stromy tor lotu.

Nabój karabinowy .30-06 Springfield (europejskie oznaczenie 7,62 x 63 mm) został wprowadzony do uzbrojenia armii USA na początku XX wieku. Przez lata był podstawowym kalibrem karabinowym wielu państw. W dalszym ciągu bardzo popularny wśród myśliwych. Zaletą jest wysoka energia, możliwość stosowania pocisków o masie od 7 do ponad 14 gramów. Wadą jest stosunkowo duży odrzut broni, wyższy koszt amunicji niż wymienionych wyżej naboji pośrednich.

Różne rodzaje amunicji (budowa, kaliber, masa) służą głównie zwiększeniu jej skuteczności. Jednocześnie poszukuje się materiałów umożliwiających ochronę przed tego typu bronią. Biorąc pod uwagę istotę reakcji pocisku z przeszkodą, wskazać można dwie cechy materiału uniemożliwiające jego wykorzystanie w takim celu. Duża wytrzymałość – materiał (przeszkoda) nie ulega uszkodzeniu, a energia kinetyczna pocisku została zużyta do jego zniszczenia, lub zdolność do pochłonięcia energii pocisku i użycia jej np. do dokonania lokalnego odkształcenia plastycznego materiału. Materiały metaliczne to jedne z tych, które mogą spełnić te wymagania.

Stale to materiały na osnowie żelaza z udziałem węgla (do 2,11%) i innych pierwiastków chemicznych. W zwykłych stalach konstrukcyjnych są to Mn i Si, a w narzędziowych również Cr, Mo, V, W. Właściwości tych materiałów zależą również od ich mikrostruktury, która może być różna zależnie od przeprowadzonej obróbki cieplnej, co szczególnie dotyczy stali narzędziowych. Najmniejszą twardość i wytrzymałość oraz jednocześnie największą odporność na pękanie uzyskuje się po wyżarzaniu, zwykle powyżej 800°C, i powolnym chłodzeniu, a odwrotny efekt, gdy wykonano hartowanie. Zwykle po hartowaniu wykonuje się jeszcze operację odpuszczenia (wyżarzania przy temperaturach do 600°C) w celu zwiększenia odporności na pękanie, przy zachowaniu dużej twardości. Zwykle stale konstrukcyjne nie są przewidziane do ulepszenia cieplnego (hartowanie i podpuszczanie), wykazują mniejszą wytrzymałość niż stale narzędziowe, ale charakteryzują się dobrą spawalnością.

Ze względu na znaczną wytrzymałość stali, dostępność, a wręcz powszechność stosowania, przeprowadzono badania efektów uderzenia wybranych pocisków w blachy wykonane z typowej niskowęglowej stali konstrukcyjnej oraz łatwo dostępne i obrabialnej cieplnie stali narzędziowej.

Materiały, metodyka eksperymentu i badań

Materiałami poddanymi uderzeniom pocisków były dwa rodzaje stali: stal narzędziowa X153CrMoV12 (poprzednio stosowane oznaczenie NC11LV) i konstrukcyjna S235JR (poprzednio stosowane oznaczenie St3S). Elementy były w formie blachy o grubości odpowiednio: 10 i 8 mm. Stal konstrukcyjna była w stanie dostawy, natomiast stal narzędziową poddano eksperymentom strzelania w trzech stanach: dostawy, zmiękczonej w wyniku obróbki cieplnej (wyżarzanie przy temperaturze 850°C przez 10 min i chłodzonej z piecem) oraz hartowanej (obróbka cieplna 900°C przez 15 min, chłodzenie na powietrzu z nadmuchem). Skład chemiczny materiałów poddano w tabeli 1, a ich twardość (zmierzoną w ramach badań przy użyciu twardościomierza Vickersa) w tabeli 2.

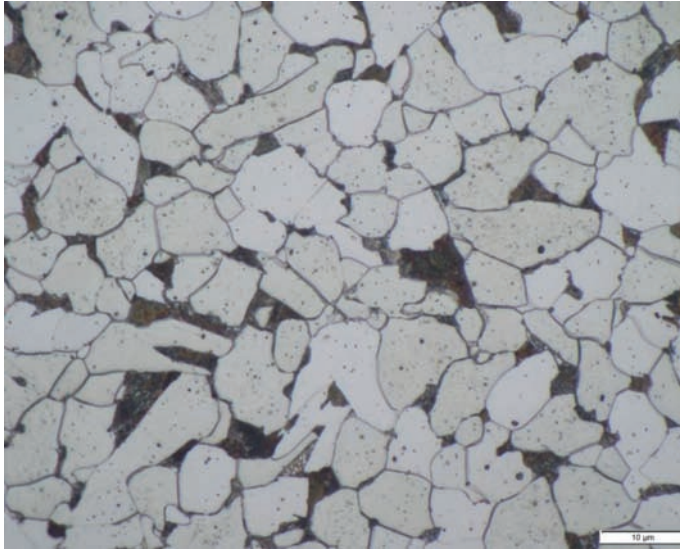
Tab. 1. Skład chemiczny badanych stali (% wag)

Stal	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Cu	W	Ni	S	P
X153CrMoV12	1,5–1,7	0,15–0,45	0,15–0,4	11–13	0,7–1,0	0,6–0,8	Max 0,35	Max 0,2	Max 0,35	Max 0,03	Max 0,03
S235JR	Max 0,22	Max 1,10	0,10–0,35	Max 0,30	–	–	Max 0,30	–	Max 0,30	Max 0,050	Max 0,050

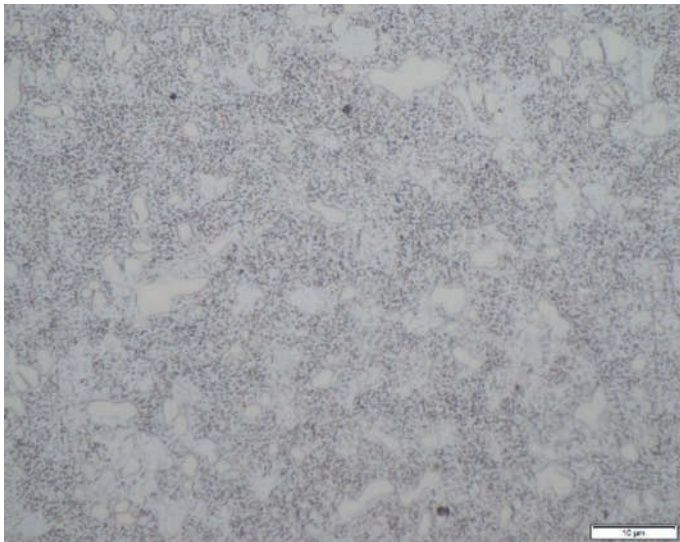
Tab. 2. Twardość stali

Stal	Twardość w stanie		
	dostawy	zmiękczonej	po hartowaniu
X153CrMoV12	229 HV20	216 HV20	730 HV20
S235JR	145 HV10	–	–

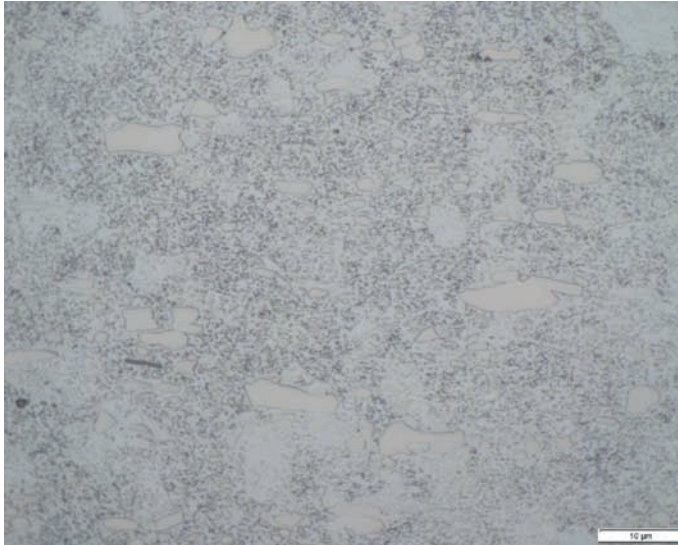
Mikrostrukturę stali pokazano na rysunkach 1–4, przy czym ujawniano ją przez trawienie zglądów odczynnikami 10g KOH, 10g K₃[Fe(CN)₆]/100 cm³ H₂O – stal narzędziowa, oraz Nitalem (4% HNO₃ w etanolu) – stal konstrukcyjna. Zglądy szlifowano i polerowano mechanicznie. W badaniach wykorzystano mikroskop świetlny GX51 firmy Olympus.



Rys. 1. Mikrostruktura stali S235JR, stan dostawy, mik. świetlny, pow. 1000



Rys. 2. Mikrostruktura stali X153CrMoV12, stan dostawy, mik. świetlny, pow. 1000



Rys. 3. Mikrostruktura stali X153CrMoV12, stan zmiękczony, mik. świetlny, pow. 1000

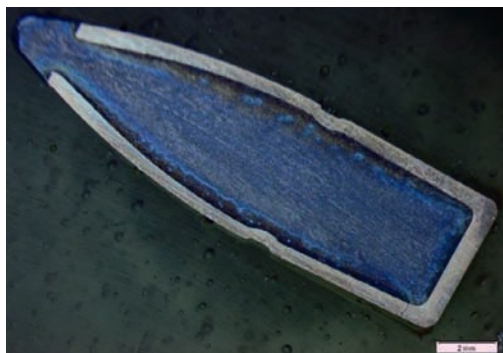


Rys. 4. Mikrostruktura stali X153CrMoV12 stan po hartowaniu, mik. świetlny, pow. 1000

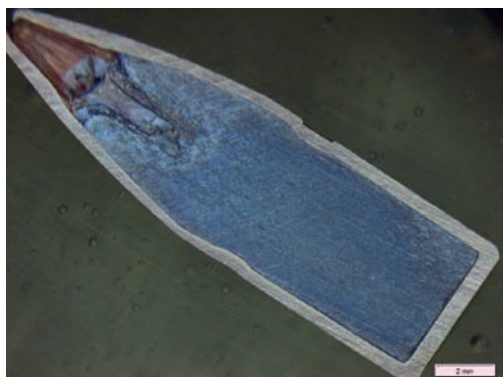
Strzelanie odbyło się na strzelnicy myśliwskiej w Sieradzu (dokładnie w przysiółku Fiuk). Odległość do badanych próbek wynosiła 100 m. Użyto broni HOWA Mod. 1500 w kal. .223 Rem, SKS-45 w kal. 7,62 x 39 oraz WINCHESTER Mod. 70 w kal. .30-06 Springfield. Wykorzystano pociski: w kalibrze .223 Rem SAKO Gamehead 3,56 [g] – SP, Hornady Steel Match 3,56 [g] – HP, GGG 3,56 [g] – FMJ, kaliber 7,62 x 39 7,91 [g] – FMJ, kaliber .30-06 Springfield Lapua Trainer 8 [g] – FMJ.

Przekroje poprzeczne pocisków pokazano na rysunkach 5–9. Większość ujawniono przez zatopienie w materiale polimerowym DurAcryl i szlifowanie. W badaniach wykorzystano mikroskop świetlny stereoskopowy SZX7 firmy Olympus. Różnice między poszczególnymi pociskami dotyczą kalibru i budowy. Na rysunku 5 pokazano pocisk Soft Point .223 Rem z odsłoniętym ołowianym wierzchołkiem, na rysunku 6 pocisk Hollow Point .223 Rem. Widoczny jest otwór wierzchołkowy oraz wgłębienie rdzenia charakterystyczne dla tej konstrukcji. Na rysunku 7 pocisk Full Metal Jacket .223 Rem, na rysunku 8 pocisk FMJ 7,62 x 39, na rysunku 9 pocisk FMJ .30-06. Jak pokazano wszystkie pociski pełnopłaszczkowe mają częściowo odsłonięte dno. Może to prowadzić podczas wystrzału do odparowywania niewielkiej ilości ołowiu. Ponadto niekorzystnie wpływa na celność w porównaniu do pocisków z jednolitym dnem. Pocisk zwykły FMJ kalibru 7,62 x 39 jako jedyny z grupy pocisków pełnopłaszczkowych posiada rdzeń wykonany ze stali. Jak widać na rysunku 8 pomiędzy stalowym płaszczem pocisku, który jest platerowany miedzią zarówno z zewnątrz, jak i wewnątrz, a rdzeniem znajduje się wypełnienie ze stopu ołowiu. Jest ono potocznie nazywane „koszulką”. Ma na celu zwiększenie masy pocisku oraz zmniejszenie zużycia przewodu lufy broni.

Różnica w budowie wpływa m.in. na energię jaką pocisk uzyskuje – tabela 3.



Rys. 5. Przekrój pocisku SP .223 Rem



Rys. 6. Przekrój pocisku HP .223 Rem



Rys. 7. Przekrój pocisku FMJ .223 Rem



Rys. 8. Przekrój pocisku FMJ 7,62 x 39 z widocznym stalowym rdzeniem



Rys. 9. Przekrój pocisku FMJ .30-06

Tab. 3. Energie [J] i prędkości [m/s] jakie uzyskują poszczególne pociski

Rodzaj pocisku	E_0^*/V_0^*	E_{100}^*/V_{100}^*
.223 Rem Soft Point 3,56 g	1658/965	1208/824
.223 Rem Hollow Point 3,56 g	1738/987	1525/925
.223 Rem Full Metal Jacket 3,56 g	1835/1015	1410/890
7,62 x 39 Full Metal Jacket 7,9 g	1990/735	1485/615
.30-06 Full Metal Jacket 8 g	3204/895	2468/786

* Wartości podane przez producentów

Badania prowadzono w zakresie oceny wpływu na materiał (jego budowę i właściwości) uderzenia pocisku (różnego typu), stosując ocenę makroskopową miejsca trafienia oraz obserwacje mikroskopowe z zastosowaniem mikroskopu stereoskopowego (j.w.), skaningowego mikroskopu elektronowego typu 6610LV firmy JEOL – obserwacje z zastosowaniem detektorów elektronów wtórnych (SE – *secondary electron*) i wstecznie rozproszonych (BSE – *backscattered electron*) oraz badanie składu chemicznego z zastosowaniem detektora EDS (*energy dispersive spectroscopy*) i oprogramowania AzTec firmy Oxford. Pomiar wielkości miejsca trafienia wykonano suwmiarką cyfrową z rozdzielczością pomiarową 0,01 mm – obliczono pole powierzchni uszkodzenia w płaszczyźnie powierzchni materiału oraz objętość uszkodzenia w przeliczeniu na objętości stożka ($1/3$ iloczynu pola powierzchni i głębokości). Badaniu poddano również pociski FMJ, które penetrowały stal S235JR. Pomiarów dokonano przy użyciu mikroskopu stereoskopowego. Zbadano również masy pocisków (z zastosowaniem wagi cyfrowej).

Wyniki badań i ich dyskusja

W tabelach 4 i 5 przedstawiono zestawienie wyników pomiarów opisujących wielkość uszkodzenia materiału w wyniku uderzenia danego typu pocisku, odpowiednio, gdy materiał był w stanie dostawy i w stanie zmiękczonym.

Tab. 4. Pomiar zagłębień po trafieniu pocisku, stal X153CrMoV12 – stan dostawy

Kaliber	Typ pocisku	Pole powierzchni [mm ²]	Głębokość [mm]	Objętość* [mm ³]
.223 Rem	SP 3,56[g]	133,68	3,80	169,33
.223 Rem	HP 3,56[g]	138,85	2,36	106,45
.223 Rem	FMJ 3,56[g]	93,26	1,90	59,06
7,62x39	FMJ 7,91[g]	142	4,10	194,07
.30-06	FMJ 8,0[g]	189,81	4,90	310,02

* Objętość na podstawie pola powierzchni i głębokości w przeliczeniu na obj. stożka



Rys. 10. Płytkę ze stali X153CrMoV12 stan dostawy z widocznymi miejscami trafień pocisków FMJ. U góry 7,62 x 39, na dole z lewej .30-06, z prawej .223 Rem.

Tab. 5. Pomiar zagłębień po trafieniu pocisku, stal X153CrMoV12 – stan zmiękczoney

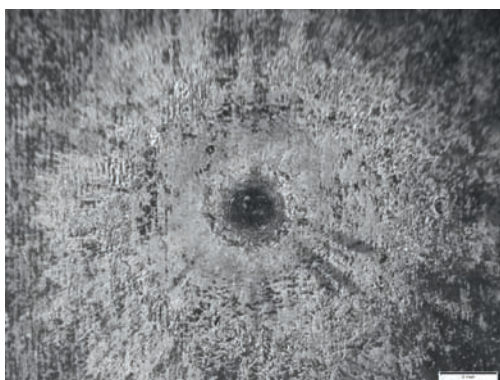
Kaliber	Typ pocisku	Pole powierzchni [mm ²]	Głębokość [mm]	Objętość* [mm ³]
.223 Rem	SP 3,56[g]	158,95	4,05	211,93
.223 Rem	HP 3,56[g]	142,21	2,48	117,56
.223 Rem	FMJ 3,56[g]	98,47	1,94	63,68
7,62x39	FMJ 7,91[g]	157,06	4,25	222,50
.30-06	FMJ 8,0[g]	185,2	5,50	339,53

* Objętość na podstawie pola powierzchni i głębokości w przeliczeniu na obj. stożka

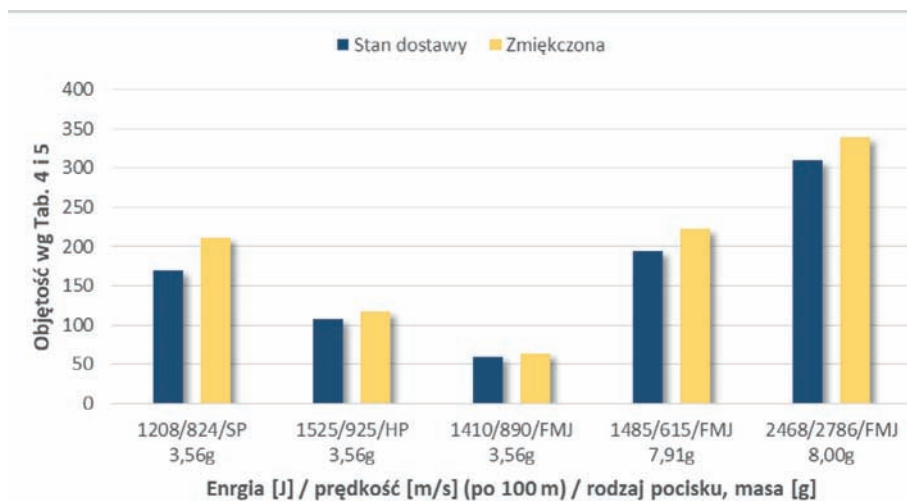


Rys. 11. Płytkę ze stali X153CrMoV12 stan zmiękczoney z widocznymi miejscami trafień pocisków FMJ. Od lewej 7,62 x 39, .30-06 oraz .223 Rem.

Pomiar nie był wykonywany dla stali X153CrMoV12 w stanie utwardzonym (po hartowaniu), ponieważ pociski nie powodowały odkształceń. Widoczne było jedynie miejsce trafienia pocisku – przykładowe pokazano na rysunku 12. Natomiast w wyniku trafienia pociskiem FMJ w kalibrze .30-06 płytkę uległa kruchemu pęknięciu i rozpadowi na dwie części.



Rys. 12. Płytkę ze stali X153CrMoV12 po hartowaniu z widocznym miejscem trafienia.

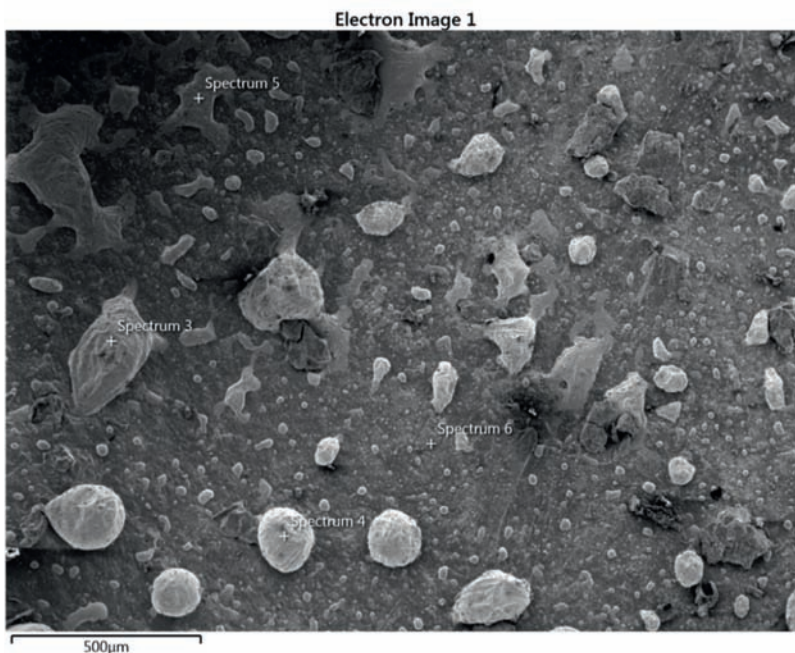


Rys. 13. Wykres obrazujący zależności między objętością usuniętego materiału (dla stanów dostawy i zmiękczonego) a energią pocisku (po 100 m), jego rodzajem i masą

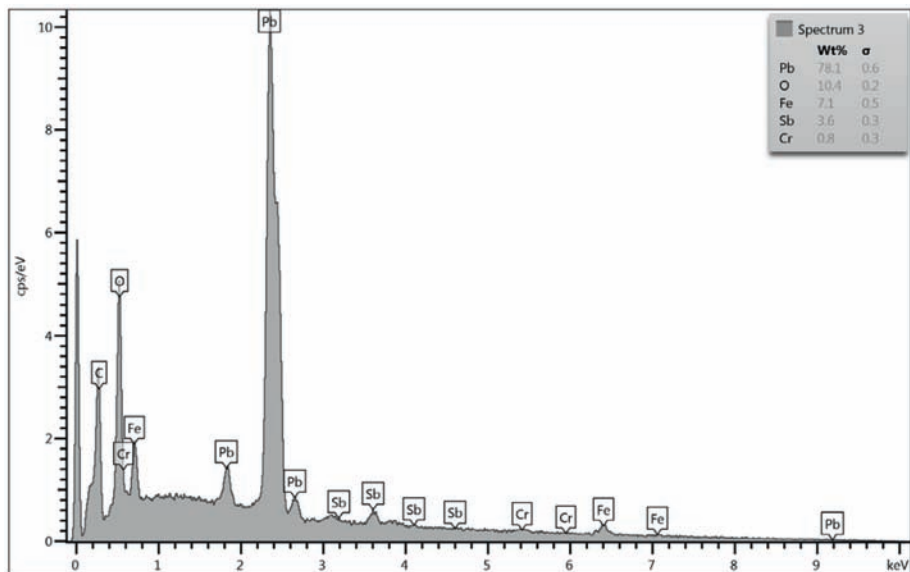
Dane pokazane w tabelach 4 i 5 oraz na wykresie, który obrazuje zależności między objętością usuniętego materiału a energią pocisku (po 100 m lotu), jego rodzajem i masą – pokazane na rysunku 13) wykazują, że zarówno energia pocisku, jak i jego rodzaj (budowa) mają bardzo duży wpływ na wielkość uszkodzeń. Najmniejszą energię posiadał pocisk typu SP 3,56 [g] a jednocześnie spowodował wyraźnie większy ubytek materiału przeszkody niż pocisk o energii o ponad 300 [J] większej – HP 3,56 [g]. Jest to związane z wolną przestrzenią w części wierzchołkowej pocisku HP (rysunek 6), co powoduje mniejszą zdolność do penetracji przeszkody. Następnie pocisk FMJ 3,59 [g] o energii 1410 [J] spowodował blisko trzy razy mniejsze uszkodzenie niż pocisk i FMJ 7,91 [g] o porównywalnej energii 1485 [J]. W tym przypadku przyczyną jest większa wytrzymałość pocisku FMJ 7,91 [g], wynikająca z obecności stalowego rdzenia, i tym samym większa zdolność do penetracji przeszkody. Zgodnie z oczekiwaniem, największy ubytek materiału zaobserwowano dla pocisku o największej energii (również prędkości i masie), tj. FMJ 8,00 [g]. Mniej niż dwukrotnie większa energia tego pocisku w stosunku do najmniejszej w testach energii pocisku FMJ 3,56 [g] spowodowała prawie sześciokrotnie większy ubytek materiału przeszkody. Ponadto przeprowadzone badania wykazały, że materiał w stanie dostawy pochłania większą ilość energii niż w stanie zmiękczonego dodatkową obróbką. Największą odporność wykazał oczywiście materiał w stanie umocnionym (tj. po hartowaniu), ale jednocześnie narażony jest na kruche pękanie, co nastąpiło dla pocisku FMJ 8,00 [g].

Badania mikroskopowe z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) umożliwiły analizę topografii powierzchni miejsca uderzenia pocisku oraz składu chemicznego występujących tam składników mikrostruktury. Na rysunku 14 pokazano mikrostrukturę dna miejsca uderzenia pocisku .30-06 (pocisk o największej energii) i z nim powiązane rysunek 15 i tabela 6, gdzie zaprezentowano

widmo charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego dla miejsca oznaczonego spectrum 3 na rysunku 14, zestawienie wyników dla wszystkich miejsc analizy – spectrum 3-6. Mikrostruktura badanego miejsca jest złożona ze składników o różnej morfologii. Skład chemiczny podłoża (spectrum 6) wskazuje na obecność stali, a znaczna ilość ołowiu i antymonu na stop, z którego wykonany był rdzeń pocisku. Oznacza to, że pocisk usunął znaczną część stali, a odsłonięta powierzchnia została powleczone cienką warstwą stopu Pb-Sb. Stop ten występuje też niezależnie i przyjął postać obiektów kulistych (spectrum 4), co wskazuje na wystąpienie temperatury powyżej temperatury topnienia tego stopu oraz swobodną krystalizację cieczy, która zdążyła utworzyć optymalny termodynamicznie kształt. W tym obszarze zaobserwowano jeszcze trzecią morfologię tego stopu, tj. obszary bardziej wypłaszczone, których kształt można skojarzyć z krystalizacją cieczy, ale stosunkowo dobrze zwilżającej podłoże – przykładowe, to spectrum 5, ale i 3. W skład chemicznych obszarów wchodzi również Fe, a dla spectrum 3 również Cr, wskazujące na udział stali. Można rozważać, że obecność tych pierwiastków wynika z charakteru analizy EDS, tj. wiązka elektronów wzbudza również atomy z obszaru pod cząstkami. Biorąc jednak pod uwagę, że badane cząstki wykazują szacunkową grubość, co najmniej 50 [mm], oraz występuje tam znaczny udział pierwiastka o dużej gęstości (Pb), a tym samym duże tłumienie energii wiązki elektronów. W takich warunkach grubość warstwy wzbudzonej gwałtownie maleje. Może to wskazywać na wymieszanie się stali z ołowiem z uwagi na rozpuszczalność żelaza w ciekłym ołowiu [4]. Wyjaśnienie tej kwestii wymaga dalszych badań.



Rys. 14. Mikrostruktura SEM dna miejsca uderzenia pocisku .30-06 (FMJ 8g)



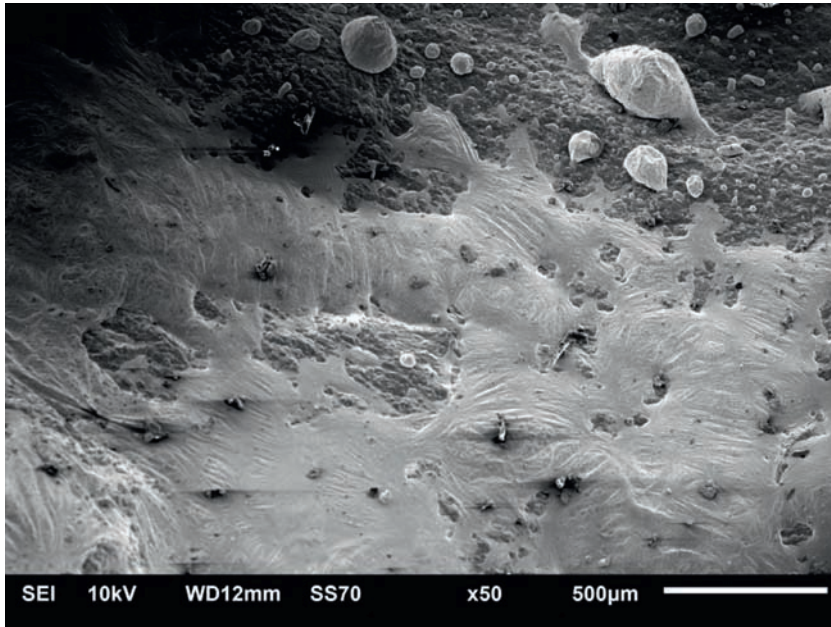
Rys. 15. Widmo X-EDS – oznaczenie składu chemicznego dla spectrum 3 z rysunku 14

Tab. 6. Składem chemicznym wybranych miejsc (spectrum) oznaczonych na rysunku 14, % wag

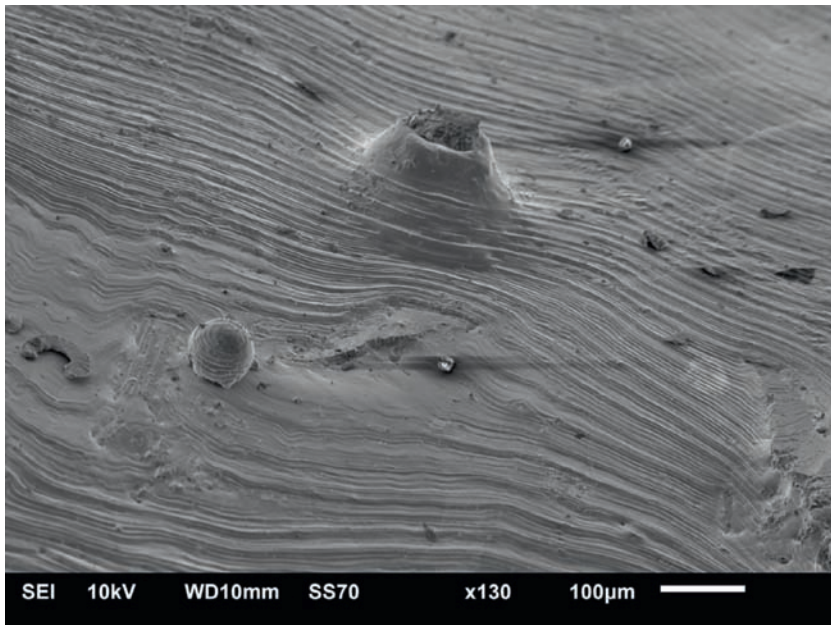
Spectrum	Fe	Cr	V	Pb	Sb	Si	O
3	7,1	0,8	–	78	3,6	–	10,4
4	–	–	–	93,0	4,2	–	2,8
5	1,6	–	–	94,5	2,2	–	1,7
6	74,1	7,1	1,0	12,7	1,0	0,2	3,8

Na kolejnych rysunkach 16–19 pokazano obszary na bocznych powierzchniach miejsca uderzenia oraz krawędzi przy powierzchni materiału. Morfologia obszarów pokrytych ołowiem może być dwojaka – z cienką warstwą stopu ołowiu i kulistymi jego wydzieleniami (podobnie jak na omawiamy powyżej dnie miejsca uderzenia) lub ze zdecydowanie grubszą warstwą stopu ołowiu i bez kulistych wydzieleni (rysunek 17) lub z ich sporadycznym występowaniem. Powierzchnia tych obszarów wykazuje specyficzną budowę pasmową, co pokazano na rysunku 17.

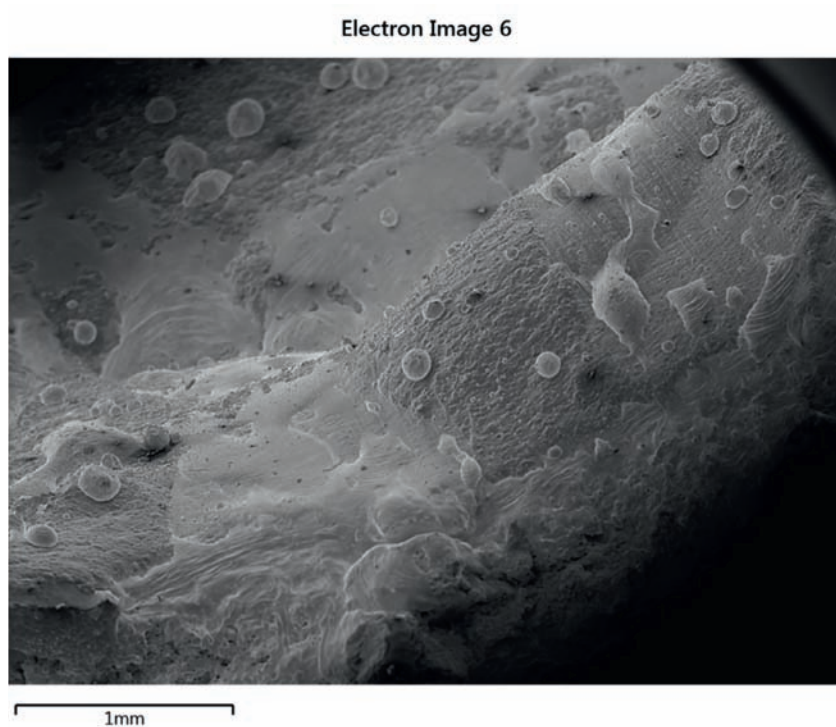
Kolejne rysunki przedstawiają budowę obszaru ułożonego przy krawędzi miejsca uderzenia. Jak można zaobserwować, struktura jest mieszana – podobna do omówionej wcześniej. Mapy X-EDS rozkładu pierwiastków chemicznych wykazują różną grubość warstwy stopu ołowiu i przypadkowe rozlokowanie obszarów o zróżnicowanej budowie.



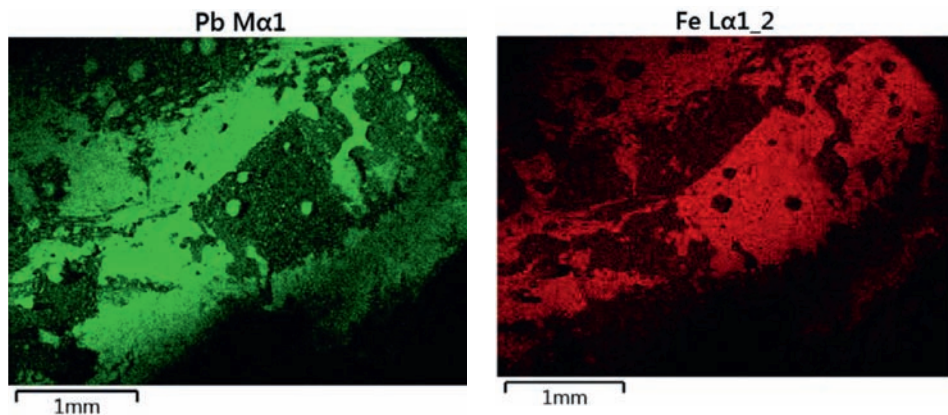
Rys. 16. Mikrostruktura SEM obszaru na bocznej powierzchni miejsca uderzenia pocisku



Rys. 17. Mikrostruktura SEM obszaru na bocznej powierzchni miejsca uderzenia pocisku



Rys. 18. Mikrostruktura SEM w pobliżu krawędzi miejsca uderzenia pocisku



Rys. 19. Mapy X-EDS obrazujące rozkład Pb i Fe – obszary jaśniejsze, na obszarze pokazanym na rysunku 18

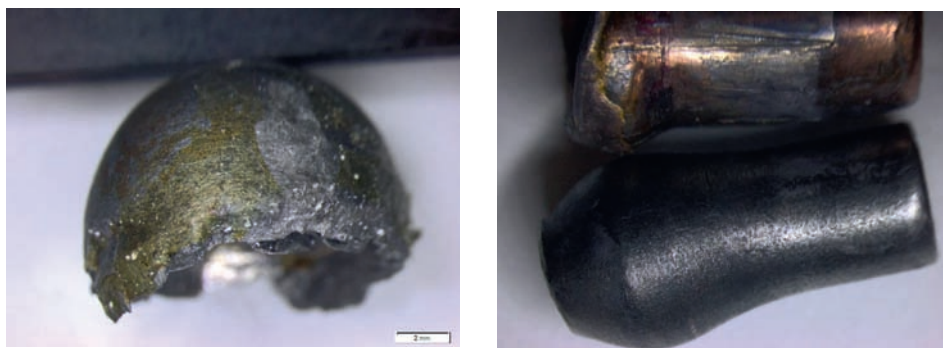
Kolejne eksperymenty dotyczyły analizy skutków uderzenia pocisków w płytkę wykonaną ze stali konstrukcyjnej. W przypadku stali S235JR oba pociski przebiły płytkę o grubości 8 [mm]. Jednak odkształcenia stali były zupełnie odmienne. Pocisk .223 Rem ponad dwukrotnie zwiększył swoją nominalną średnicę. Podczas

grzybkowania i przemieszczania się przez przeszkodę, część materiału przeszkody (stali) została naniesiona i zespoliła się z pociskiem, zwiększając jego wielkość i masę. Z tego powodu wlot pocisku ma większą średnicę niż wylot. Inne są również krawędzie. Wylot charakteryzuje się ostrymi ząbkowanymi krawędziami (rysunek 20 – lewa strona), natomiast wlot jest gładki.

Pocisk 7,62 x 39 uległ znacznej deformacji, rdzeń oddzielił się od płaszcza. Nie zaobserwowano klasycznego otworu wylotowego. Na tylnej stronie widoczne jest wybrzuszenie o średnicy około 2 [cm]. Fragment płaszcza z części wierzchołkowej pocisku pozostał w stalowym krążku, dzięki temu rdzeń mógł ulec oddzieleniu (rysunek 20 – prawa strona).



Rys. 20. Porównanie otworów wylotowych w stali S235JR



Rys. 21. Porównanie pocisków po przejściu przez płytę ze stali S235JR. Z lewej pocisk FMJ .223 Rem, z prawej pocisk FMJ 7,62 x 39.

Jak wspomiano powyżej badaniom poddano również pociski, które przeszły przez przeszkodę. Pocisk kalibru .223 Rem po przejściu przez stal przyjął półokrągły kształt o delikatnie chropowatej powierzchni (rysunek 21 – lewa strona). Jak wykazały pomiary zwiększył swoją masę z 3,56 [g] do 4,34 [g].

Z kolei w wyniku trafienia w płytę stalową rdzeń w pocisku 7,62 x 39 oddzielił się od płaszcza – rysunek 21 – prawa strona. Ślad ołowiu, który oddzielał te dwa elementy, widoczny jest jedynie na wnętrzu płaszcza w formie małych płatek. Mógł on zostać częściowo usunięty przez żel balistyczny, podczas wyhamowywania

pocisku po przejściu przez przeszkodę. Zmniejszenie masy z 7,91 [g] do 5,29 [g] wynika w głównej mierze z utraty ołowiu.

Wnioski

Przeprowadzone eksperymenty i badania umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- Stal konstrukcyjna S235JR wykazuje wyraźnie mniejszą odporność na uderzenie pocisków niż stal narzędziowa X153CrMoV12, nawet gdy znajduje się ona w stanie zmiękczonym.
- Płytkę ze stali konstrukcyjnej o grubości 8 [mm] wykazała mniejszą odporność na jej penetrację przez pocisk FMJ kalibru .223 Remington, który swobodnie ją przebił, ulegając modyfikacji przez naniesienie na jego powierzchnię warstwy stali, co wynika ze stosunkowo dużej prędkości oraz mniejszej średnicy pocisku.
- Stal X153CrMoV12 w stanie dostawy okazała się najbardziej odporna, ponieważ nie pękła po trafieniu silnym energetycznie pociskiem kalibru .30–06 jak to się stało w przypadku płytki utwardzonej (hartowanej). Jej uszkodzenia były mniejsze niż w przypadku stali w stanie zmiękczonym.
- Żaden z użytych pocisków nie posiadał wystarczającej energii, aby spenetrować materiał na większą głębokość. Najmocniejszy energetycznie pocisk FMJ .30–06 spenetrował połowę grubości płytki.
- Zdolność do penetracji danego pocisku zależy nie tylko od ilości energii, jaką wykazuje podczas uderzenia w przeszkodę, ale również od jego budowy.
- W grupie kalibru .223 Rem najlepsze rezultaty osiągnął pocisk Soft Point, następnie pocisk Hollow Point. Zaskakujące jest to, że najmocniejszy energetycznie Full Metal Jacket 3,56 [g] zajął ostatnią pozycję.
- Miejsce uderzenia pocisku z rdzeniem wykonanym ze stopu ołowiu pokryte jest w całości warstwą stopu, choć nierównomiernie.
- Stop ołowiu podczas uderzenia pocisku nagrzewa się powyżej temperatury topnienia, następnie krystalizuje się, tworząc obszary o różnej budowie; powstają również wydzielenia kuliste.

Bibliografia

- Radziszewski L., 2007. *Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy strzelaniu do wybranych celów*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce.
- Baranowski J.H., 2016. *Balistyka współczesna*. Wydawnictwo JHB, Warszawa.
- Dobrzański L.A., 2002. *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*. WNT, Warszawa.
- Onderka B., Jendrzeczyk-Handzlik D., Fitzner K., 2003. *Thermodynamic properties and phase equilibria in the ternary Cu–Pb–Fe System*. Archives of Metallurgy and Materials, 58(2).

The effects of the impact of selected types of missiles in steel sheets

Abstract

Efficiency of a firearm depends on both ammunition and a type of a gun. Bullets differ in calibre and framework. The core of a bullet destructive impact is the way of energy transfers

and its distribution in the material. It is also connected with the framework of bullets. The range of influence also depends on material features. This paper presents descriptions of conducted shooting experiments. Three types of guns and five types of bullets were used. Target plates made of steel (structural and tool) were used. Three states of hardening of the tool steel were applied – deliver, soft and post hardening states. The tests were focused on places of bullets' impact. The bullets that have not been destroyed and the structure of non-used bullets were tested as well. Light microscopy and scanning electron microscopy (SEM) were used to test the structure and chemical composition of specimens. Geometric quantities were also examined. The results of the tests proved that the higher bullet impact resistance features the tool steel in the deliver state. Structural steel is weaker than tool steel in a soft state. Not only the energy but also the framework of a bullet had the influence on a rate of penetration of the materials.

Key words: materials, ammunition, steel

Piotr Faber, Krzysztof Mroczka
Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2
30-084 Kraków, Polska