

Piotr DŁUGOSZ**Paweł DARŁAK**

WYTWARZANIE ELEMENTÓW LEKKIEGO KOMPOZYTOWEGO PANCERZA OCHRONNEGO METODĄ PRASOWANIA W STANIE CIEKŁYM (squeeze casting)

Streszczenie. Istotą podjętych badań eksperymentalnych opisanych w niniejszej publikacji była adaptacja zainstalowanego na terenie Instytutu Odlewnictwa w Krakowie nowoczesnego stanowiska do prasowania w stanie ciekłym (squeeze casting) VSC 500 firmy UBE dla potrzeb kompleksowej technologii wytwarzania elementów lekkiego, kompozytowego pancerza ochronnego. Zakres badań obejmował opracowanie projektu podstawowego elementu pancerza i dobór materiałów do jego budowy, a także opracowanie konstrukcji specjalistycznej formy odlewniczej oraz wyznaczenie optymalnych parametrów procesu prasowania w stanie ciekłym. Zaprezentowana unikalna ciekło-fazowa technologia wytwarzania elementów kompozytowych pozwala uzyskiwać elementy pancerza charakteryzujące się wysoką skutecznością ochronną w przypadku ochrony przed małokalibrowymi pociskami przeciwpancernymi typu AP i może wchodzić w skład modułowego systemu ochrony mobilnych środków transportowych (pojazdów naziemnych i latających).

Słowa kluczowe: prasowanie w stanie ciekłym, squeeze casting, kompozyty, stopy metali lekkich.

1. WPROWADZENIE

Współczesne systemy opancerzenia, niezależnie od poziomu ich odporności balistycznej, powinny w pierwszym rzędzie spełniać kryteria związane z redukcją masy, co jest szczególnie istotne w kontekście zastosowań do ochrony obiektów nieopancerzonych, np. lotniczych środków transportu oraz opancerzonych, czyli np. kołowych transporterów, platform gąsienicowych, etc. Do budowy tradycyjnych, monolitycznych pancerzy wykorzystywane były zwykle walcowane stale o wysokiej twardości. Jednak wprowadzenie bardzo skutecznych, wyposażonych w specjalne rdzenie, pocisków kumulacyjnych, miało znaczenie przełomowe dla prac nad bardziej wydajnymi pancerzami oraz zmusiło konstruktorów do sięgnięcia po nowe materiały. Szczególnie dynamiczny rozwój nastąpił w dziedzinie konstruowania lekkich kompozytowych pancerzy, gdzie kluczowym czynnikiem prócz odporności balistycznej, była jak wspomniano jak najniższa masa. Okazało się bowiem, że w przypadku pojazdów chronionych ciężkim opancerzeniem zwiększa się przede wszystkim koszt zużytego paliwa i rośnie zagrożenie zniszczeniem mniej mobilnego obiektu.

Nowa generacja lekkich - najczęściej kompozytowych (metalowo-ceramicznych) - materiałów przeznaczonych do budowy systemów opancerzenia o podwyższonych parametrach użytkowych wymaga opracowania nowych i innowacyjnych technologii produkcji. Najczęściej są one wynikiem aktualnych trendów rozwojowych, towarzyszących etapom rozwoju różnych gałęzi przemysłu, w tym samego przemysłu obronnego oraz lokalnych i międzynarodowych uwarunkowań ekonomicznych i społecznych. W przypadku materiałów kompozytowych sięga się między innymi do technik klejenia laminatów, spawania lub zgrzewania blach walcowanych, wspólnego prasowania w podwyższonych temperaturach warstw polimerowych, metalowych i ceramicznych, kucia oraz metod odlewniczych.

Metody odlewnicze są ekonomicznie najefektywniejszym ze sposobów nadawania końcowego kształtu wyrobom metalowym oraz metalowym materiałom kompozytowym. Dzięki nim można otrzymywać detale o skomplikowanych kształtach i rozwiniętej powierzchni. Podstawową wadą odlewów wytwarzanych tradycyjnymi technikami odlewniczymi w konfrontacji z elementami uzyskiwanymi w procesach przeróbki plastycznej, są ich niższe właściwości mechaniczne. Niedogodność ta jest spowodowana odlewniczą strukturą materiału (dużym rozmiarem ziaren, porowatością i innymi defektami). Ponadto, typowe wady powierzchniowe występujące w odlewach, takie jak naderwania i niespawy mogą przyczyniać się do powstawania pęknięć w strukturze odlewu podczas jego użytkowania, znacząco skracając jego żywotność. Odlewanie pod ciśnieniem, które cechuje się obecnością nadciśnienia służącego do szybkiego wypełnienia formy ciekłym metalem zyskuje obecnie duże znaczenie w ogólnej produkcji odlewów z metali lekkich. W technologii tej wykonuje się przede wszystkim odlewy w produkcji wieloseryjnej lub masowej, o skomplikowanych kształtach, cienkościennych ściankach, o masie nieprzekraczającej kilkanaście kilogramów [1]. Wykonuje się też coraz więcej precyzyjnych i odpowiedzialnych części maszyn, spełniających wyśrubowane kryteria wytrzymałościowe dyktowane między innymi przez przemysł lotniczy, motoryzacyjny oraz obronny. Odlewanie ciśnieniowe w porównaniu do grawitacyjnego jest procesem praktycznie bezodpadowym. Podstawową jednak wadą odlewnictwa ciśnieniowego jest jednostkowy koszt wykonania formy, zakładający opracowanie dokumentacji technicznej wraz z niezbędnymi rysunkami odwzorującymi kształt wyrobu i obliczeniami, konieczność stworzenia symulacji procesu wypełniania formy ciekłym metalem oraz skomplikowany proces budowy formy z pomocą zaawansowanych technik obróbki mechanicznej. Niekorzystną cechą odlewów ciśnieniowych stanowi brak ich odporności na podwyższoną temperaturę pracy z powodu tzw. porowatości gazowej, której pochodzenie związane jest z zamykaniem w objętości odlewu fazy gazowej (okluzji) na skutek najczęściej burzliwego, rzadziej warstwowego, przepływu stopu przez układ wlewowy i wnękę formy. Tak więc, parametrami decydującymi o poprawnej strukturze wewnętrznej odlewu są przede wszystkim: prędkość ewakuacji powietrza z wnęki formy, prędkość wypełnienia wnęki formy ciekłym metalem, czas narostu ciśnienia doprasowania oraz geometria komory wlewowej, układu wlewowego i odpowietrzającego [2].

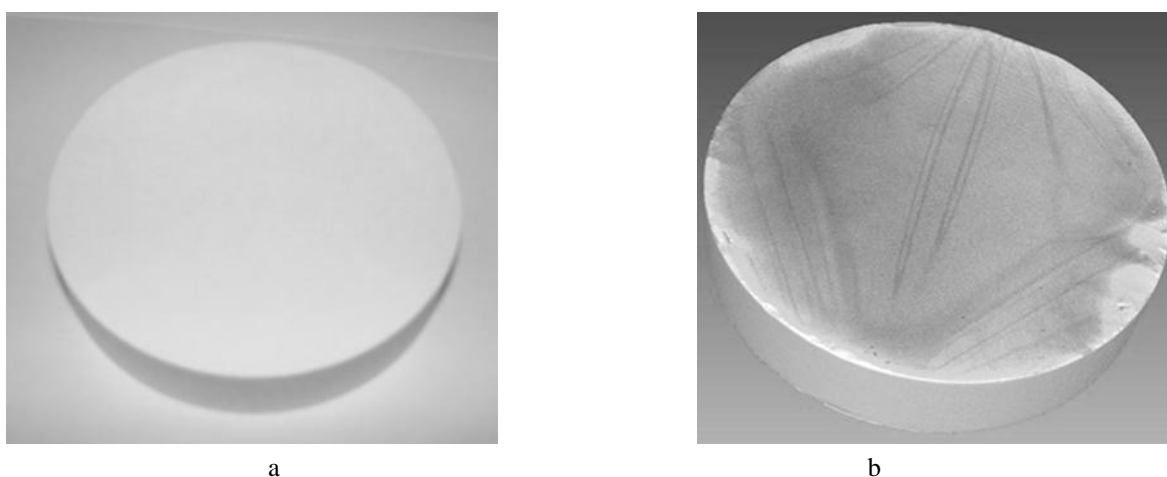
Metodę prasowania w stanie ciekłym (ang. *squeeze casting*) powszechnie zalicza się do procesów odlewania ciśnieniowego. W odróżnieniu od odlewania pod ciśnieniem (ang. *pressure die casting*), gdzie występują turbulentne (uwarstwione) przepływy ciekłego metalu, w technologii *squeeze casting* metal wypełnia wnękę formy w sposób laminarny, bez turbulencji, z dużo mniejszą prędkością, dzięki czemu nie występuje zjawisko okluzji gazów w strukturze odlewów. W klasycznym ujęciu technologia *squeeze casting* polega na wlewniu ciekłego metalu do wnęki formy, uprzednio podgrzanej z naniesioną warstwą pokrycia ochronno-izolacyjnego, a następnie wywarciu ciśnienia za pomocą stempla (rdzenia) prasującego. Ciśnienie na ciekły metal jest przykładane bezpośrednio po jego wlewniu do formy (aby zminimalizować ewentualne występowanie fazy stałej) i utrzymywane w ciągu całego procesu, aż do pełnego zakrzepnięcia odlewu. Po upływie wymaganego czasu odlew jest wysuwany z formy za pomocą układu wypychaczy.

Wysokie ciśnienie, pod którym metal krzepnie we wnęcie formy sprzyja otrzymywaniu odlewów o znikomych defektach, bez nieciągłości strukturalnych, co dodatkowo umożliwia przeprowadzenie ich pełnej obróbki cieplnej (podwyższającej właściwości), zwłaszcza wysokotemperaturowego utwardzania dyspersyjnego [3]. Dzięki zastosowaniu ciśnienia zewnętrznego zarówno jako czynnika siłowego oraz jako czynnika termodynamicznego podczas procesu krzepnięcia metalu, uzyskiwać można znaczną poprawę końcowych parametrów wytrzymałościowych odlewów [4]. Zewnętrzne ciśnienie wpływa pozytywnie na właściwości technologiczne stopów, tj. intensyfikuje zdolność ciekłego metalu do

wypełniania wnęki formy oraz ogranicza jego skurcz. Znany jest też inny rezultat wpływu podwyższonego ciśnienia na odlew, a mianowicie wzrost jego zwartości w wyniku eliminacji porowatości skurczowej i gazowej. Porowatość gazowa odlewu jest determinowana warunkami zarodkowania pęcherzyka gazowego w roztworze, dlatego wysoka wartość ciśnienia zewnętrznego praktycznie to uniemożliwia [5]. Natomiast wzmoczona w warunkach technologii *squeeze casting* wymiana cieplna w układzie odlew-forma prowadzi z kolei do otrzymania odlewu bez nieciągłości strukturalnych i o rozdrobionej mikrostrukturze oraz o wysokim poziomie właściwości, zbliżonym do poziomu właściwości wyrobów przerabianych metodami przeróbki plastycznej. Jednak, w porównaniu do procesów przeróbki plastycznej, proces prasowania w stanie ciekłym jest pod wieloma względami bardziej ekonomiczny, chociażby ze względu na niższe zużycie energii i materiału. Odlewy prasowane w stanie ciekłym charakteryzują się średnio 10 – 15% wzrostem wartości granicy plastyczności oraz 50 – 80% poprawą wydłużenia całkowitego. Technologia prasowania w stanie ciekłym daje możliwość produkcji odlewów z dokładnym odwzorowaniem kształtu i powierzchni praktycznie „na gotowo” (ang. *near net shape*) z uzyskiem metalu powyżej 95% [4-6]. W praktyce technologię *squeeze casting* wykorzystuje się do produkcji odpowiedzialnych części w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i zbrojeniowym. Korzystne jej aspekty zostały docenione w kontekście wytwarzania narażonych na obciążenia elementów zawieszenia w samochodach osobowych wielu znanych marek.

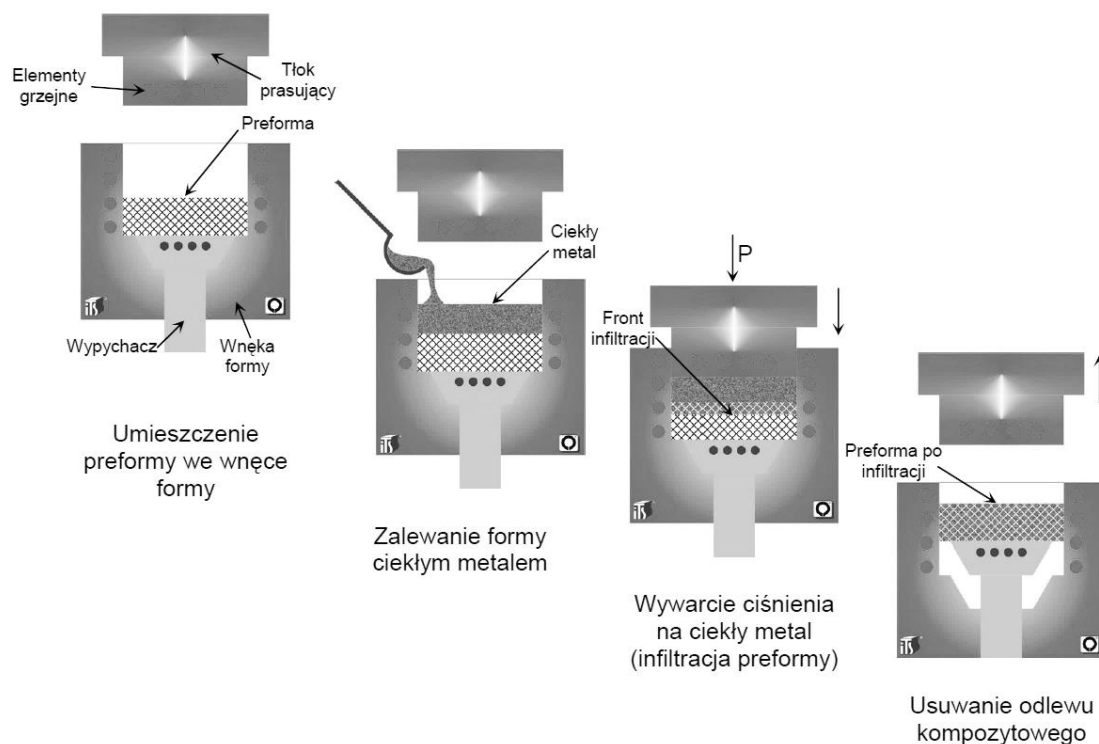
2. TECHNOLOGIA METALOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH DO ZASTOSOWAŃ OBRONNYCH

W przypadku zastosowania procesu *squeeze casting* do odlewanych metalowych materiałów kompozytowych, ciśnienie zewnętrzne w trakcie krystalizacji stymuluje wzrost kompatybilności składników układu metal/zbrojenie (np.: ceramika, włókna, specjalna konstrukcja zbrojąca) [7-8]. W przypadku infiltracji ciśnieniowej (*squeeze infiltration*), ciśnienie umożliwia wpłynięcie ciekłego metalu w kapilarne kanały kształtek ceramicznych (preform) (rys. 1, 3) lub kanały znajdujące się pomiędzy elementami konstrukcji zbrojącej lub tkaniny 3D i wytworzenie sieci komponentów (składników) wzajemnie przenikających się.



Rys. 1. Preforma wykonana z włókien Saffil wraz z analizą CT

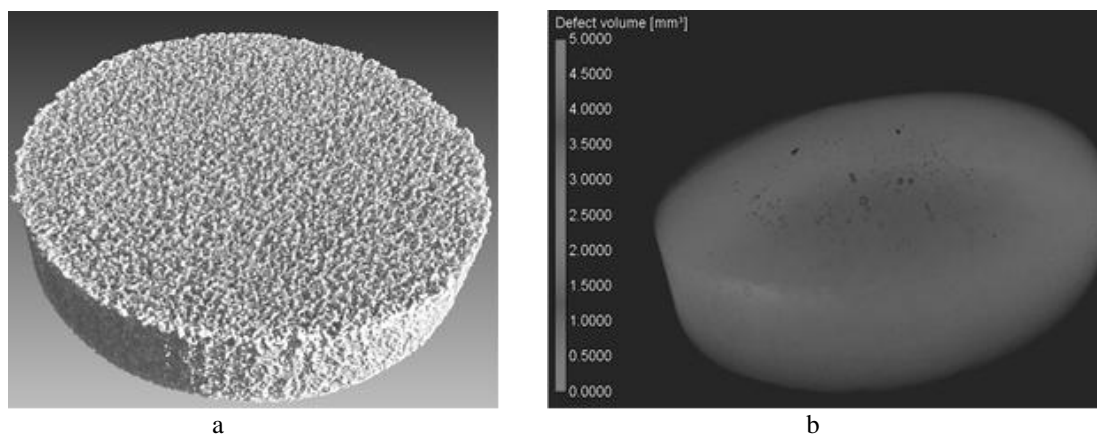
a) widok ogólny, b) rekonstrukcja CT



Rys. 2. Schemat infiltracji ciśnieniowej (squeeze infiltration), realizowanej w wariacie prasowania w stanie ciekłym (squeeze casting) z wywieraniem ciśnienia zewnętrznego za pomocą górnego tłoka pracującego

Infiltracja ciśnieniowa (rys. 2) jest prawdopodobnie najbardziej opłacalnym i wszechstronnym procesem otrzymywania kompozytów na bazie stopów metali lekkich. Do zalet tego procesu należy relatywnie niski koszt materiału osnowy, ograniczone niebezpieczeństwo mechanicznego niszczenia zbrojenia, znaczna prędkość wytwarzania, prostota oprzyrządowania (podobnie jak dla konwencjonalnego odlewania) oraz możliwość otrzymywania wyrobów o dokładnym odwzorowaniu kształtu i powierzchni, co pozwala na znaczne ograniczenie niezbędnej obróbki wiórowej i wykańczającej. Inne zalety wynikają z zachowania ograniczeń natury chemicznej dla układu osnowa/zbrojenie - krótsze czasy kontaktu, czyli zredukowane oddziaływanie wzajemne zbrojenie/osnowa. W przypadku infiltracji ciśnieniowej potencjalne występowanie części nieinfiltrowanych jest znacząco ograniczone, albowiem ciekły metal osnowy zasila porowate obszary preformy lub puste przestrzenie konstrukcji zbrojącej pod ciśnieniem i pod właściwie dobranymi i kontrolowanymi warunkami pola temperaturowego, co w rezultacie zapewnia uzyskanie znacznie rozdrobionej mikrostruktury. Główną wadą procesu są wyższe wymagania w stosunku do oprzyrządowania i aparatury generującej ciśnienie zewnętrzne. Problemy pojawiają się również w przypadku dużych lub lokalnie zbrojonych odlewów. Do najważniejszych parametrów procesu, które muszą być starannie kontrolowane, należą:

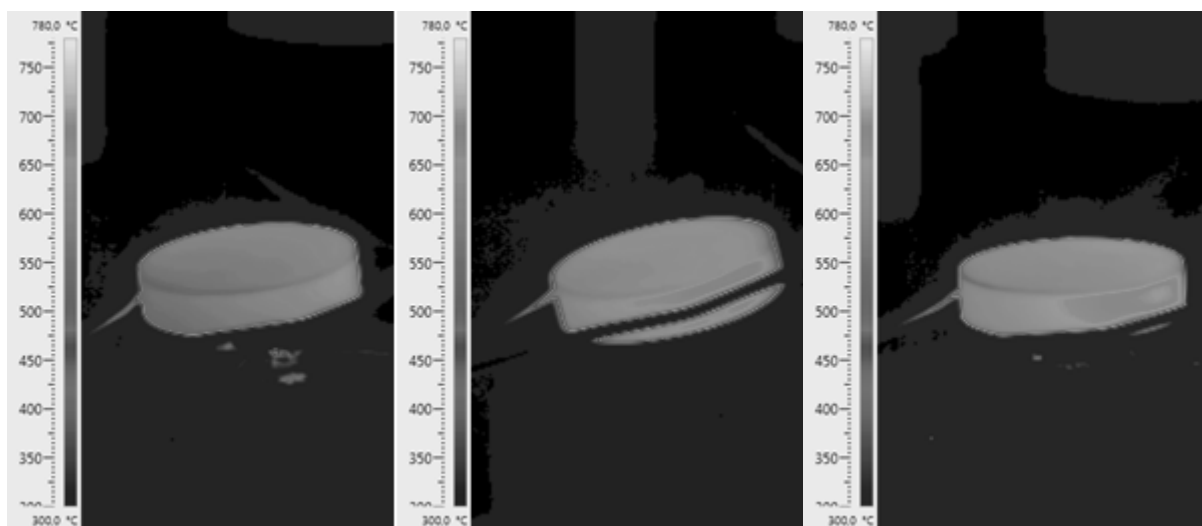
- początkowa temperatura preformy (jej rozkład), formy i metalu,
- udział objętościowy zbrojenia,
- wartość przykładanego ciśnienia i prędkość infiltracji (są to parametry zależne) [9].



Rys. 3. Preforma ceramiczna

a) rekonstrukcja (wizualizacja 3D) preformy z Mullitu, b) rozkład przestrzenny defektów

Gotowe preformy ceramiczne (rys. 2-3) lokowane są w formie, często razem z odpowiednimi wkładkami lub rdzeniami. Lokalizacja preform bezpośrednio wynika z założonych potrzeb miejscowego lub całościowego zbrojenia przyszłego wyrobu. Gaz gromadzący się w preformie przed frontem infiltracji jest zwykle usuwany poprzez kanały wentylacyjne formy. Temperatura preformy powinna być wyższa od temperatury likwidus osnowy, co zmniejsza segregację składników strukturalnych osnowy. Ważny jest także równomierny rozkład temperatury w preformie (rys. 4) oraz jak najkrótszy czas biegnący od jej nagrzania do początku infiltracji, gdyż zapobiega to niepotrzebnej deformacji, co rzutuje na przyszłe właściwości wyrobu. Zazwyczaj do wstępnego nagrzania preformy doprowadza się za pomocą pieców lub specjalnych promienników. Czasem niskie temperatury preformy i formy, w połączeniu z wysokimi wartościami ciśnienia pod koniec cyklu, powodują zminimalizowanie niepożądanego oddziaływania wzajemnego w układzie zbrojenie/osnowa.



Rys. 4. Analiza termiczna procesu infiltracji - rozkład temperatur w preformie na chwilę przed infiltracją. (Preforma Saffil - infiltrowana stopem – 7075)

Tablica 1. Wykaz preform ceramicznych wraz z podstawowymi informacjami

	Material	Typ preformy	Udział porowatości, % obj.
1	Węglik krzemu (SiC)	Cząsteczki	40
2	Włókno węglowe	Krótkie włókna	80
3	Węglik boru (B ₄ C)	Cząsteczki	40
4	Tlenek glinu (Al ₂ O ₃)	Włókna krótkie	70
5	Mulit (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)		75

3. CEL PRACY

Założenia technologiczne pancerza modułowego obejmują prace związane z doбором materiałów o odpowiednich właściwościach mechanicznych, spełniających kryteria stosowalności w tego typu aplikacjach. W ramach realizacji projektu MODPANC wyselekcjonowano materiały, których właściwości pozwalają na skonstruowanie nowej generacji pancerzy modułowych, przeznaczonych do ochrony pojazdów. Ich zgromadzenie poprzez zakup lub wytworzenie metodami metalurgicznymi stanowiło pierwszy etap zadania. Dobór stopów metali odbywał się głównie z uwzględnieniem ich przydatności do prasowania w stanie ciekłym, a także pod kątem wymagań wytrzymałościowych oraz takich właściwości jak: sztywność, plastyczność, udarność oraz właściwości fizykochemicznych, zwłaszcza odporności na korozję. Zasadniczym krokiem była adaptacja zainstalowanego na terenie Instytutu Odlewnictwa, nowoczesnego stanowiska do prasowania w stanie ciekłym UBE VSC 500 dla potrzeb kompleksowej technologii wytwarzania innowacyjnych odlewanych pancerzy modułowych. Zakres prac obejmował zaprojektowanie pancerza, specjalistycznej formy ciśnieniowej, dobór specjalistycznych stopów, wyznaczenie parametrów procesu prasowania w stanie ciekłym. Uzyskane odlewy pancerzy zostały przebadane na obecność wad odlewniczych i różnych nieciągłości struktury w celu stwierdzenia wpływu tych nieciągłości na właściwości użytkowe wyrobów gotowych, a także w celu określenia mechanizmów zjawisk występujących w wyniku obciążeń mechanicznych.

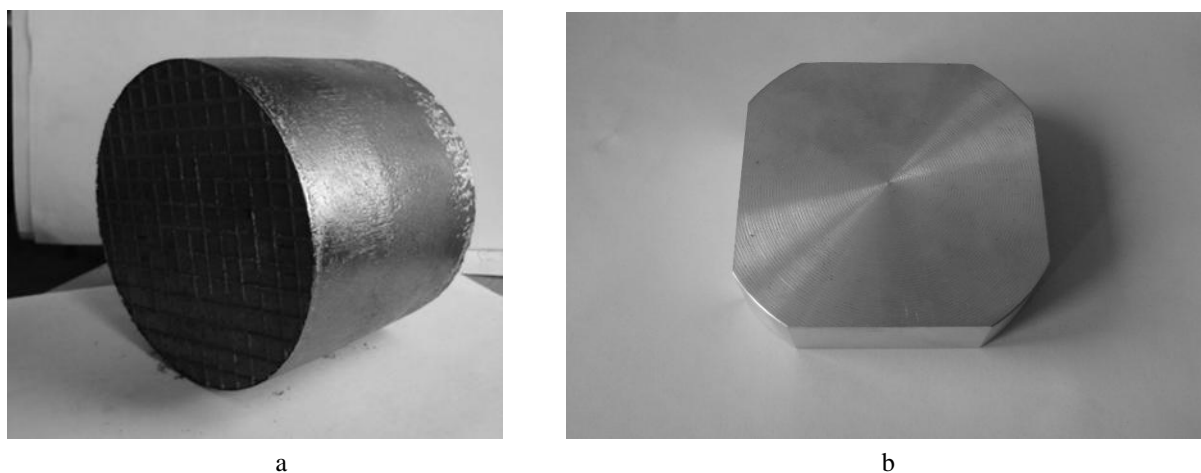
4. NARZĘDZIA

Pierwotnie proces prasowania w stanie ciekłym podstawowych elementów pancerza realizowano przy użyciu zmodernizowanej prasy hydraulicznej PHM-160 (rys. 5b) umożliwiającej prasowanie przy maksymalnym ciśnieniu wynoszącym 150 MPa i sile zwierania formy bliskiej 160 t. Forma ciśnieniowa (rys. 5a) posiadała system kanałów chłodzących, który umożliwiał stabilizację i rozkład temperatury w całej objętości formy. Wytwarzano odlewy kompozytowe o wymiarach Ø100x100 mm, w których - w zależności od stosowanej metody infiltracji (górna lub dolna) - umieszczana była płytka ceramiczna o różnych grubościach. Schemat obrazujący proces infiltracji ciśnieniowej przedstawiono na rysunku 1. Preformy ceramiczne nasycano kilkoma rodzajami stopów lekkich - głównie na bazie aluminium oraz magnezu.



Rys. 5. Forma i stanowisko do odlewania kompozytów metalowych na zmodernizowanej prasie PHM-160

a) specjalistyczna forma ciśnieniowa, b) widok prasy hydraulicznej



Rys. 6. Widok wlewką wyjętego z formy oraz gotowej płytki kompozytowej po zabiegu frezowania

a) wlewkę usuniętą bezpośrednio z formy, b) płytkę kompozytowa po zabiegu frezowania

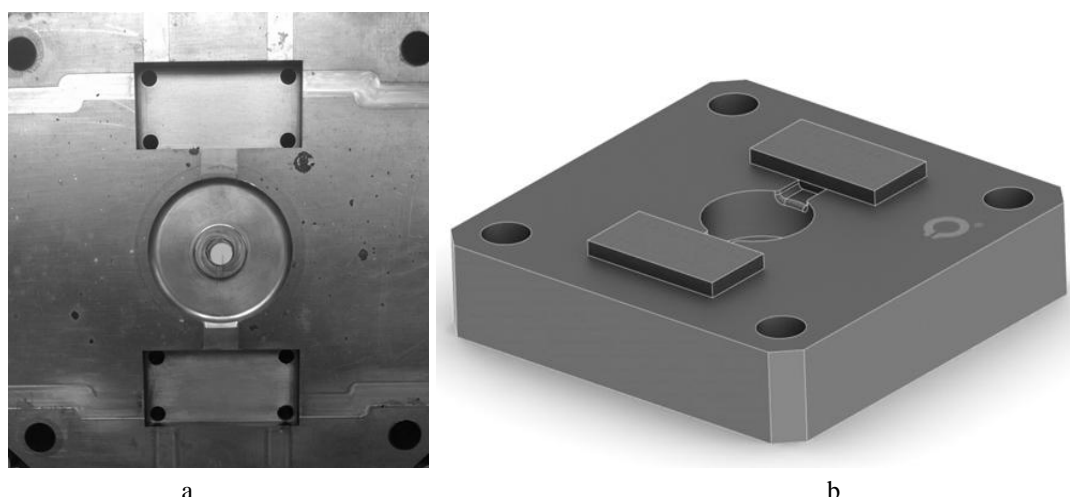
Obecnie większość prac związanych z prasowaniem w stanie ciekłym realizowana jest na kompleksowym stanowisku UBE VSC 500 (rys. 7) zainstalowanym w Instytucie Odlewnictwa dzięki realizacji projektu ZAMAT, współfinansowanego ze środków unijnych. Urządzenie posiadające pionowy układ zasilający oraz zwierający wyposażone jest w piec topialno - podgrzewczy z tygłem o pojemności 500 kg, w którym przygotowywane są wybrane stopy metali. Stanowisko do prasowania w stanie ciekłym UBE VSC 500 posiada klatkę zwierającą o sile 500 ton; prędkość tłoka kształtuje się w zakresie 10-80 mm/s, natomiast maksymalna siła tłoka jest równa $F_t = 80$ t. Są to parametry wystarczające do poprawnej realizacji odlewu elementu pancerza. Maszyna ta posiada bardzo nowoczesny system sterowania oraz oprogramowanie pozwalające na dokładną i natychmiastową akwizycję danych. Przygotowanie urządzenia odbywa się poprzez montaż wcześniej zaprojektowanej formy odlewniczej w klatce zwierającej maszyny wraz z podłączeniem

armatury grzewczo – chłodzącej oraz uruchomienie oprogramowania sterującego. Następnie specjalnie przygotowaną preformę lub konstrukcję wewnętrzną pancierza wraz elementami ceramicznymi umieszcza się w formie odlewniczej, do której doprowadzany jest ciekły stop. Kolejnym krokiem jest odlewanie wstępne służące ustaleniu parametrów pracy maszyny, określeniu pojemności komory, objętości metalu, temperatury chłodzenia i grzania formy, prędkości podawania metalu, ciśnienia metalu i siły tłoka. Właściwy cykl wykonania gotowego odlewu na tej maszynie składa się z czterech etapów. Pierwszy polega na pobraniu ciekłego metalu za pomocą ramienia roboczego zakończonego łyżką ze specjalnego pieca topialno-podgrzewczego, następnie metal wlewany jest do nachylonej komory wlewowej. W trzecim etapie komora przyjmuje pozycję pionową dopasowaną do układu wlewowego, po czym następuje czwarty krok, czyli wypełnienie formy ciekłym metalem przy pomocy ruchu tłoka i infiltracja ciśnieniowa. Po wypełnieniu formy metalem odlew doprasowywany jest tłokiem. Serię próbną odlewów pancierzy można przeznaczyć do testów poligonowych, celem określenia rzeczywistej zdolności ochronnej.



Rys. 7. Unikalne w skali środkowoeuropejskiej kompleksowe stanowisko do prasowania w stanie ciekłym UBE VSC 500

Forma do realizacji procesu prasowania w stanie ciekłym (*squeeze casting*) pracuje w ekstremalnych warunkach. Duże ciśnienie, wysoka temperatura oraz agresywność ciekłego metalu do materiału formy to najważniejsze problemy, jakie należy uwzględnić przy projektowaniu tego narzędzia odlewniczego. W oparciu o wieloletnie doświadczenie pracowników Instytutu Odlewnictwa związane z technologią prasowania w stanie ciekłym oraz infiltracji ciśnieniowej porowatych materiałów opracowano wstępny projekt, a następnie sporządzono pełną dokumentację konstrukcyjną formy do stosowania na stanowisku UBE VSC 500 (rys. 8c).



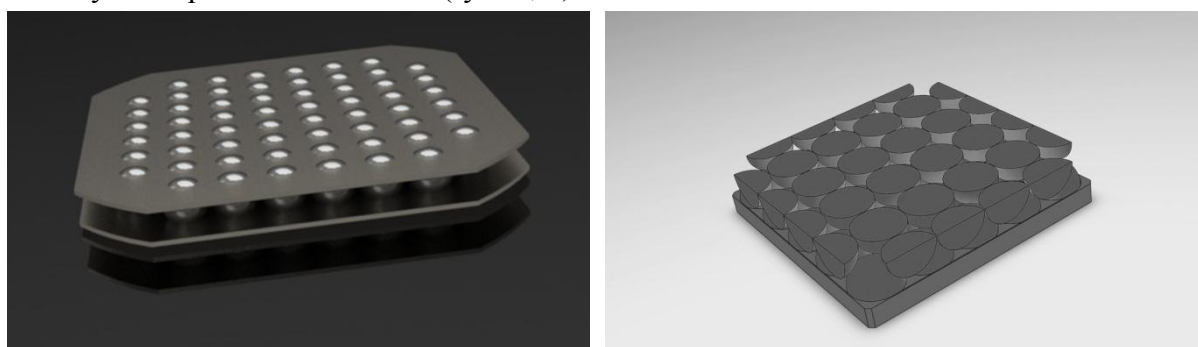
Rys. 8. Specjalistyczna forma ciśnieniowa przeznaczona do prasowania w stanie ciekłym

a) górna połowa formy z odwzorowanym kształtem podstawowego elementu pancerza (PEP)

b) wizualizacja projektu formy – dolna połowa

Forma składa się z dwóch części (rys. 8). W dolnej części umieszczono specjalną wkładkę, w której mogą znajdować się wstępnie przygotowane i podgrzane preformy lub specjalne konstrukcje zbrojące przeznaczone do infiltracji ciśnieniowej ciekłym stopem. W górnej ruchomej części znajduje się tłok prasujący. Obydwie części formy posiadają kanały chłodzące pozwalające kontrolować temperaturę formy w trakcie wytwarzania odlewów. Zewnętrzny układ grzewczo-chłodzący umożliwia stabilizację temperatury w trakcie wykonywania odlewów, jak również służy do wstępnego podgrzania formy przed rozpoczęciem prac oraz w trakcie krótkich przerw niezbędnych do oznaczenia próbek lub przeprowadzenia analizy rentgenowskiej wytworzonych odlewów. System grzewczo-chłodzący pozwala na podgrzanie formy do temperatury 350°C, a więc poza zakres stosowany w standardowych rozwiązaniach. Do wstępnego nagrzania preform służy zestaw wysokiej mocy promienników podczerwieni.

W ramach realizacji projektu MODPANC wytwarzane są obecnie różne warianty podstawowego elementu pancerza, który w przyszłości wejdzie w skład dodatkowego modułowego opancerzenia kołowych transporterów i platform gaśnicowych. Przykładowy element zawiera wewnętrzną strukturę zbrojącą składającą się z blach lub folii o podwyższonej wytrzymałości i brył ceramicznych oraz strukturę zewnętrzną w postaci osnowy ze stopów metali lekkich (rys.9a, b).



Rys. 9. Wizualizacja projektów koncepcyjnych podstawowego elementu pancerza (PEP) przeznaczonych do realizacji w projekcie MODPANC



Rys. 10. Widok podwójnego odlewu podstawowego elementu pancerza (PEP) wraz z układem wlewowym, bezpośrednio po wyjęciu z formy (w tle widoczna jej dolna połowa)

5. PODSUMOWANIE

Pasywny kompozytowy pancerz ochronny, zaprojektowany według oryginalnej myśli inżynierskiej w Instytucie Odlewnictwa, zbudowany jest ze specjalnej wielowarstwowej konstrukcji zatopionej w metalowej osnowie ze stopów lekkich, stanowiącej dodatkowe wzmocnienie kompozytu. Takie rozwiązanie charakteryzuje się wysoką skutecznością ochronną w przypadku ochrony przed małokalibrowymi pociskami przeciwpancernymi typu AP i może wchodzić w skład zewnętrznych powłok systemu ochrony mobilnych środków transportowych. Unikatowe rozwiązanie konstrukcji pancerza oraz sposób wytwarzania bazujący na technologii prasowania w stanie ciekłym (*squeeze casting*) sprawia, że pancerz tego typu jest wytrzymały oraz nie wymaga stosowania kosztownych i czasochłonnych prac związanych z obróbką wykańczającą. Przyjęcie odpowiedniej metodyki badawczej pozwoli na sprawdzenie czy zaproponowane różne warianty pancerza oraz sposób ich wytwarzania zapewni uzyskanie wyrobu spełniającego wymagania określone w normach dotyczących eksploatacji dodatkowych pancerzy modularnych. Najważniejszym elementem metodyki będzie kompleksowe stanowisko do prasowania w stanie ciekłym UBE VSC 500, na którym zostaną przeprowadzone wszystkie próby odlewania, zaś jego adaptacja będzie polegać na określeniu optymalnych parametrów procesu, gwarantujących wysoką jakość i powtarzalność wyrobów.

Zalety procesu *squeeze casting* otwierają nowe możliwości projektowe dodatkowych systemów opancerzenia składających się z elementów odlewanych, proces ten stanowi bowiem rozwiązanie alternatywne względem tradycyjnych technologii odlewniczych i procesów przeróbki plastycznej. Sam proces jest łatwy w realizacji, ekonomicznie racjonalny, praktycznie bezodpadowy (o wysokim uzysku ciekłego metalu sięgającym nawet ponad 95%) i gwarantuje wysoką wydajność produkcji. Spośród wszystkich odlewniczych sposobów wytwarzania, metoda prasowania w stanie ciekłym zapewnia najwyższy poziom właściwości mechanicznych i maksymalny stopień rozdrobnienia struktury, co w połączeniu z jej integralnością technologiczną pozwala na zastosowanie w aplikacjach krytycznych, to jest na wysoko obciążone części, a także na elementy ochronne w postaci systemów opancerzenia.

6. LITERATURA

- [1] Bonderek Z., Chromik St.: Odlewnictwo ciśnieniowe metali i formowanie wtryskowe tworzyw sztucznych, Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2006.
- [2] Białobrzęski A.: Technologie specjalne odlewania ciśnieniowego, Wydanie I, Instytut Odlewnictwa, Kraków 1998.
- [3] Sobczak J.: Teoretyczne i praktyczne podstawy procesu prasowania w stanie ciekłym (squeeze casting) metali nieżelaznych, Prace Instytutu Odlewnictwa, XLIII, Zeszyt Specjalny Nr 41, Kraków, 1993, 310 s.
- [4] Lewis D.: Solidification defects revisited and semi-solid processing, JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, Vol. 58, No 6, 2006, pp. 12.
- [5] Górny Z. Sobczak J.: Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych. Metalowe materiały kompozytowe. Wytwarzanie kompozytów metalowych. Wydawnictwo ZA-PIS, Wydanie I, Kraków 2005.
- [6] Sobczak J.: Teoretyczne i praktyczne podstawy procesu prasowania w stanie ciekłym (squeeze casting) metali nieżelaznych, Prace Instytutu Odlewnictwa, XLIII, Zeszyt Specjalny Nr 41, Kraków, 1993, 310 s.
- [7] Sobczak J.: Nowoczesne tworzywa i procesy technologiczne w odlewnictwie. Nowa ramowa ogólnokrajowa propozycja badawczo-rozwojowa, ISSN 1730-2250, Odlewnictwo - Nauka i Praktyka, 2006, Rocznik 8, Zeszyt Specjalny Nr 4 (monografia).
- [8] Sobczak J., Drenchev L.: Squeeze Casting of Metal Matrix Composites, Proceedings of Fourth International Congress "Mechanical Engineering Technologies'04", September 23-25.2004, Varna, Bulgaria, ISSN 1310-3946, Plenary Papers, pp. 50-43.
- [9] Sobczak J.: Kompozyty Metalowe, Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa i Instytutu Transportu Samochodowego, Kraków-Warszawa 2001, 100s.

MANUFACTURE OF LIGHTWEIGHT COMPONENTS FOR A COMPOSITE PROTECTIVE ARMOUR USING SQUEEZE CASTING TECHNOLOGIES

Abstract. Experimental studies described in the present article adapt modern VSC 500 equipment produced by UBE for the squeeze casting technology, located at Foundry Research Institute in Cracow, Poland. The aim of such adaptation was to set up a comprehensive technology capable to manufacture essential elements for lightweight composite armour protection. The overall scope of the study included development of basic design of an armour element and the selection of materials necessary for its construction. Furthermore development of special mould design along with determining the optimal parameters for the squeeze casting process has been considered. The presented unique liquid-phase technology of composite element manufacture allows obtaining armour elements with a high protection efficacy against small-calibre armour piercing projectiles. The elements can also be part of a modular protection system for mobile transport means (land and aerial vehicles).

Keywords: squeeze casting, composites, light metal alloys

W artykule wykorzystano wstępne wyniki prac pierwszego etapu projektu „Dodatkowe, modułowe opancerzenie kołowych transporterów opancerzonych i platform gąsienicowych” finansowanego ze środków NCBiR, Warszawa