

Tomasz SMAL¹
Tomasz SMOŁA²

TECHNOLOGIE SZYBKICH NAPRAW OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

W pracy omówiono nowoczesne technologie, które mogą być skutecznie aplikowane do szybkich napraw obiektów technicznych, zwłaszcza napraw wykonywanych w warunkach polowych do doraźnego usuwania uszkodzeń bojowych i awaryjnych sprzętu wojskowego. Dobierając technologie naprawcze uwzględniono przede wszystkim fakt, iż naprawy takie będą realizowane w trudnych warunkach polowych, bez dostępu do części zamiennych i skomplikowanej aparatury naprawczej. Dodatkowym kryterium doboru technologii naprawczej był pożądaný krótki czas wykonania naprawy, który gwarantowałby szybki powrót uszkodzonego sprzętu do działania.

QUICK REPAIRS' TECHNOLOGY OF TECHNICAL OBJECTS

The paper presents modern technology, which can be effectively applied for quick repairs of technical objects, especially repairs conducted in field conditions that can be used to expedient repairs of battle damage in military equipment. While selecting repairs' technology there was assumed that considered works will be conducted in harm field conditions without spare parts and developed repairs' tools. Apart of that, there was assumed, that the expected technology should lead to swift return of damage object to the action.

1. WPROWADZENIE

Z definicji BDR³ wynika, że jest to nie tylko naprawa uszkodzeń bojowych, ale również uszkodzeń eksploatacyjnych, umożliwiających szybkie przywrócenie zdolności uszkodzonych obiektów. Podstawową różnicą pomiędzy taką naprawą, a naprawą stacjonarną jest technologiczne dopuszczenie jej doraźności w celu usprawnienia sprzętu na czas wykonania zadania. Dopiero w następnej kolejności, gdy pozwala na to czas, można przeprowadzić naprawę stacjonarną w oparciu o dopuszczone i sprawdzone metody porównywalne z metodami stosowanymi przez producentów [1].

Metody BDR, jako że są bardzo często improwizowane, będą stale ewoluowały, podobnie jak ludzka wyobraźnia i myśl intelektualna. Metody te pozwalają łączyć narzędzia z różnych dziedzin techniki (pneumatyka, hydraulika, mechanika, stolarstwo

¹Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. Gen. T. Kościuszki, POLSKA; Wrocław 51-150; Czajkowskiego 109. Telefon: + 48 71 7658-108, Fax: +48 71 7658-291, E-mail: tosm@wp.pl

²Centrum Szkolenia Wojsk Lądowych; POLSKA; Poznań 61 – 716, ul. Wojska Polskiego 86/90, Telefon: + 48 61 857-50-44, Fax: +48 61 8575210

³ BDR – Battle Damage Repairs.

a nawet stomatologia). Takie same technologie będą mogły być zastosowane w różny sposób i ważne jest, aby zdobywane doświadczenia gromadzić, weryfikować i proponować do użycia najszybsze i najskuteczniejsze z metod.

W artykule przedstawiono wybrane technologie napraw, które są tylko nielicznymi przykładami z pośród tych, które będą mogły być zastosowane do usuwania uszkodzeń obiektów technicznych w specyficznych miejscach oraz warunkach klimatycznych i terenowych.

2. KOMPOZYTY KLEJOWE

Polimerowe kompozyty klejowe (zwane również kompozytami metalożywicznymi lub klejowymi masami regeneracyjnymi), wywodzące się z technologii NASA, zrewolucjonizowały technologię produkcji maszyn, urządzeń i pojazdów jako trwałe i długowieczne metody łączenia elementów. Są one również w coraz większym zakresie wykorzystywane jako technologie trwałej lub doraźnej naprawy części maszyn i urządzeń [2][3][4][5].

Naprawy mechaniczne z wykorzystaniem żywic polimerowych stosowano już powszechnie na początku lat 70-tych [6][7][8]. Początkowo naprawy takie traktowano wyłącznie jako tymczasowe, miały one bowiem zapewnić funkcjonowanie urządzenia do czasu wymiany naprawionego elementu na nowy. Jednakże wraz z ewolucją materiałów klejowych, produkowanych na bazie żywic polimerowych do współcześnie wykorzystywanych kompozytów klejowych, naprawy wykonywane z użyciem takich produktów stały się alternatywne w stosunku do innych metod naprawczych [9][10].

Współczesne kompozyty klejowe zapewniają rozwiązanie większości problemów, jakie mogą wystąpić w wyniku wyętej eksploatacji sprzętu wojskowego oraz oddziaływania środków rażenia przeciwnika. Analiza możliwości wykorzystania i właściwości dostępnych na rynku klejowych materiałów naprawczych [11] oraz badania własne [12][13], dają podstawy do stwierdzenia, iż szersze wprowadzenie technologii klejenia do napraw polowych sprzętu wojskowego powinno zwiększyć możliwości naprawcze poszczególnych ogniw systemu remontowego poprzez:

- skrócenie pracochłonności napraw dzięki naprawie uszkodzonych elementów bez konieczności demontażu uszkodzonego zespołu (podzespołu);
- umożliwienie wykonania niektórych napraw na niższym szczeblu niż jest to możliwe w istniejącym systemie (np. napraw wymagających łączenia części ze stopów aluminium);
- brak konieczności stosowania drogiego i czasami ciężkiego osprzętu;
- stworzenie możliwości wykorzystania wolnego w danej chwili pracownika (żołnierza), zapoznanego z technologią stosowania kompozytów klejowych, do wykonywania naprawy;
- uniezależnienie od dostaw części zamiennych.

W wielu publikacjach można znaleźć liczne przykłady wykorzystania kompozytów klejowych do usuwania bojowych i awaryjnych uszkodzeń sprzętu wojskowego [1][2][3][4]. Wykorzystując kompozyty klejowe można między innymi usuwać wszelkiego rodzaju przebicia i pęknięcia kadłubów pojazdów i zespołów, uszczelniać wycieki w zbiornikach, chłodnicach i przewodach, odtwarzać uszkodzone lub zużyte gwinty, czopy wałów i tłoczyska siłowników hydraulicznych, naprawiać uszkodzone elementy gumowe (rys. 1).

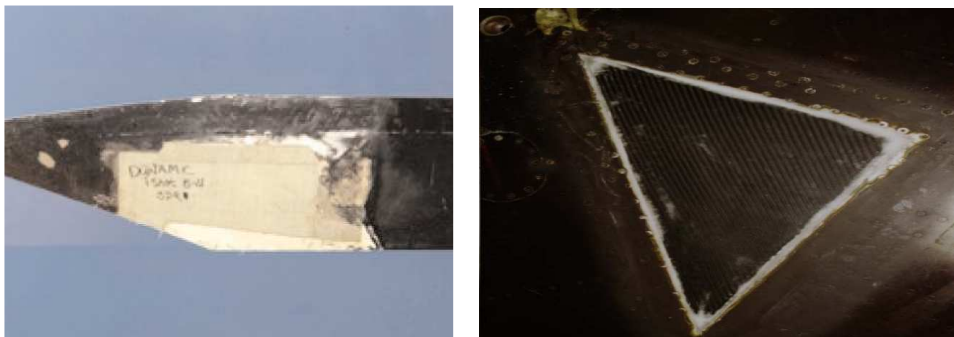


Rys. 1. Przykłady napraw z wykorzystaniem kompozytów klejowych.

Źródło: Smal T., Masek R.: Przykłady napraw z wykorzystaniem kompozytów klejowych. *Przegląd Mechaniczny* nr 4/2006, s.5-7 oraz Smoła T.: Sprawozdanie z ćwiczeń „Collective Effort '04. Poznań 2004.

Klejenie znajduje również szerokie zastosowanie w naprawach współczesnych statków powietrznych, gdzie powszechnie stosowane są konstrukcje przekładkowe. Podczas eksploatacji sprzętu lotniczego konstrukcje przekładkowe narażone są, podobnie jak i inne elementy płatowca, na różnorodne uszkodzenia. Ze względu na specyficzną budowę (cienkie okładziny połączone metodą klejenia z wypełniaczem) takie konstrukcje charakteryzuje wysoka wytrzymałość zmęczeniowa i odporność na drgania, ale w porównaniu z pokryciami konstrukcji półskorupowych są one mniej odporne na uszkodzenia spowodowane działaniem sił skupionych. Również wypełniacze konstrukcji przekładkowych nie mają możliwości przenoszenia sił skupionych. W związku z tym oddziaływania mechaniczne, które nie są groźne dla blach pokryciowych konstrukcji półskorupowych, mogą powodować uszkodzenia konstrukcji przekładkowych. Kawałki betonu i inne zanieczyszczenia pasów startowych mogą powodować wgniecenia, rysy, a nawet przebicia cienkich pokryć przekładkowych.

Konstrukcje przekładkowe mogą być naprawiane jedynie z zastosowaniem klejenia. W naprawach polowych nie ma warunków do stosowania w szerokim zakresie klejów produkcyjnych utwardzanych na gorąco, wymagających i podwyższonej temperatury i stosunkowo dużych nacisków podczas utwardzania, możliwych do zastosowania jedynie w naprawach stacjonarnych. Stosując kleje utwardzane na zimno należy uwzględnić ich niższe właściwości wytrzymałościowe. Z właściwości wytrzymałościowych klejów wynikają długości zakładki (szerokości przekrycia łąt z pokryciem), jakie należy stosować w procesach napraw. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe naprawy statków powietrznych.



Rys. 2. Napraw łopaty śmigłowca AH-1 oraz górnej powierzchni skrzydła samolotu Mig-21 BIS.

Źródło: R. Jackson: *Battle Damage Assessment and Repair (BDAR). Aircraft Survivability, Winter 2000* oraz *Helsinki University of Technology, Laboratory of Lightweight Structures*.

Powyżej przedstawiono jedynie kilka podstawowych przykładów zastosowań kompozytów klejowych w awaryjnych i bojowych naprawach sprzętu wojskowego. Istnieje tyleż możliwości wykorzystania opisywanej technologii naprawczej, co rodzajów uszkodzeń, które mogą wystąpić w sprzęcie wojskowym podczas działań bojowych. Praktycznie poza nielicznymi sytuacjami, w których nie jest możliwe wykorzystanie technologii klejenia, takimi jak zbyt wysoka temperatura pracy uszkodzonej części lub zbyt intensywne obciążenia zmęczeniowe, najczęściej można z dużym powodzeniem wykonywać naprawy z wykorzystaniem kompozytów klejowych. Jak dowodzą autorzy publikacji [2], biorąc pod uwagę właściwości kompozytów klejowych, analizę „katalogów napraw” opracowanych przez ich producentów oraz analizę literatury fachowej, można wytypować szereg uszkodzeń, dla których możliwe jest zastosowanie tych materiałów do napraw zespołów i części pojazdów mechanicznych w warunkach polowych.

W ramach armii NATO certyfikacje wojskowe uzyskało wiele kompozytów klejowych, między innymi: Kent, Loctite, Belzona i Unirep. W polskiej armii stosowane są firmy Loctite (przy produkcji KTO „ROSOMAK”, STAR-MAN), Unirep i Belzona – faza prób i doświadczeń przy naprawie części obiektów technicznych.

Zaleca się, aby kompozyty klejowe, stosowane do napraw sprzętu wojskowego, charakteryzowały się szeregiem właściwościami, gdzie do najważniejszych należą [2][14]:

- krótki czas utwardzania, do 30 min;
- właściwości tiksotropowe;
- wysoka odporność na wysoką temperaturę do 150 °C przy obciążeniu ciągłym;
- wysoka wytrzymałość adhezyjna i kohezyjna;
- wysoka elastyczność;
- możliwość utwardzania w niskich temperaturach, nawet poniżej 0 °C ;
- duża tolerancja mieszania (kleje wieloskładnikowe), zapewniająca dużą tolerancję wzrokową oceny objętości do uzyskania pełnowartościowego materiału;
- maksymalnie długi czas magazynowania składników kompozycji.

Część kompozycji klejowych oferowanych na rynku, zgodnie z danymi producentów, spełnia przytoczone kryteria, lecz trudne warunki realizacji napraw polowych niejednokrotnie sprawiają, że nie można uzyskać pożądaných rezultatów [15].

Charakterystyki produktów Belzona, Unirep, Loctite i Chester Metal, które rokują nadzieje na rychłe zastosowanie w Siłach Zbrojnych RP przedstawiono szerzej w instrukcji [2], pracach naukowo-badawczych [12][13] oraz materiałach reklamowych [11], a wyniki badań dotyczące porównania ich właściwości wytrzymałościowych i użytkowych w monografii naukowej [16].

Jako, że specjaliści remontowi, stosując kompozyty klejowe, będą często pracować pod dodatkowym czynnikiem stresu pola walki, bardzo ważną właściwością tych materiałów powinna być duża tolerancja proporcji składników i oczyszczenia powierzchni przed klejeniem. Celowym byłoby zatem wprowadzenie kompozytów klejowych w odpowiednich opakowaniach - umożliwiających łatwe odmierzenie składników (rys. 3) oraz czynnika trawiącego tłuszcz z klejonej powierzchni, co w znacznej mierze skróciłoby zakres czynności przygotowawczych przed samym klejeniem. Ważną rzeczą jest również odpowiedni system opakowań jednostkowych kompozytów klejowych (rys. 4).



Rys. 3. Kompozyt dwuskładnikowy produkowany w postaci laski, gdzie utwardzacz oddzielony jest od bazy molekularną siatką. Aby użyć taki kompozyt wystarczy odciąć żądaną ilość materiału i wymieszać go jak plastelinę.

Źródło: strona internetowa: http://www.dbrassociates.com/products_belzona.php?series=1000 (25.01.2010).

Pewnym rozwiązaniem problemów, związanych z długim czasem wiązania kompozytów klejowych są materiały światło-utwardzalne. Przykładem może być nowy jednoskładnikowy, płynny klej (kationowa żywica epoksydowa firmy Loctite), który zawiera fotoinicjator kationowy. Promienie UV w przedziale 245–365 nm uruchamiają reakcję twardnienia. Reakcja ta po zainicjowaniu może przebiegać dalej nawet bez dostępu światła. Firma nazwała ten klej „preaktywowaną żywicą epoksydową”. W praktyce podwójny mechanizm światła i ciemności utwardzający klej umożliwia nieprzezroczystym cząsteczkom łączenie się z prędkością przypisywaną zazwyczaj konwencjonalnym światłoutwardzalnym klejom akrylowym. Użytkownik po prostu nakłada klej na jedną klejoną powierzchnię, wystawia klej na działanie promieni UV nie dłużej niż na trzy sekundy i łączy obie klejone powierzchnie. Opóźnienie twardnienia kleju wynosi około 30 sekund od chwili, gdy zostanie on preaktywowany przez światło. Klej twardnieje do konsystencji mocującej po upływie około trzech minut [11].



Rys. 4. System opakowań w saszetkach uniemożliwia dozowanie i wielokrotne wykorzystanie składników kompozytu klejowego (bazy i utwardzacza), ponieważ raz otwarte opakowanie ze składnikiem kompozycji powtórnie nie można użyć. Opakowania w tubach lub pojemnikach są dużo bardziej użyteczne i ekonomiczne.
Źródło: strona internetowa: <http://www.rendor.com.pl/index.php?id=63> (19.10.2009).

Dużym ułatwieniem dla stosowania kompozytów klejowych w trudno dostępnych miejscach, gdzie występuje problem z właściwym przygotowaniem powierzchni do klejenia, może być nowy produkt Belzona 1831. Kompozyt ten można nakładać na tłuste, i mokre powierzchnie, gdyż posiada on specjalnie zmodyfikowany skład, który sprawi, że materiał uzyskuje wysoką adhezję do podłoża mimo braku dokładnego przygotowania powierzchni przed klejeniem [11].

Aby skutecznie stosować kompozyty klejowe do napraw uszkodzeń sprzętu wojskowego, zasadnym byłoby zróżnicować wyposażenie w tego typu materiały pojazdy i pododdziały wojskowe, w zależności od możliwości wykonania napraw na różnym szczeblu:

- kierowca/załoga (w ramach poszerzenia apteczki technicznej pojazdu) - kierowca lub kierowca wraz z załogą są najniższym szczeblem, na którym można wykorzystać kompozyty klejowe o bardzo szybkim sieciowaniu (do 30 min);
- mechanik/załoga KCE⁴ lub GCE⁵ (zastaw BDR) - mechanik lub załoga, po wcześniejszym wywiadzie z kierowcą uszkodzonego pojazdu, już podczas dojazdu ustalają procedurę ewakuacyjno-ratunkową lub naprawczą. Czas pracy załogi CE jest również ograniczony (do 0,5 h), więc muszą oni korzystać z kompozycji klejowych o bardzo szybkim czasie sieciowania;
- pododdział remontowy - rozbudowane zastawy BDR z kompozytami klejowymi o dłuższym czasie sieciowania, a przez to wyższej wytrzymałości i cechach użytkowych.

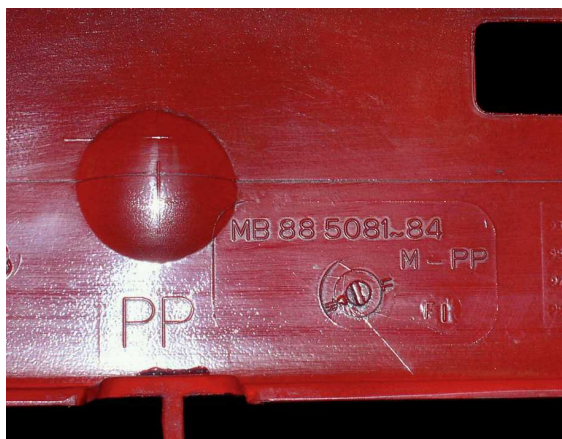
⁴ KCE – kołowy ciągnik ewakuacyjny.

⁵ GCE – gąsienicowy ciągnik ewakuacyjny.

3. SPAWANIE TWORZYW SZTUCZNYCH

Obecnie w nowoczesnym pojeździe występuje ponad 700 części wykonanych z tworzyw sztucznych, których średni udział masowy wynosi ok. 10%. Ogromny potencjał części z tworzyw sztucznych, będący efektem kombinacji rozmaitych surowców, umożliwia produkcję niewyobrażalnych wcześniej konstrukcji. Konstruktorom nowych pojazdów daje to np. możliwość kształtowania części zarówno w formie, jak i kolorystyce. Obecnie stosowanych jest wiele dodatków wpływających na zmianę właściwości tworzyw, są to między innymi: włókno szklane, mączka kamienna, sadza, środki chroniące przed działaniem promieni UV oraz barwniki, zmiękczacze i itp.

Uzyskanie wielu różnorodnych właściwości tworzyw sztucznych, wykorzystywanych przy budowie samochodów, jest możliwe poprzez mieszanie różnych tworzyw, wypełniaczy i dodatków. Podczas regeneracji elementów z tworzyw sztucznych mechanik musi rozpoznać, czy element jest spawalny (termoplasty) i odczytać z uszkodzonego elementu kodowo oznaczony główny składnik (rys. 5) [17].



Rys. 5. Kodowy sposób oznaczania głównych składników tworzyw sztucznych.

Źródło: W. Wielgołaski, *Technologie naprawy elementów z tworzyw sztucznych. Instalator Polski 2006.*

Przez spawanie tworzyw sztucznych rozumie się połączenie tworzyw termoplastycznych przy użyciu ciepła i nacisku, z użyciem lub bez użycia spoiwa. Docisk łączonych elementów w procesie spawania jest bardzo ważny dla jakości połączenia. W przeciwieństwie do spawania metali, gdzie tworzy się jednorodne połączenie, powiązanie i splątanie się sieci cząsteczkowych termoplastów odbywa się przez działanie nacisku. W procesie spawania należy wziąć pod uwagę trzy główne elementy: rodzaj tworzywa, temperaturę spawania, czyli temperaturę, w której tworzywo termoplastyczne osiąga stan ciastowatości oraz nacisk elektrody.

W praktyce można spawać z dużym powodzeniem następujące znane tworzywa [17]:

- twarde PCW;
- miękkie PCW;

- twardy polietylen - PE;
- miękki polietylen - PE
- polipropylen - PP;
- poliizobutylen - PIB;
- poliamid - PA;
- PMMA.

Najpopularniejszą metodą spawania jest spawanie gorącym powietrzem. Powietrze spawania zostaje podgrzane przez elektryczny element grzewczy (spawarki z zasilaniem elektrycznym niepraktyczne do działania w terenie) lub płomień gazowy (spawarki gazowe) do odpowiedniej dla spawania temperatury (rys. 6) [18].



Rys. 6. Spawanie gorącym powietrzem tworzyw sztucznych.

Źródło: P. Jasiulek, *Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania*, KaBe, Krosno 2004.

Powietrze do spawania przechodzi przez dyszę okrągłą lub szybkiego spawania. Dyszę okrągłą stosuje się przy spawaniu metodą wahadłową. Podział nawiewu gorącego powietrza spawania na tworzywo i spoiwo następuje przez wachlowanie, gdzie strumień gorącego powietrza przez ruchy do tyłu i do przodu ogrzewa miejsce spawania. Spawaniem wahadłowym wykonuje się naprawę w miejscach trudno dostępnych.

Spawanie szybkie polega na tym, że strumień gorącego powietrza jest kierowany bezpośrednio na miejsce spawania, czyli jednocześnie podgrzewa tworzywo łączone i spoiwo. Do wstępnego połączenia łączonych elementów i ich prawidłowego ustawienia względem siebie stosuje się często dyszę do łączenia wstępnego (rys. 7) [18].

Do spawania cienkich półproduktów został wprowadzony proces nazywany spawaniem wytłocznym (spawanie ekstruzyjne). Metoda ta polega na wtłoczeniu uplastycznionego spoiwa pomiędzy obie powierzchnie, które zostaną ogrzane do temperatury spawania i połączy się z nimi trwałym spawem. Czasami istnieje możliwość ułatwienia ogrzania łączonych materiałów wcześniejszym ogrzewaniem za pomocą gorącego powietrza. Spawanie ekstruzyjne jest względnie nową metodą spawania, która zyskuje coraz większe zastosowanie dzięki jej łatwości, wysokiej wydajności, różnorodnym możliwościom technologicznym i bardzo wysokiej jakości spawu (rys. 8).



Rys. 7. Szybkie spawanie tworzyw sztucznych (1 - drut spawalniczy, 2 - końcówka dmuchawcy gorącego powietrza, 3 - dysza szybkiego spawania, 4 - kierunek spawania, 5 - spoina).

Źródło: P. Jasiulek, Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania, KaBe, Krosno 2004.



Rys. 8. Metoda spawania ekstruzyjnego.

Źródło: strona internetowa: <http://www.zadaszenia-basenow.eu/images/> (31.08.2009)

Metody spawania gorącym powietrzem na pewno nie będą wykorzystywane na poziomie kierowca – załoga, chociażby ze względu na konieczność posiadania praktyki warsztatowej przy tej metodzie regeneracji, ale już załoga ciągnika ewakuacyjnego powinna mieć przeszkolonego mechanika do naprawy tą metodą.

4. LUTOWANIE ELEKTRODAMI SREBROWYMI METALI KOLOROWYCH

Lutowanie twarde jest to lutowanie stopami ze srebrem, miedzią lub aluminium (w temperaturze $>450^{\circ}\text{C}$), stosowane przy łączeniu elementów, na które będą działały duże obciążenia, na przykład rur doprowadzających ciecz o wysokiej temperaturze, przewodów gazowych, chłodziń itp. Ten typ lutowania nie może być stosowany do łączenia elementów wykonanych z cyny, cynku ani ołowiu.

Spawanie twarde (lutowanie) jest stosowane do łączenia materiałów trudno spawalnych, tj. aluminium, cienkich stali wysokotłocznych, stali wysokowęglowych (sprężystych), pokrytych galwanicznie (z domieszką Zn-Ni, Zn-Fe, Zn-Mg) oraz w celu uniknięcia naprężeń i odkształceń spawalniczych. Proces lutowania został przygotowany w szczególności dla przemysłu samochodowego, w którym jednym z głównych parametrów jest ochrona antykorozyjna połączonych elementów. W procesie spawania MIG/MAG temperatura topnienia wynosi 1690°C, natomiast przy lutowaniu 1040°C. Powyższe zjawisko przyczynia się do zredukowania indukowanego ciepła, a przez to eliminuje się ryzyko spalania powłoki cynkowej. Nie bez znaczenia jest fakt, iż spoiny oraz ich okolice, które zostały wykonane technologią lutowania mają znacznie mniejsze naprężenia oraz odkształcenia.

Technologia lutowania polega na nagrzewaniu metalowych elementów (nie wystawiając elektrody srebrzej na działanie płomienia), a następnie na zbliżeniu elektrody do miejsca styku. Spoiwo topi się pod wpływem ciepła metalowych elementów, a nie pod wpływem działania płomienia. Dlatego, jeżeli spoiwo nie topi się przy zetknięciu z metalem, należy oddalić je i kontynuować nagrzewanie metalowych elementów. Jeżeli elektroda ma rdzeń – topnik, dodatkowe użycie topnika nie jest potrzebne.

W zależności od powierzchni odbierającej ciepło i rodzaju materiału lutowanego, dobiera się różne typy spawarek o różnej mocy i różnych gazach spawalniczych (propan-butan, propan-tlen) (rys. 9).



Rys. 9. Urządzenia do lutowania od lewej: mały palnik na (propan-butan) do lutowania niewielkich elementów wykonanych z metali kolorowych, profesjonalny palnik o płomieniu igiełkowym zasilane gazem z butli PB 330-E, zestaw propan-tlen z palnikiem do lutowania twardego aluminium i uszkodzonych dużych powierzchni metali kolorowych.

Źródło: strona internetowa <http://www.dremeleurope.com/pl/pl/start/index.html> (31.10.2009)

Poniżej przedstawiono przykłady elementów naprawionych metodą lutowania (rys. 10).



Rys. 10. Naprawa metodą lutospawania: z lewej kruciec wlotowy chłodnicy dużego obiegu układu chłodzenia, z prawej włącznik krańcowy załączający elektryczny wentylator który został wlutowany po zerwaniu gwintu.

Źródło: archiwum T. Smoła.

5. ZESTAWY NAPRAWCZE

Łącząc nowoczesne technologie naprawcze, które mogą być stosowane w warunkach polowych, z odpowiednio dobranymi materiałami i osprzętem naprawczym, można konstruować specjalne zestawy naprawcze. Zestawy takie mogą być projektowane pod kątem odpowiednich służb naprawczych, np. wojskowych pododdziałów remontowych. Obecnie w armii polskiej metody szybkich napraw są praktycznie nie stosowane, mimo że potrzeby naszych wojsk, ze względu na udział w wielu operacjach pokojowych i misjach stabilizacyjnych, są ogromne. Doświadczenia innych armii, a zwłaszcza armii amerykańskiej, wskazują, że nie wolno nam zaprzepaszczać ogromnego potencjału intelektualnego praktycznej realizacji szybkich napraw doraźnych, tkwiącego zwłaszcza w starszych i doświadczonych mechanikach.

Kolejnym aspektem jest odpowiednie wyposażenie naprawcze. Nasze pododdziały remontowe dysponują wyposażeniem, które pochodzi głównie z czasów byłego „Układu Warszawskiego” i nie jest przystosowane do ekspedycyjnego charakteru współczesnych działań. Żeby zobrazować tendencje, które są obecnie rozwijane w zakresie wyposażenia służb logistycznych, poniżej przedstawiono przykładowe zestawy BDR. Pierwszym przykładem jest zestaw norweski, który składa się z trzech skrzyń aluminiowych o budowie lekkiej, w których znajdują się szufladowe kuwety z częściami usystematyzowanymi funkcjami naprawczymi (plastik, hydraulika, pneumatyka itp.) (rys. 11). Z rozmowy z oficerami armii norweskiej wynika, że dobór części i narzędzi jest efektem dwuletnich prac doświadczalnych i eksploatacyjnych. W razie wykorzystania części, lub zużycia komponentów są one obligatoryjnie dokupowane z wolnego rynku.



Zestawy naprawcze, zbudowane w oparciu o uniwersalne materiały naprawcze, są stosowane również w Wojskach Lądowych USA. Zestawy te mają nadane numery magazynowe i składają się między innymi z kompozytów klejowych, taśm regeneracyjnych, uniwersalnych opasek zaciskowych, pasek klinowych, uszczelek, itp. (rys. 12).



Rys. 11. Zestawy naprawcze BDR stosowane w Wojskach Lądowych USA na poziomie załogi (po lewej) i drużyny remontowej (po prawej).

Źródło: Prezentacje multimedialne BDAR Crew Kit NSN: 5180-01-502-9504 oraz BDAR Crew Kit NSN: 5180-01-502-9507.

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w ramach artykułu rozważania i analizy pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. Liczne przykłady napraw uszkodzeń bojowych, skutecznie zaaplikowanych w sprzęcie wojskowym, oraz doświadczenia specjalistów remontowych wielu armii wskazują, że nowoczesne technologie szybkich napraw obiektów technicznych mogą być skuteczne w warunkach polowych, a ich stosowanie wydaje się wielce uzasadnione z punktu widzenia potrzeb wojska.

2. Wdrożenie do naszej armii systemu szybkich napraw polowych uzbrojenia i sprzętu wojskowego ma szczególne uzasadnienie zwłaszcza w dobie obecnej, gdzie również nasze wojska realizują zadania ekspedycyjne na odległych teatrach działań, w dużym oddaleniu od krajowego zaplecza logistycznego i stacjonarnych zakładów naprawczych.
3. Konieczne wydaje się pilne uporządkowanie problematyki racjonalnego wdrożenia systemu BDR w pododdziałach remontowych naszej armii. Można tego dokonać przyjmując rozwiązania funkcjonujące w innych armiach NATO lub wypracować własny system w tym zakresie.
4. Wobec wielu zalet wynikających ze stosowania w naprawach sprzętu wojskowego kompozytów klejowych oraz powszechnego wykorzystywania tych materiałów w innych armiach, zasadne wydaje się propagowanie tego typu technologii naprawczych w pododdziałach remontowych SZ RP.
5. Na rynku, poza technologią klejenia, istnieje wiele nowoczesnych i skutecznych technologii naprawczych, które mogą być z powodzeniem zastosowane do szybkiego usuwania uszkodzeń techniki wojskowej w warunkach polowych.
5. Szeroka dostępność różnorodnych technologii i metod naprawczych wymusza, na decydentach i wojskowych jednostkach badawczych, poszukiwanie najlepszych rozwiązań, poprzez realizację doświadczalnych badań porównawczych oraz dokonywanie analiz ekonomicznych i aplikacyjnych, mających na celu wytypowanie najkorzystniejszych produktów i technologii uwzględniając specyficzne wymagania wojska.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Smal T.: Geneza, rozwój i funkcjonowanie systemu BDAR. W: K. Kowalski (red): III Sympozjum Naukowo-Techniczne - Eksplolog 2008 nt.: Problemy eksploatacji techniki bojowej oraz kompetencje oficerów logistyki WL, ISBN-978-83-87384-18-0, Wrocław-Karłów 19-21.11.2008, s. 254-266.
- [2] Cypko E., Kowalczyk S., Raczkowski D.: Naprawa sprzętu wojskowego z zastosowaniem materiałów szybkowiązących. Sztab Generalny WP, Warszawa 1998.
- [3] Rośkowicz M., Smal T.: Polowe systemy napraw uszkodzeń bojowych sprzętu lotniczego, Kwartalnik Bellona nr 4/2009.
- [4] Smal T.: Naprawa uszkodzeń bojowych sprzętu wojskowego z zastosowaniem kompozytów klejowych. W: K. Kowalski (red.): Eksploatacja Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego. Problemy Obsługi Techniki Lądowej w Siłach Zbrojnych RP. Wrocław 2006, s. 205-210.
- [5] Komorek A., Smal T.: Porównanie napraw mechanicznych i klejowych poszycia statków powietrznych. Zeszyty Naukowe WSOSP nr 1(13), ISSN 1641-9723, Dęblin 2009, s. 85-93.
- [6] Sikora R.: Tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn. WNT, Warszawa 1971.
- [7] Renatowski E.: Niektóre problemy kształtowania połączeń klejonych w naprawach elementów maszyn. Materiały Konferencyjne Krajowej Konferencji Naukowo – Technicznej nt. „Problemy wytrzymałości konstrukcji klejonych”, Szczecin 1972.
- [8] Nieszowska Z.: Zastosowanie żywic epoksydowych w remontach urządzeń okrętowych. Materiały Konferencyjne Krajowej Konferencji Naukowo – Technicznej nt. „Problemy wytrzymałości konstrukcji klejonych”, Szczecin 1972.

- [9] Godzimirski J., Smal T.: Możliwości wykonywania połączeń z wykorzystaniem klejowych mas regeneracyjnych. *Technologia i Automatyzacja Montażu* nr 3/2000.
- [10] Godzimirski J., Tkaczuk S.: Badanie klejowych mas regeneracyjnych w aspekcie ich zastosowania w naprawach sprzętu lotniczego. *Przegląd WLiOP* nr 5/1997.
- [11] Materiały reklamowe produktów: Belzona, Chester Metal, Unirep, Bochem, Ciba-Geigy, Loctite.
- [12] Smal T.: Badanie klejowych mas regeneracyjnych dla potrzeb napraw polowych sprzętu wojskowego. Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 2000.
- [13] Smal T.: Numeryczna i eksperymentalna analiza możliwości wykorzystania chemoutwardzalnych materiałów regeneracyjnych w aspekcie napraw polowych Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, WSOWL, Wrocław 2004.
- [14] Smal T., Jakubczak M.: Chemoutwardzalne kompozyty klejowe w naprawach bitewnych i awaryjnych Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego, *Zeszyty Naukowe WSO WL Rocznik XXXV*, 2(128), Wrocław 2003, s. 148-154.
- [15] Smal T.: Analiza organizacyjnych i technicznych możliwości wykonywania awaryjnych napraw uszkodzeń bojowych sprzętu wojskowego wykonywanych w warunkach polowych z wykorzystaniem nowych technologii naprawczych. Sprawozdanie z I etapu pracy naukowo-badawczej realizowanej w WSOWL we Wrocławiu, Wrocław 2009.
- [16] Godzimirski J. (red. naukowa), Komorek A., Rośkiewicz M., Smal T., Tkaczuk S.: Badanie tworzyw adhezyjnych w aspekcie napraw polowych sprzętu wojskowego. WNT, Warszawa 2009.
- [17] Wielgołaski W.: Technologie naprawy elementów z tworzyw sztucznych. Instalator Polski 2006.
- [18] P. Jasiulek: Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania, KaBe, Krosno 2004.