



Badania defektoskopowe dymotwórczych ładunków moździerzowych

Maciej MISZCZAK*, Waldemar ŚWIDERSKI, Bohdan ZARZYCKI

*Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia,
ul. Prymasa St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
* autor korespondencyjny, e-mail: mpf.miszczak@op.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 28.05.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 04.03.2015

DOI: 10.5604/20815891.1166975

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki defektoskopowych badań uzyskane za pomocą radioskopii w czasie rzeczywistym (RTR) oraz termografii w podczerwieni (IR) dymotwórczych ładunków zaelaborowanych w metalowych, cylindrycznych pojemnikach wkładanych do korpusów 98 mm pocisków moździerzowych, zwracając szczególną uwagę na zwartość i jednolitość strukturalną ładunków oraz ich przyleganie do pojemników. Dymotwórcze ładunki sprawdzano za pomocą RTR i termografii w podczerwieni przed oraz po badaniach poligonowych obejmujących statyczne rozczalanie 98 mm pocisków moździerzowych bez spalania ładunków dymotwórczych. W wyniku rozczalania zachodziło oddzielenie tylnej części korpusu pocisku moździerzowego z zamocowanym do niej stabilizatorem brzechwowym od pozostałej, cylindrycznej części korpusu oraz wyrzucenie ładunku dymotwórczego ze spadochronem z cylindrycznej części korpusu, lot ładunku kończący się opadaniem hamowanym przez spadochron i upadkiem na terenie poligonu. Technika RTR oraz termografia w podczerwieni są przydatne do diagnostycznych badań defektoskopowych ww. ładunków wysokoenergetycznych, jako techniki wzajemnie się uzupełniające.

Słowa kluczowe: optyka, defektoskopia, moździerzowy ładunek dymotwórczy, rentgenoskopia w czasie rzeczywistym (RTR), termografia w podczerwieni (IR)

1. WSTĘP

Zastosowanie techniki radioskopii rentgenowskiej w czasie rzeczywistym (RTR) i termografii w podczerwieni (IR) do diagnostycznych badań defektoskopowych ładunków wysokoenergetycznych wraz z ich osłonami, powłokami ochronnymi, korpusami jest jak najbardziej uzasadnione, ze względu na wzajemne uzupełnianie się obu ww. technik, biorąc pod uwagę ich możliwości wykrywania wad strukturalnych. Technika RTR umożliwia wykrycie przede wszystkim defektów wewnętrznych w strukturze badanego obiektu, wykazując czasami mniejszą skuteczność wykrywania defektów w postaci rozwarstwień, zwłaszcza podpowierzchniowych, natomiast termografia w podczerwieni umożliwia uzyskanie lepszego zobrazowania defektów powierzchniowych i podpowierzchniowych. Możliwości i ograniczenia badań nieniszczących (NDT – Non-Destructive Tests) za pomocą RTR i termografii w podczerwieni w kontekście badań strukturalnych ładunków materiałów wysokoenergetycznych wykorzystuje się w bardzo szerokim zakresie podczas badań defektoskopowych przede wszystkim ładunków stałych paliw raketowych oraz ładunków materiałów wybuchowych [1-10].

Biorąc pod uwagę obiecujące, uzupełniające się możliwości techniki RTR i termografii w podczerwieni w zakresie wykrywania defektów materiałów wysokoenergetycznych otoczonych osłonami oraz modyfikując konstrukcję dymnych pocisków moździerzowych tak, aby umożliwić odzyskiwanie badanych ładunków dymotwórczych po poddaniu ich obciążeniom dynamicznym w ramach statycznego rozcalania pocisku, postanowiono wykonać porównawcze badania defektoskopowe za pomocą ww. technik NDT ładunków dymotwórczych przed oraz po badaniach poligonowych obejmujących statyczne rozcalanie pocisku moździerzowego bez spalania ładunku dymotwórczego.

Porównanie zwartości i jednorodności strukturalnej ładunków dymotwórczych oraz ich ciągłości przylegania do powierzchni, zwłaszcza poboczniczy pojemnika (osłony) przed oraz po obciążeniach dynamicznych występujących podczas badań poligonowych, pozwala ocenić jakość wykonania ładunków oraz ich przydatność, a także skuteczność działania w warunkach poligonowych. Defekty strukturalne ładunków dymotwórczych oraz miejscowy brak ich przylegania do pojemników mogą skutkować nieprawidłowym przebiegiem procesu spalania (dymienia) mieszanki dymotwórczej, przejawiającym się przerwaniem procesu dymienia, zmianami czasu jego trwania albo zniszczeniem pojemnika w wyniku gwałtownego wzrostu ciśnienia produktów spalania.

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE ORAZ ICH WYNIKI

Badaniami doświadczalnymi objęto cztery ładunki dymotwórcze stanowiące podstawowe moduły wysokoenergetyczne do 98 mm dymnych pocisków moździerzowych. Ładunki te składały się z dymotwórczej mieszanki pirotechnicznej zaprasowanej w cylindryczne pojemniki wykonane z duraluminium, których boczne ściany miały grubość 4,35 mm (rys. 1).



Rys. 1. Pojemniki zaelaborowane dymotwórczą mieszaniną pirotechniczną, stanowiące zasadnicze moduły wysokoenergetyczne 98 mm pocisków moździerzowych

Fig. 1. Containers inserted with smoke pyrotechnic composition which are main high-energetic modules of 98 mm mortar bombs

Pokrywy pojemników mieszczących pirotechniczną mieszaninę dymotwórczą, od strony ładunku rozcalającego pocisk, posiadały trzy otwory przelotowe rozmieszczone symetrycznie względem osi i blisko niej, przeznaczone do przekazywania impulsu ogniowego od produktów spalania ładunku rozcalającego do pośredniego ładunku wykonanego z prochu czarnego służącego do zainicjowania palenia cylindrycznej kostki zapłonowej otoczonej dymotwórczą mieszaniną. Ponadto pokrywy pojemników posiadały sześć otworów przelotowych rozlokowanych na obwodzie, przez które ma wydostawać się główna część dymu podczas spalania mieszanki dymotwórczej.

Przed badaniami poligonowymi ładunki dymotwórcze poddano kolejno badaniom radioskopowym RTR za pomocą rentgenowskiego systemu diagnostycznego MU-17F-225-9 firmy YXLON International X-ray oraz badaniom termograficznym w podczerwieni za pomocą kamery termowizyjnej AGEMA 900 LW pracującej w zakresie 8-12 μm .

Bezpośrednio przed pomiarami termograficznymi ładunki dymotwórcze termostатовano przez 24 h w komorze klimatycznej o temperaturze $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej wynoszącej $(65\pm 5)\%$ w celu uzyskania jednakowej temperatury w całej objętości ładunków. Po termostатовaniu, wykorzystując kamerę termowizyjną, rejestrowano zmiany pól temperaturowych na bocznych, zewnętrznych powierzchniach stygnących pojemników mieszczących mieszaninę dymotwórczą, pomalowanych czarną matową farbą zwiększającą emisyjność promieniowania IR przez te powierzchnie. Zmiany temperaturowe rejestrowano do osiągnięcia przez zewnętrzną powierzchnię pojemnika temperatury otoczenia, wynoszącą w warunkach pomiaru 20°C . W celu uzyskania większego kontrastu pól temperaturowych, termogramy IR poddano przetwarzaniu cyfrowemu poprzez modyfikację skali odcieni (zmianę histogramu) i dobór palety kolorów oraz poprawę ostrości zobrazowania, stosując filtr górnoprzepustowy.

Sprawdzone defektoskopowo za pomocą RTR i termografii w podczerwieni ładunki dymotwórcze poddawano badaniom poligonowym, odpalając elektrycznie ładunki rozcalające 98 mm dymnych pocisków moździerzowych nachylonych pod kątem 45° do podłoża, leżących na stalowej szynie i podpartych częścią ostrołukową o stalową płaszczyznę oporową (rys. 2).

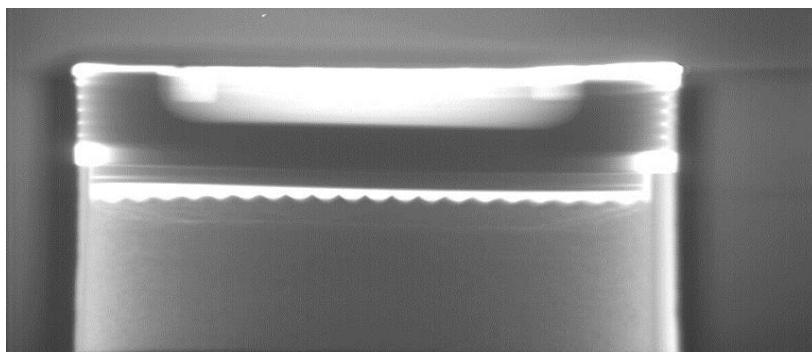


Rys. 2. Poligonowe stanowisko badawcze przygotowane do odpalenia ładunku rozcalającego 98 mm dymnego pocisku moździerzowego pozbawionego ładunku zapłonowego z prochu czarnego, co uniemożliwiało zainicjowanie zapłonu, a następnie palenia (dymienia) ładunku dymotwórczego

Fig. 2. Field test post prepared to firing of the high-energetic bursting charge of 98 mm smoke mortar bomb without black powder ignition charge. Such firing configuration does not allow for ignition and then for burning (smoking) of the smoke charge

Podczas rozcalania pocisku zachodziło kolejno: oddzielenie stożkowego dna jego korpusu ze stabilizatorem brzechwowym od cylindrycznej części korpusu, wyrzucenie z niej pojemnika zaelaborowanego mieszaniną dymotwórczą z przymocowanym do pojemnika spadochronem, lot i opadanie niepalącego się ładunku dymotwórczego, a następnie jego upadek na teren poligonu.

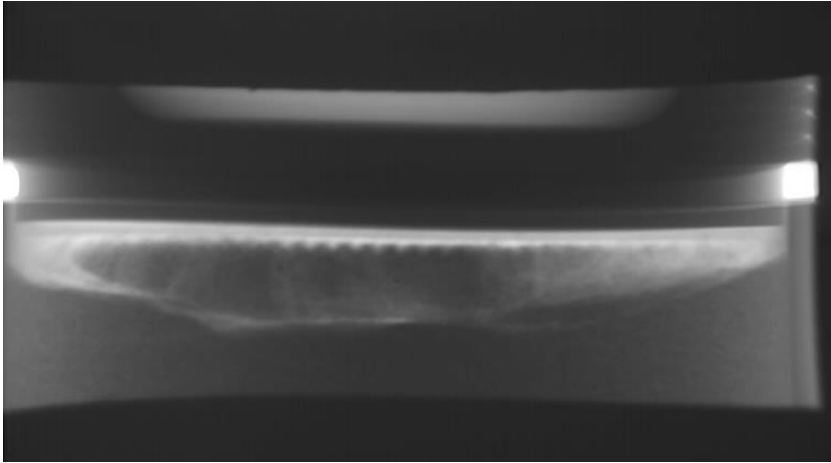
Wyniki badań defektoskopowych pojemników z mieszaniną dymotwórczą przed badaniami poligonowymi oraz po nich, uzyskane za pomocą techniki RTR (rys. 3-7) i kamery termowizyjnej (rys. 8, 9) przedstawiono poniżej.



Rys. 3. Rentgenogram RTR dennej części pojemnika mieszczącego ładunek dymotwórczy oraz jego ostatniej zaprasowanej warstwy dymotwórczej przed badaniami poligonowymi. Powierzchnia ostatniej prasowanej warstwy dymotwórczej od strony dna pojemnika ma silnie pofałdowaną (ząbkowaną) powierzchnię

Fig. 3. RTR image of the bottom part of the container and the increment of the smoke charge pressed as last one into the container before field test. The surface of this increment is intensively uneven (toothed).

Rentgenogramy RTR dennej części pojemników zaelaborowanych mieszaniną dymotwórczą po badaniami poligonowych (rys. 4, 5) pokazują szereg pęknięć obwodowych ostatniej zaprasowanej warstwy ładunków dymotwórczych. Ponadto, na rentgenogramie RTR (rys. 5) stwierdzono wyraźne, głębokie pęknięcie ostatniej zaprasowanej warstwy masy pirotechnicznej, usytuowane poprzecznie względem czołowej, dennej powierzchni ładunku dymotwórczego.



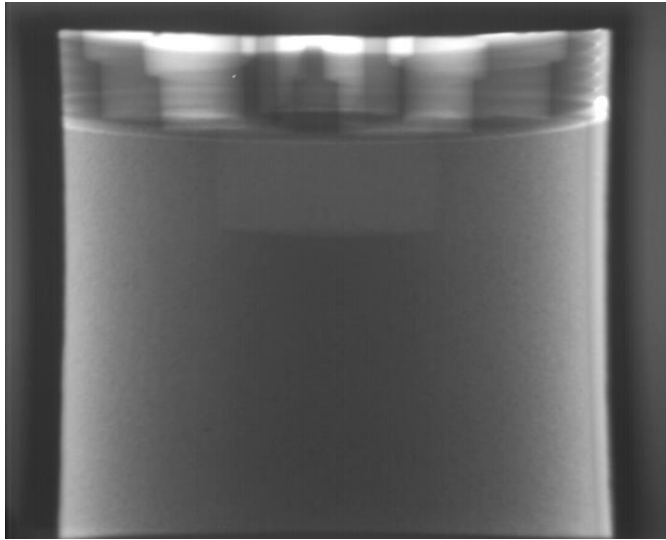
Rys. 4. Rentgenogram RTR dennej części pojemnika mieszczącego ładunek dymotwórczy oraz jego ostatniej zaprasowanej warstwy dymotwórczej po badaniach poligonowych. Pofalowana (ząbkowana) powierzchnia ostatniej prasowanej warstwy dymotwórczej od strony dna pojemnika została silnie skruszona (por. z rys. 3)

Fig. 4. RTR image of the bottom part of the container and the increment of the smoke charge pressed as last one into the container after field test. The uneven (toothed) surface of this increment was intensively crushed (compare with Fig.3)



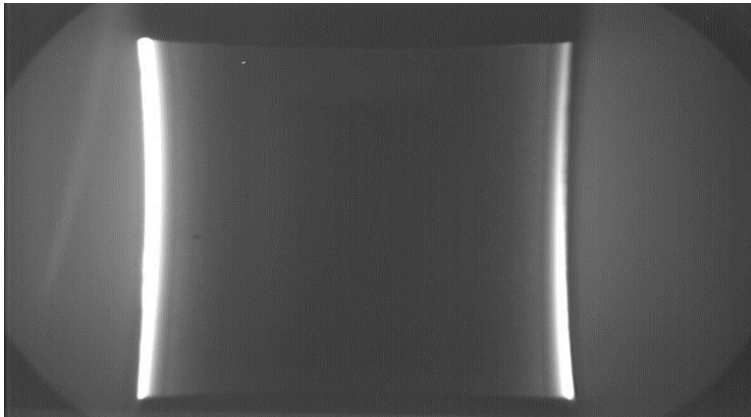
Rys. 5. Powiększony fragment rentgenogramu RTR dennej części pojemnika mieszczącej ładunek dymotwórczy oraz jego ostatniej zaprasowanej warstwy dymotwórczej po badaniach poligonowych z widocznym głębokim, poprzecznie usytuowanym względem powierzchni prasowania pęknięciem masy dymotwórczej oraz skruszoną (ząbkowaną) powierzchnią prasowania

Fig. 5. Enlarged fragment of RTR image of the bottom part of the container and the increment of the smoke charge pressed as last one into the container after field test. This increment has distinctive deep crack oriented transversely to its intensively crushed (toothed) surface



Rys. 6. Rentgenogram RTR pojemnika wraz z pokrywą, zaelaborowanego mieszaniną dymotwórczą otaczającą cylindryczny ładunek zapłonowy (tzw. „kostkę zapłonową”) po badaniach poligonowych

Fig. 6. RTR image of the container with the cover. The container was inserted with smoke composition surrounding the cylindrical ignition charge (called „ignition pellet”) after field test

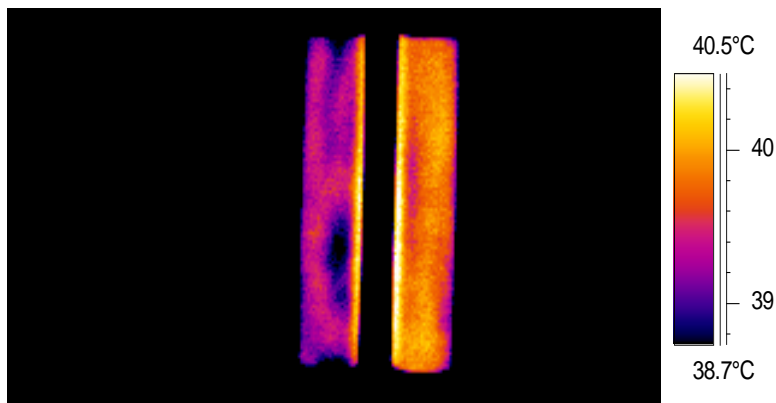


Rys. 7. Rentgenogram RTR środkowej części poboczniczy pojemnika zaelaborowanego mieszaniną dymotwórczą po badaniach poligonowych

Fig. 7. RTR image of the central part of the cylindrical side surface of the container inserted with the smoke composition after field test

Porównanie rentgenogramów RTR przed badaniami poligonowymi z rentgenogramami RTR po badaniach poligonowych wykazało, iż karbowana (ząbkowana) powierzchnia ostatniej, zaprasowanej warstwy mieszanki dymotwórczej, tj. skrajnej, usytuowanej od strony mocowania spadochronu, po przeciwnej stronie względem ładunku rozcalającego pocisk i układu zapłonowego, uległa wyraźnemu skruszeniu w wyniku obciążeń dynamicznych występujących podczas badań poligonowych. Na podstawie rentgenogramów RTR (rys. 3-7) nie stwierdzono oddzielenia masy dymotwórczej od bocznych ścian pojemników.

Termogramy IR (rys. 8, 9) przedstawiające dwa pojemniki zaelaborowane dymotwórczą mieszaniną – jeden po badaniach poligonowych, usytuowany po lewej stronie, zaś drugi usytuowany po prawej – przed badaniami poligonowymi, wykazały, że na obu końcach pojemnika po badaniach poligonowych, tj. od strony zapłonu ładunku dymotwórczego (górny koniec pojemnika) oraz na wysokości powierzchni czołowej ostatniej zaprasowanej warstwy mieszanki dymotwórczej (dolny koniec pojemnika), a także na pobocznicy pojemnika zarejestrowano wady w postaci oddzielenia mieszanki dymotwórczej od ścian pojemnika widoczne jako ciemniejsze plamy.

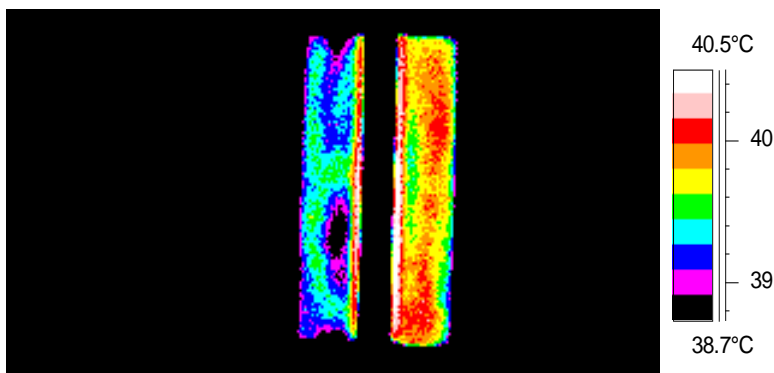


Rys. 8. Termogram IR stygnących pojemników mieszczących mieszaninę dymotwórczą przed badaniami poligonowymi (pojemnik po prawej stronie) oraz po nich (pojemnik po lewej stronie)

Fig. 8. IR thermogram of the cooled containers inserted with the smoke composition before field test (the container on the right), and after the field test (the container on the left)

Położenie bardziej schłodzonych obszarów na zewnętrznej powierzchni pobocznicy pojemnika mieszczącego mieszaninę dymotwórczą odpowiada występowaniu na wysokości (pod tymi obszarami) warstwy powietrza oddzielającej mieszaninę dymotwórczą od wewnętrznej ściany pojemnika.

Spowodowane jest to tym, że podczas schładzania pojemnika z mieszaniną dymotwórczą, warstwa powietrza ze względu na niski współczynnik przewodzenia ciepła i stosunkowo wysoką pojemność cieplną stanowi skuteczną izolację termiczną między cieplejszą masą dymotwórczą a chłodniejszym metalowym pojemnikiem, nie pozwalającą na jego ogrzanie w takim stopniu jak mieszanina dymotwórcza przylegająca do pojemnika.



Rys. 9. Termogram IR po przetworzeniu cyfrowym mającym na celu bardziej subtelne rozróżnienie różnic temperaturowych, wyrażone zwiększeniem kontrastu między obszarami pól temperaturowych różniących się o ok. $0,17^{\circ}\text{C}$ (różnica temperaturowa między izotermami zaznaczonymi różnymi kolorami) stygnących pojemników mieszczących mieszaninę dymotwórczą przed badaniami poligonowymi (pojemnik po prawej stronie) oraz po nich (pojemnik po lewej stronie)

Fig. 9. IR digitally processed thermogram of the cooled containers inserted with the smoke composition before field test (the container on the right), and after the field test (the container on the left). The digital processing of IR thermogram was utilized in order to increase the contrast between the areas of temperature fields differing by ca. 0.17°C (temperature difference between isotherms marked with different colours)

3. WNIOSKI

Na podstawie wyników badań defektoskopowych można stwierdzić, że wrażliwymi na uszkodzenia mechaniczne miejscami dymotwórczych ładunków do 98 mm moździerzowych pocisków są ostatnie warstwy prasowania mas pirotechnicznych, tj. usytuowanych przy dnie pojemnika (od strony spadochronu).

Badania defektoskopowe ładunków dymotwórczych do 98 mm pocisków moździerzowych potwierdziły zalety i ograniczenia diagnostycznych metod RTR oraz termografii w podczerwieni w zakresie kontroli zwartości i jednorodności materiałów wysokoenergetycznych oraz ich przylegania do ścian pojemników.

RTR oraz termografia w podczerwieni powinny być zatem stosowane jako wzajemnie uzupełniające się techniki w zakresie defektoskopowych badań ładunków dymotwórczych.

LITERATURA

- [1] Viswanathan K., Non-destructive testing methods and their applications, in: *Propellants and Explosives Technology* (Eds.: S. Krishnan, S.R. Chakravarthy, S.K. Athithan), Allied Publishers Limited, New Delhi, Mumbai, Calcutta, Lucknow, Chennai, Nagpur, Bangalore, Hyderabad, Ahmedabad, pp. 391-417, 1998.
- [2] Ystrom L., Jonsson S., *Method and Device for Determination of the Degree of Adherence Between an Explosive and the Delimiting Surface of a Projectile*, Patent EP 0381653, BOFORS, 1990.
- [3] *Method for Non-destructive Testing of Solid Propellant Motors*. Patent GB 1588142, BAYERN-CHEMIE, 1981.
- [4] Dreitzler D.R., Moore CH.R., Thorn L.B., *Direct Display of Thermal Conductivity Profile for Non-destructive Testing of Insulated Rocket Motor Cases*. Patent US 3864958, 1975.
- [5] *Static Firing Tests of Solid Propellant Rocket Motors*, FR/GE/UK/US International Test Operations Procedure (ITOP) 5-2-500, pp. 3-5, 2000.
- [6] *Materiały wybuchowe do użytku cywilnego. Materiały miotające i paliwa rakietowe. Część 5: Oznaczanie ubytków i pęknięć*, Polska Norma PN-EN 13938-5, 2006.
- [7] *Materiały wybuchowe do użytku cywilnego. Materiały miotające i paliwa rakietowe. Część 6: Wytyczne oznaczania integralności powłoki inhibitora*, Polska Norma PN-EN 13938-6, 2006.
- [8] *Metody badań homogenicznych i heterogenicznych paliw rakietowych. Badania radiograficzne ładunków*, Polska Norma PN-V-04024, 2000.
- [9] Świdorski W., Miszczak M., Pomiary termowizyjne w badaniach stałych paliw rakietowych, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 109, s. 76-82, 2009.
- [10] Miszczak M., Danielewicz D., Drwał M., Pewne aspekty rentgenograficznych badań zapalników artyleryjskich, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 111, s. 97-104, 2009.

Defectoscopic Tests of Smoke Mortar Charges

Maciej MISZCZAK, Waldemar ŚWIDERSKI, Bohdan ZARZYCKI

Abstract. There are presented selected results of defectoscopic tests on smoke charges confined in the metallic containers inserted in the bodies of 98 mm mortar bombs, using Real Time Rentegenoscopy (RTR) and infrared (IR) thermography. Special attention was taken in terms of structural homogeneity and integrity of the smoke charges and their adherence to the containers. The smoke mortar charges were examined before and after field tests including bursting of 98 mm mortar bombs under static firing conditions. Tested mortar bombs were fired without ignition of the smoke charges. As a result of mortar bombs bursting, rear parts of their bodies with fin stabilizers, were separated from the remaining, cylindrical parts of the bodies. After bursting of the mortar bombs, the smoke charges were expelled from the cylindrical parts of the mortar bomb bodies, then the smoke charge flew with the parachute and finally it dropped onto the ground.

Keywords: optics, defectoscopy, mortar smoke charge, Real Time Rentegenoscopy (RTR), infrared (IR) thermography

