

Artur OLSZAK<sup>1</sup>  
Marcin MIGUS<sup>2</sup>  
Zbigniew KĘSY<sup>3</sup>  
Andrzej KĘSY<sup>3</sup>

## NOWE MATERIAŁY I TECHNOLOGIE W BUDOWIE APARATURY CHEMICZNEJ

W artykule przedstawiono problemy związane z zastosowaniem nowych materiałów w konstruowaniu i wytwarzaniu aparatury chemicznej. Rozważania przeprowadzono w oparciu o zastosowanie tytanu jako nowego materiału.

## NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES USED IN CHEMICAL EQUIPMENT DESIGN

In this paper the problems arising from the use of new materials in the design and manufacture of chemical apparatus are described based on industry examples.

### 1. WSTĘP

Wysokie wymagania stawiane aparaturze chemicznej stosowanej w instalacjach przemysłowych oraz rosnące standardy bezpieczeństwa sprawiają, że konieczne jest wprowadzanie coraz to nowych materiałów i technologii do budowy tych urządzeń. Materiały stosowane do budowy elementów aparatury chemicznej narażone są na agresywne działanie wielu substancji, takich jak np. silnie żrące ciecze. Dodatkowo medium płynące w instalacji może zawierać cząstki stałe (np. kryształy), które powodują mechaniczne zużycie elementów aparatury chemicznej. Zatem materiały stosowane do budowy instalacji chemicznych muszą odznaczać się wytrzymałością na działanie wysokich ciśnień, wysokiej temperatury, a ponadto odpornością na destrukcyjne działanie mediów.

Stosowane dotychczas materiały często nie spełniają w pełni wszystkich stawianych im wymagań. Powoduje to skrócenie czasu eksploatacji aparatury chemicznej w wyniku przyspieszonego zużycia oraz wymusza większą częstość wykonywania dodatkowych badań kontrolnych.

W wyniku postępu badań podstawowych, dotyczących procesów fizycznych i chemicznych zachodzących w materiałach, wytwarzane są nowe materiały, znajdujące coraz szersze zastosowanie w instalacjach używanych w przemyśle chemicznym. Są to między innymi metale i ich stopy o niespotykanej dotychczas wytrzymałości i odporności na niszczące działanie związków chemicznych. Zastosowanie do budowy aparatury chemicznej takich materiałów pozwala spełnić w zadawalającym stopniu obowiązujące obecnie wymagania dotyczące właściwości materiału.

W artykule wskazano problemy zastosowania nowych materiałów w budowie aparatury chemicznej, związane z technologią obróbki i łączenia elementów składowych, na przykładzie tytanu i jego stopów.

### 2. NOWE MATERIAŁY W BUDOWIE APARATURY CHEMICZNEJ

#### 2.1. Wyroby metalowe w budowie aparatury chemicznej

Materiały stosowane w budowie aparatury chemicznej są znormalizowane i podlegają określonym wymaganiom zawartym w odpowiednich przepisach i normach [1, 2, 3, 4]. Przy doborze rodzaju materiału bierze się pod uwagę zarówno właściwości wytrzymałościowe, odporność chemiczną jak i możliwości technologiczne obróbki skrawaniem i łączenia poszczególnych elementów składowych dostępnymi metodami. Dla przykładu, stale stosowane do budowy aparatury chemicznej są podzielone na grupy materiałowe [5]. Kryterium podziału stanowią: skład chemiczny, własności wytrzymałościowe oraz stan obróbki cieplnej. Dodatkowo, w trakcie procesu

<sup>1</sup> Instytut Nowych Syntezy Chemicznych, Zakład Wspierania Technicznego, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13A, 24-110 Puławy, tel: + 48 81 473-17-46, e-mail: artur.olszak@ins.pulawy.pl

<sup>2</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sandomierzu, Instytut Techniczny, ul. Schinzla 13a, 27-600 Sandomierz, tel: + 48 tel./fax 015 644 60 06, e-mail: mmigus@gmail.com

<sup>3</sup> Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54. tel: + 48 48 361-71-42, e-mail: zpnz@interia.pl

technologicznego, materiały poddawane są różnym badaniom międzyoperacyjnym, szczególnie po procesach spawalniczych. Uwarunkowane jest to względami bezpieczeństwa i trwałości aparatury chemicznej.

Podstawowe postacie materiałów używanych do budowy aparatury chemicznej to: blachy, taśmy, pręty, rury, odkuwki, odlewy. Półfabrykaty te są następnie poddawane dalszej obróbce, zgodnie z technologią wykonania aparatury chemicznej. Dla przykładu, elementy składowe aparatury chemicznej takie jak: kołnierze, dna o różnych kształtach, płaszcze zbiorników, płyty sitowe do zabudowy rur, pierścienie, itp. wymagają przetwarzania materiału zgodnie z ustalonym procesem technologicznym [5, 6, 7, 8].

## 2.2. Nowe materiały w budowie aparatury chemicznej

Warunki pracy nowych instalacji i ich elementów często uniemożliwiają użycie materiałów stosowanych tradycyjnie do budowy aparatury chemicznej. Wiąże się to z wysokimi wymaganiami, co do trwałości instalacji i jej bezpieczeństwa. Zazwyczaj o wyborze rodzaju materiału decyduje odporność chemiczna na agresywne środowisko pracy instalacji. Z tego powodu poszukuje się nowych materiałów, spełniających wymagania odporności chemicznej, erozyjnej i dodatkowo wysokich własności wytrzymałościowych, które dotychczas nie były stosowane w budowie aparatury chemicznej. Przykładem grupy takich nowych materiałów są tytan i jego stopy. Nazwy handlowe materiałów zawierających tytan to np.: Tytan Grade 1, Tytan Grade 2, Tytan Grade 5, Tytan Grade 12 [9]. W tabeli 1 przedstawiono wybrane właściwości mechaniczne i fizyczne tytanu i jego stopów [10, 11].

Tab. 1. Wybrane właściwości mechaniczne i fizyczne tytanu i jego stopów

Gatunek tytanu	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Twardość [HV]
Grade 1	170	240	4,51	115
Grade 2	275	345	4,51	160
Grade 5	825	895	4,43	330
Grade 12	345	483	4,51	150

Zastosowanie tytanu i jego stopów do budowy aparatury chemicznej zapewnia spełnienie przede wszystkim wysokich wymagań odporności chemicznej. Dodatkowymi zaletami tego materiału są bardzo dobre własności wytrzymałościowe i niski ciężar. Jednak z zastosowaniem tych materiałów wiążą się istotne problemy, wynikające ze specyfiki technologii obróbki i łączenia poszczególnych elementów, szczególnie procesów łączenia przez spawanie.

## 3. NOWE TECHNOLOGIE W BUDOWIE APARATURY CHEMICZNEJ

Zastosowanie nowych materiałów zasadniczo wpływa na proces konstruowania i technologię wykonania aparatury chemicznej. Proces technologiczny wykonania aparatury chemicznej zawiera zarówno przygotowanie i wytworzenie elementów składowych, jak i technologię łączenia tych elementów.

### 3.1. Konstrukcja aparatury chemicznej z użyciem nowych materiałów

Na etapie konstruowania należy uwzględnić dostępność wybranego rodzaju materiału w odpowiedniej dla konstruowanego elementu postaci. Podczas wykonania aparatury chemicznej może się okazać, że dany rodzaj materiału np. w postaci odkuwki, czy pręta nie jest dostępny. Ponadto należy tak przeprowadzić proces konstrukcyjny, aby umożliwić skuteczne połączenie poszczególnych elementów składowych. Z uwagi na fakt, że zazwyczaj nowe materiały nie mogą być łączone przez spawanie z materiałami z innej grupy materiałowej, w przypadku użycia tych materiałów, konstrukcja aparatury chemicznej jest bardziej złożona. Przy łączeniu poszczególnych elementów należy wtedy stosować połączenia skręcane, co dodatkowo zwiększa ilość części składowych aparatury chemicznej oraz wpływa na liczbę operacji technologicznych, szczególnie obróbki skrawaniem, poszczególnych elementów [12, 13, 14].

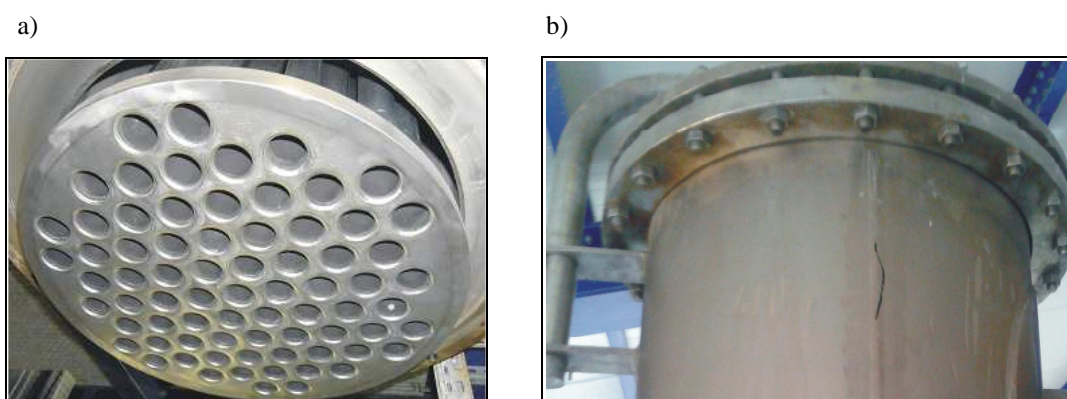
### 3.2. Wykonanie elementów składowych z nowych materiałów

Proces produkcyjny aparatury chemicznej rozpoczyna się od weryfikacji dostarczonych materiałów i półfabrykatów, pod kątem zgodności z wymaganiami określonymi w dokumentacji technicznej i odpowiednich

normach. Materiały powinny posiadać odpowiednie certyfikaty potwierdzające ich właściwości wytrzymałościowe, skład chemiczny oraz opisujące badania i próby jakim zostały poddane [15]. Następnym etapem produkcji jest wykonanie podstawowych elementów składowych aparatury chemicznej, takich jak: kołnierze, króćce, blachy lub rury na płaszcze, z uwzględnieniem wymogów połączenia. Istotną operacją technologiczną tego etapu jest przygotowanie brzegów łączonych elementów do spawania. Na każdym etapie produkcji są prowadzone kontrole techniczne.

Do ukształtowania z nowych materiałów elementów składowych aparatury chemicznej mogą być użyte tradycyjne technologie, głównie obróbka na obrabiarkach sterownych numerycznie lub nowe technologie – technologie addytywne.

Wykonanie elementów składowych aparatury chemicznej, z użyciem tradycyjnych technologii, obejmuje przede wszystkim operacje obróbki skrawaniem, cięcia, wiercenia, zaginania, itp. Większość z tych operacji wykonywana jest na obrabiarkach sterowanych numerycznie, co znacznie ułatwia pracę, pozwalając jednocześnie na szybkie i precyzyjne wykonanie detalu. Tradycyjne procesy technologiczne obróbki skrawaniem elementów aparatów chemicznych wykonywanych z nowych materiałów wymagają jednak specjalnego podejścia. Wiąże się to z koniecznością zastosowania specjalnych narzędzi skrawających i doboru odpowiednich parametrów obróbki. Nowe materiały o podwyższonej wytrzymałości są trudne do obróbki skrawaniem, między innymi na skutek zacierania się narzędzi w materiale, szczególnie przy gwintowaniu otworów. Z tego powodu podczas obróbki tych elementów należy właściwie dobrać płyny obróbkowe. Dla przykładu, półfabrykaty oraz wyroby gotowe zawierające tytan nie mogą mieć styczności z detalami wykonanymi ze stali węglowych, ze względu na konieczność eliminacji potencjalnych ognisk korozji. Niektóre materiały po obróbce skrawaniem wykazują dużą niestabilność wymiarową. Na przykład, elementy wykonane z Tytanu Grade 12 ulegają deformacji wymiarowej nawet o kilka procent, co znacznie utrudnia precyzyjne łączenie elementów. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe elementy aparatury chemicznej wykonane z tytanu.



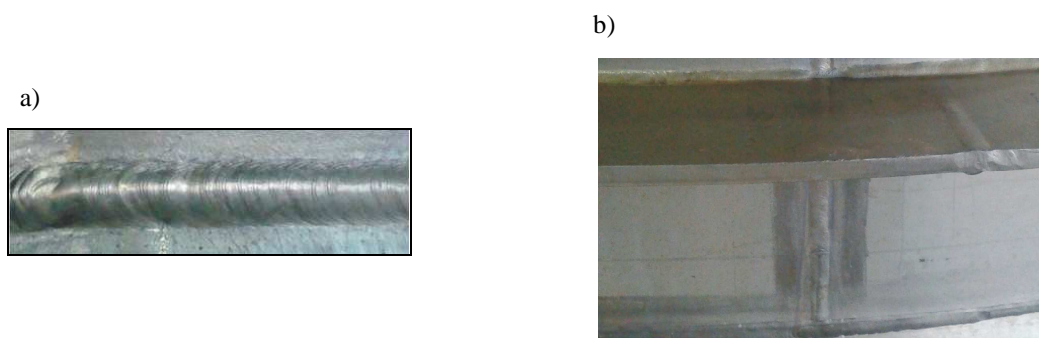
*Rys. 1. Elementy aparatury chemicznej wykonane z tytanu: a) wkład wymiennika ciepła, tj. ściana sitowa wraz z rurkami, b) fragment króćca aparatu z przykręconym kołnierzem*

Obróbka skrawaniem jest metodą ubytkową kształtowania części maszyn. Duża część materiału jest usuwana w procesie technologicznym i w postaci wiórów trafia na złom. Podczas wykonywania elementów z nowych materiałów jest to znacząca strata wynikająca z wysokiej ceny materiału wyjściowego. Alternatywą w wytwarzaniu elementów z nowoczesnych materiałów są technologie addytywne, nazywane również drukowaniem 3D. Rozwój tych technologii doprowadził do stworzenia nowego sposobu produkcji o odmiennej od dotychczasowej filozofii. Technologie addytywne znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, jak np. lotnictwo, medycyna, motoryzacja [16, 17, 18, 19]. Do niewątpliwych zalet tej technologii można zaliczyć krótki czas konieczny do wprowadzenia elementu prototypowego do produkcji. Technologie addytywne znacznie zmniejszają zużycie surowca, nie wymagają specjalnych narzędzi i oprzyrządowania. Zapewniają wysoką dokładność, szczególnie elementów o skomplikowanych kształtach. Proces produkcji jest znacznie krótszy, istnieje możliwość wprowadzania zmian konstrukcyjnych i optymalizacja przez konstruktora wytwarzanego elementu. Technologie te posiadają jednak szereg wad i ograniczeń. Głównym czynnikiem limitującym szerokie zastosowanie tego typu technologii są koszty zakupu maszyn. Poza tym ograniczone są gabaryty wytwarzanych elementów i dostępność odpowiednich gatunków materiałów do produkcji konkretnych elementów. Jednak, mimo tych ograniczeń, wraz z rozwojem techniki i wzrostem zapotrzebowania rynku, technologie addytywne znajdują szerokie zastosowanie [20, 21].

### 3.3. Łączenie elementów składowych aparatury chemicznej

Po wytworzeniu poszczególnych elementów składowych przystępuje się do ich łączenia. Najczęściej stosowaną metodą łączenia elementów aparatury chemicznej jest spawanie. W zależności od rodzaju materiału opracowywana jest odpowiednia technologia spawania, a proces łączenia prowadzi się pod specjalnym nadzorem, co pozwala uniknąć niepożądanych wad połączenia. Często po procesie spawania elementy poddawane są obróbce cieplnej, w celu usunięcia naprężeń spawalniczych. Po zakończeniu prac są przeprowadzane badania kontrole oraz, w zależności od wymagań, próby wytrzymałościowe. Rodzaj badań oraz procedura odbioru aparatury chemicznej zależą od warunków pracy oraz medium dla którego aparatura ta jest przeznaczona.

Tradycyjne technologie spawania podczas łączenia elementów składowych aparatury chemicznej mimo, że są wysoko zaawansowane, nie sprawiają problemów. Podczas spawania elementów wykonanych z nowych materiałów technologia spawania musi być przystosowana do danego rodzaju materiału. Podczas łączenia elementów należy utrzymać wysokie wymagania, co do przebiegu procesu technologicznego. Konieczna jest szczególna dbałość o stan powierzchni brzegów łączonych elementów oraz stan techniczny urządzeń spawalniczych. Proces spawania należy prowadzić bardzo starannie, zwracając szczególną uwagę na właściwe zabezpieczenie spoiny gazem osłonowym podczas spawania. Wymaga to stosowania dodatkowych adapterów nadmuchujących gaz osłonowy i osłaniających spoinę zarówno od strony lica, jak i od strony grani. Elementy o małych gabarytach mogą być spawane w specjalnych komorach. Podczas łączenia elementów o większych gabarytach prawidłowa osłona spoiny sprawia jednak wiele trudności. Przykłady spawanych elementów aparatury chemicznej, wykonanej z tytanu, przedstawiono na rysunku 2.



**Rys. 2.** Spawane elementy aparatury chemicznej wykonane z tytanu: a) wygląd spoiny, b) fragment płaszcza wraz z pierścieniem

Zastosowanie niewłaściwej osłony gazu podczas procesu spawania powoduje nieodwracalne zmiany w strukturze spoiny oraz materiału rodzimego. W przypadku np. spawania tytanu, zmiany te widoczne są gołym okiem i objawiają się przebarwieniem materiału. Spowodowane to jest utlenianiem się materiału podczas procesu spawania. Na rysunku 3 pokazano spoiny z widocznymi przebarwieniami od strony lica spoiny i w strefie wpływu ciepła.



**Rys. 3.** Spoiny z tytanu z widocznymi przebarwieniami

Po przebadaniu wykonanej spoiny może okazać się, że w miejscu zmian nastąpiło znaczne pogorszenie własności wytrzymałościowych spoiny. Uszkodzone miejsca nie mogą być spawane повторно, należy wtedy usunąć zmienioną warstwę materiału i wykonać spoinę ponownie.

Zastosowanie nowych materiałów wymaga dodatkowych nakładów finansowych związanych z technologią spawania. Prowadzenie procesów spawalniczych z użyciem nowych materiałów jest dużym wyzwaniem, nawet dla doświadczonych wytwórców aparatury chemicznej.

#### 4. WYZWANIA I ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z ZASTOSOWANIA NOWYCH MATERIAŁÓW I TECHNOLOGII

Zastosowanie nowych materiałów w budowie aparatury chemicznej wymaga dużej wiedzy i doświadczenia od inżyniera konstruktora oraz technologa. Na każdym etapie procesu produkcji aparatury chemicznej należy mieć na uwadze, że stosowany jest inny rodzaj materiału. O tym, czy zastosowanie nowoczesnych materiałów przyniesie pożądany efekt w postaci bezpiecznej i długotrwałej pracy aparatury chemicznej, decyduje wiele aspektów. Jako najważniejsze z nich można wymienić względy: ekonomiczne, projektowe i technologiczne.

Nowe materiały są często o wiele droższe od tradycyjnych i z uwagi na mały popyt są trudno dostępne w powszechnym obrocie. Z tych względów zakup takich materiałów często wiąże się z koniecznością zakupu większej, niż wynika to z bieżących potrzeb, ilości materiału w wymaganej postaci. Czas dostawy materiałów jest także dłuższy, co tym samym wydłuża czas budowy aparatury chemicznej. W szczególnych przypadkach może się okazać, że materiał w wymaganym gatunku i postaci nie jest dostępny. Zamówienie specjalne znacznie podraża koszty wykonania oraz wydłuża czas produkcji. Zatem już na etapie projektowania należy zbadać dostępność nowych materiałów oraz rozpatrzyć sposób ich obróbki i łączenia. Zwiększenie liczby elementów aparatury chemicznej wykonanych z nowych materiałów podwyższa jej końcowy koszt.

Konstruowanie elementów wykonanych z nowych materiałów wymaga uwzględnienia nietypowych warunków łączenia elementów i ich końcowego montażu. Dodatkowo, jak w przypadku tytanu i jego stopów, masa gotowego aparatu jest znacznie mniejsza, co powoduje konieczność wprowadzania zmian w typowych konstrukcjach wsporczych aparatury chemicznej.

Podczas przetwarzania nowych materiałów, a w szczególności ich obróbki skrawaniem, konieczne jest stosowanie specjalnych narzędzi i specjalnych płynów obróbczych. Istnieje duże ryzyko zmiany kształtu elementów aparatury po obróbce skrawaniem, i jego wpływu na dokładność wykonania poszczególnych elementów.

Proces łączenia elementów składowych wykonanych z nowych materiałów pociąga za sobą dodatkowe nakłady związane z zachowaniem właściwej technologii spawania oraz kontroli. Koszt naprawy urządzenia lub usuwania wad powstałych podczas produkcji jest także wyższy.

#### 5. WNIOSKI

Ciągle rosnące wymagania, co do bezpieczeństwa oraz trwałości, powodują że stosowanie nowych materiałów w budowie aparatury chemicznej staje się koniecznością. Opanowanie technologii obróbki i wytwarzania aparatury chemicznej z nowych materiałów konstrukcyjnych stwarza nowe rynki zbytu i może przyczynić się do rozwoju firmy specjalizującej się w takiej produkcji. Jednak stosowanie nowych materiałów w budowie aparatury chemicznej jest dużym wyzwaniem dla konstruktorów i wytwórców aparatury chemicznej. Toteż warunki technologiczne i szczególne wymogi jakie należy zachować podczas wytwarzania aparatury chemicznej z użyciem nowych materiałów zawężają rynek wytwórców do wąskiego, specjalistycznego grona.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 97/23/WE w sprawie zbliżenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń ciśnieniowych. 29 maj 1997 r.
- [2] Warunki Urzędu Dozoru Technicznego WUDT/UC/2003: *Urządzenia ciśnieniowe*, Wydanie I, Warszawa 2003.
- [3] PN – EN 13445–2/2006: *Nieogrzewane płomieniem zbiorniki ciśnieniowe – Część 2: Materiały*.
- [4] PN – EN 13480–2/2002: *Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 2: Materiały*.
- [5] CR ISO 15608/2000: *Spawanie – Wytyczne systemu podziału materiałów metalowych na grupy*.
- [6] PN – EN 1092–1/2007: *Kołnierze i ich oznaczenia – Kołnierze okrągłe do rur, armatury, kształtek, łączników i osprzętu z oznaczeniem PN – Część 1: Kołnierze stalowe*.
- [7] J. Pikoń: *Aparatura chemiczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
- [8] J. Pikoń: *Podstawy konstrukcji aparatury chemicznej*. Część I i II. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979.
- [9] [www.supraalloys.com](http://www.supraalloys.com)
- [10] [www.wolfen.pl](http://www.wolfen.pl)
- [11] [www.bibusmetals.pl](http://www.bibusmetals.pl)
- [12] Olszak A., Kęsy Z.: *Obliczanie wymienników ciepła z wykorzystaniem specjalistycznych programów komputerowych*, Mechanik. nr 12, 2011, s. 987, na załączonej płycie CD.
- [13] Kęsy Z., Kęsy A., Olszak A.: *Problematyka projektowania i wytwarzania instalacji przemysłowych*, Mechanik, nr 1, 2012, s. 31, na załączonej płycie CD.
- [14] Olszak A., Ziąbska E., Kęsy Z.: *Projektowanie instalacji przemysłowych z wykorzystaniem programów komputerowych*. Czasopismo techniczne, nr 1-M(5), s.269-276, 2013.
- [15] PN – EN 10204 *Rodzaje dokumentów kontroli*.

- [16] [www.obrabiarki.xtech.pl](http://www.obrabiarki.xtech.pl)
- [17] G. Budzik, M. Sobolak, D. Kozdęba: *Wykorzystanie technologii Rapid Prototyping w odlewnictwie precyzyjnym*. Archiwum Odlewnictwa, Rok 2006, Rocznik 6, Nr 18 (2/2). PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308.
- [18] K. E. Oczóś: *Rosnące znaczenie Rapid Manufacturing w przyrostowym kształtowaniu wyrobów*, Mechanik 4/2008.
- [19] J. Jaskólski, G. Budzik, M. Sobolak: *Wykorzystanie techniki Rapid Prototyping w tworzeniu modeli wybranych elementów silnika*. Journal of KONES. Internal Combustion Engines, 2004, vol 11, No 1 – 2.
- [20] M. Migus, Z. Keszy, A. Keszy, P. Hugo, B. Deez, K. Schreve, D. Dimitrov: *Functional Prototypes Fabrication of Hydrodynamic Torque Converter Impellers*. The Rapid Product Development Association of South Africa (RAPDASA) 9th Annual International Conference on Transportation Weight Reduction. South Africa, Bloomfontain 2008, na płycie CD.
- [21] M. Migus, A. Kęsy: *Modelowanie bryłowe kół łopatkowych podzespołów hydrokinetycznych*. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo–Technicznej „Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne 2012”, Wrocław 2012, s. 143 – 152.