

Dr inż. Hanna WIŚNIEWSKA-WEINERT, prof. dr hab. inż. Volf LESHCHYNSKY,  
mgr inż. Justyna WENDLAND, doc. dr inż. Jerzy LISOWSKI  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

## **Rozwój technologii metalurgii proszków w Instytucie Obróbki Plastycznej w ostatnich 10 latach (1998-2008)**

*The development of powder metallurgy technologies  
in the Metal Forming Institute  
in the last 10 years*

### **Streszczenie**

Autorzy pracy przedstawiają historię badań prowadzonych w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu z zakresu metalurgii proszków. Pierwsze prace badawcze podjęto w roku 1997 w ramach umów międzyrządowych. Zaowocowały one międzynarodowym projektem badawczym z inicjatywy Eureka. Realizacja projektu przynosiła Instytutowi patent technologii wytwarzania części z proszków spiekanych oraz liczne wyróżnienia. Autorzy artykułu poprzez prezentację dotychczas realizowanych tematów i zakresów prac krajowych i międzynarodowych projektów badawczych oraz własnych prac statutowych pokazują osiągnięcia Instytutu na polu metalurgii proszków. Przedstawiają innowacyjne rozwiązania technologiczne oraz prototypowe urządzenia badawcze.

### **Abstract**

*The authors of the paper describe the history of investigations carried out by the Metal Forming Institute in Poznań in the field of powder metallurgy. The first research works have been launched within agreements between governments. They resulted in the international investigation project of the Eureka initiative. The realization of the project has brought the Institute a patent of the technology of manufacturing sintered powder parts and many awards.*

*The authors of the paper, presenting the subjects and scopes of domestic and international investigation projects realized so far, as well as their own statute works, show the Institute's achievements in the field of powder metallurgy. They present innovative technological solutions and prototype investigation devices.*

**Słowa kluczowe:** metalurgia proszków, trwałość narzędzi, nakładanie powłok, impregnacja, projekty badawcze

**Key words:** powder metallurgy, tool life, coating, impregnation, investigation projects

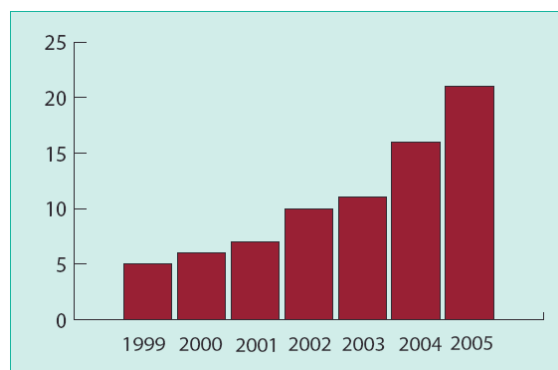
### **1. WSTĘP**

Na świecie obserwuje się ciągły i dynamiczny rozwój technologii metalurgii proszków – PM (Powder Metallurgy). Tendencjom tym sprzyja duże zapotrzebowanie przemysłu motoryzacyjnego na części dokładnie wykonane z proszków metali. Stale rośnie zapotrzebowanie na części z proszków spiekanych w silnikach, skrzyniach przekładniowych, układach hamulcowych i filtrach powietrza. Duże zainte-

resowanie powoduje znaczny wzrost produkcji różnych gatunków proszków metali oraz części z tych proszków. Przykładem może być Japonia, która produkuje rocznie 210 000 t proszków na bazie żelaza, z czego połowa sprzedawana jest tylko w samej Japonii. Ilość wytwarzanych proszków żelaza w Chinach również gwałtownie wzrasta [1]. W 2006 roku zaobserwowano 36% wzrost produkcji w stosunku do roku 2005 (rys. 1). Łączna roczna produkcja

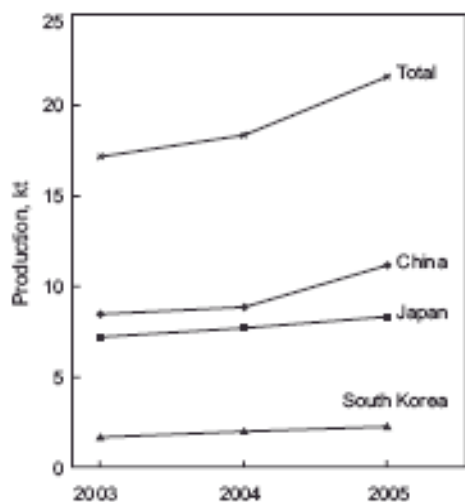
proszków spiekanych metali w Azji wzrosła w roku 2005 o 14% [2].

Znacząco wzrasta również produkcja proszków miedzi (rys. 2).



Rys. 1. Procentowy wzrost produkcji proszków żelaza i stali proszkowych w Chinach w latach 1999 – 2005 [1]

*Fig.1. Percentage increase of iron powder production In China in the period of 1999–2005 [1]*



Rys. 2. Produkcja proszku miedzi w Azji [2]

*Fig. 2. Production of copper powder in Asia [2]*

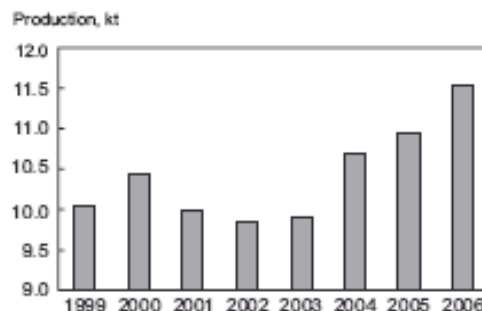
Analizując prace naukowe można zauważyć nowy kierunek badań mający na celu opracowanie optymalnej technologii otrzymywania proszków o jak najmniejszych cząstkach.

Wraz z przejściem ze skali mikro do skali nano, następuje bowiem często znacząca zmiana własności danego materiału. Przykładem może być tutaj węgiel wolframu z którego wytwarza się np. mikronarzędzia. Na poprawę jego własności mechanicznych wpływa użycie proszków mniejszych niż 1  $\mu\text{m}$ .

Powszechnie używa się proszków węgla o wielkości 0,2-0,5  $\mu\text{m}$ . Uważa się, iż nanoprozki węgla wolframu, o cząstkach mniejszych niż 0,2  $\mu\text{m}$ , są obecnie najlepiej sprzeda-

jącymi się proszkami. Rynek potrzebuje proszków o jeszcze mniejszym wymiarze niż 0,1  $\mu\text{m}$ . [3].

Na rys. 3 przedstawiono dynamikę produkcji węglików spiekanych w latach 1999-2006 w Europie [3].

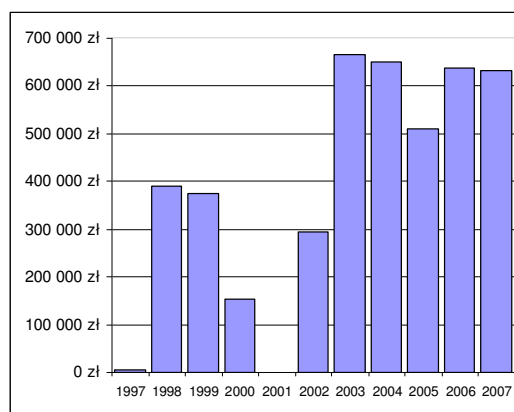


Rys. 3. Produkcja węglików spiekanych w ostatnich latach w Europie [3]

*Fig. 3. Production of sintered carbides in Europe [3]*

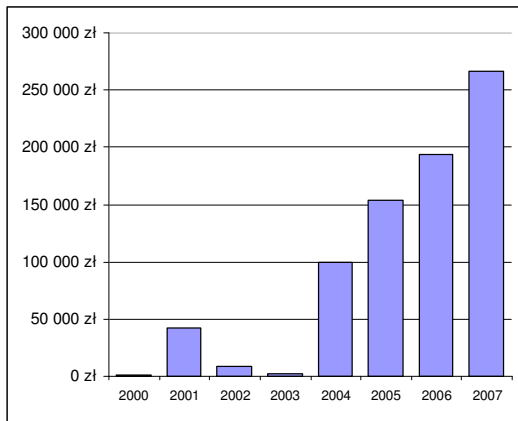
W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu, od 1997 roku, rozpoczęto także badania naukowe w zakresie technologii dokładnego kształtowania materiałów proszkowych na bazie żelaza.

Zapotrzebowanie rynku na prace badawczo-rozwojowe dotyczące kształtowania spieków można zmierzyć wzrastającą z roku na rok wielkością sprzedaży w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu zarówno prac naukowo-badawczych (rys. 4) jak i partii doświadczalnych (rys. 5).



Rys. 4. Wielkość sprzedaży prac naukowo-badawczych Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu z zakresu dokładnego kształtowania materiałów proszkowych w latach 1997 – 2007

*Fig. 4. The sales of scientific and research works of the Metal Forming Institute's in the field of net shape forming of powder materials in the period of 1997 - 2007*



Rys. 5. Wielkość sprzedaży produkcji doświadczalnej Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu z zakresu dokładnego kształtowania materiałów proszkowych w latach 2000 – 2007

*Fig. 5. The sales of experimental production of the Metal Forming Institute's in the field of net shape forming of powder materials in the period of 2000 - 2007*

## 2. PROJEKTY MIĘDZYNARODOWE I UMOWY BILATERALNE Z ZAKRESU TECHNOLOGII PM W INSTYTUCIE OBRÓBKI PLASTYCZNEJ W POZNANIU

### 2.1. Projekty realizowane w ramach Inicjatywy EUREKA

W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu pierwsze prace badawcze i projekty z zakresu metalurgii proszków były wykonywane we współpracy z Państwowym Instytutem Wschodnio-Ukraińskim w Ługańsku (Ukraina). Współpraca ta rozpoczęła się w 1997 roku umową międzyrządową, w ramach której obie jednostki podjęły dwie prace badawcze: „Badania i ustalenie parametrów kucia matrycowego i prasowania obwiedniowego wyrobów z przedkuwek wykonanych metodą metalurgii proszków spiekanych” oraz „Wysokowydajna rotacyjna technologia kucia dokładnego z proszków spiekanych”.

Rezultaty tych badań pozwoliły na złożenie pierwszego projektu badawczego w ramach Inicjatywy Eureka pt.: „Technologia i wyposażenie do rotacyjnego dokładnego kształtowania części z materiałów proszkowych”. Celem projektu EUREKA nr EU ROTOR 1806 było opracowanie technologii kształtowania z proszków metali części o zało-

żonych kształtach i wykonanie wielofunkcyjnej automatycznej linii kołowej do produkcji części z materiałów proszkowych o bardzo dużej dokładności wykonania, przy niskich kosztach wytworzenia.

Projekt EU ROTOR 1806 realizowany był w latach 1998 -2000 wspólnie, przez Instytut Obróbki Plastycznej w Poznaniu, Polska (koordynator); Wschodnoukraiński Narodowy Uniwersytet w Ługańsku, Ukraina; Hogan AB w Hogan, Szwecja; Form a.s. w Brnie, Republika Czeska.

W trakcie realizacji projektu opracowano technologię wytwarzania części proszkowych charakteryzujących się wysoką gęstością ( $7,65-7,7\text{g/cm}^3$ ), dużą dokładnością wykonania oraz dobrymi i powtarzalnymi własnościami mechanicznymi i eksploatacyjnymi. Przykłady części wytwarzanych wg tej technologii pokazano na rys. 6 [4].



Rys. 6. Dokładne części z proszków spiekanych wykonane na linii kołowej opracowanej w Instytucie [4]

*Fig. 6. Sintered powder precision parts made in a circular line elaborated by the Institute [4]*

Ważnym etapem realizacji projektu było określenie parametrów procesu wstępnego spiekania i dogęszczania oraz ustalenie własności i struktury wstępnie spieczonych półwyrobów.

W czasie prac badawczych zauważono, że po wstępnym spiekaniu proszkowych półwyrobów w warunkach rekrytalizującego wyżarzania w temperaturze  $A_{c1}$ , plastyczność proszkowego materiału na osnowie proszku Astaloy Mo z dodatkami Distaloy AB, zmienia się w porównaniu z plastycznością występującą podczas tradycyjnego spiekania w temperaturach  $1120-1150^{\circ}\text{C}$ . Plastyczne płynięcie materiału zaczynało się bez odkształcenia sprężystego i charakteryzowało się bardzo niskim współczynnikiem odkształcenia umacniającego. Pozwoliło to osiągnąć duży stopień do-

gęszczenia półwyrobów w operacji dokuwania i otrzymać gęstość wyrobów zbliżoną do gęstości materiałów litych. **Cechy innowacyjności tego nowego procesu były podstawą zgłoszenia patentowego nr P-337731 pt.: „Sposób otrzymywania elementów kształtowych” [5].**

Opracowana w Instytucie technologia pozwoliła na połączenie w jeden cykl technologiczny operacji kalibrowania, dokuwania oraz operacji kontrolno-pomiarowych, jak również na wyeliminowanie wykańczającej obróbki mechanicznej. Nowa proekologiczna technologia z zastosowaniem procesów metalurgii proszków zmniejsza zużycie materiału oraz obniża koszty wytwarzania wyrobów. W stopniowym procesie dokuwania, m.in. dzięki odpowiedniej strukturze wstępnie spieczonego półwyrobu, na linii kołowej występują niewielkie naciski jednostkowe powodujące znaczne zwiększenie żywotności narzędzi. Duża wydajność procesu produkcyjnego wynika z jego automatyzacji, a konstrukcja linii kołowej i narzędzi umożliwiła szybki montaż i demontaż poszczególnych jej zespołów. Linia kołowa złożona z 10÷15 gniazd roboczych obsługiwana może być przez jednego pracownika. Linia kołowa opracowana i wykonana w Instytucie przedstawiona jest na rys. 7.



Rys. 7. Linia kołowa do produkcji wyrobów z proszków metali

*Fig. 7. Circular line for the manufacture of metal powder products*

**Projekt EUREKA nr EU ROTOR 1806 skończył się wytworzeniem partii pilotażowej wyrobów oraz wdrożeniem** nowej technologii kształtowania dokładanego wyrobów z proszków metali w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu.

Realizacja projektu EUREKA doprowadziła do opracowania nowej technologii otrzymywania części dokładnych o wysokiej gęstości ze stopowych materiałów proszkowych w produkcji masowej”, która przyniosła Instytutowi wyróżnienie w konkursie **Polski Produkt Przyszłości w 2000 r., w kategorii technologia przyszłości**, organizowanym przez Agencję Techniki i Technologii.

Wyniki osiągniętych badań z zakresu metalurgii proszków były podstawą kolejnych projektów międzynarodowych oraz umów bilateralnych prowadzonych we współpracy z: Instytutem Metalurgii i Materiałoznawstwa Rosyjskiej Akademii Nauk im. A.A. Bajkowa, Mińsk (Republika Białoruska), Naukowym Instytutem Technologii Stosowanych ISTA, Holon (Izrael), ZKL Praha, Praga (Republika Czeska), J-VST Brno s. r. o., Brno (Republika Czeska), CZ retezy s.r.o. Strakonice (Republika Czeska).

Kolejnym projektem realizowanym przez Instytut w ramach inicjatywy **Eureka** w zakresie metalurgii proszków był projekt o akronimie **FGM-MagTool E!2924**.

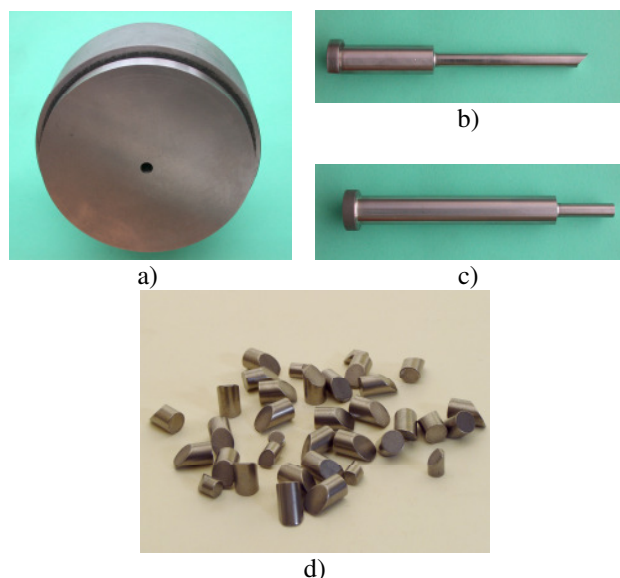
Głównym celem tego projektu pt.: **„Opracowanie technologii wytwarzania narzędzi nowej generacji o wysokich własnościach wytrzymałościowych do cięcia i obróbki objętościowej”** było uzyskanie nowej wielokomponentowej gradientowej powłoki na narzędzia do obróbki plastycznej na zimno, o dużej odporności na zużycie, zmęczenie mechaniczne i zdolnej do przenoszenia zmiennych cyklicznych obciążeń narzędzi.

Do badań prowadzonych w ramach projektu wytypowano między innymi narzędzia do prasownia i dokuwania materiałów proszkowych stosowane w Instytucie oraz w zakładzie Polmo Łomianki S.A. Konsorcjum projektu podjęło się rozwiązania problemu bardzo dużego zużycia niektórych obszarów roboczych narzędzi, które znacząco wpływało na dokładność wymiarowo-kształtową oraz koszty wytworzenia wyrobów. Udział kosztów narzędzi w całkowitym koszcie wytworzenia sięga często 30%. Dopuszczalne wielkości zmian wymiarowych narzędzi zależą od klasy dokładności kształtowanych wyrobów i dla części z proszków spiekanych wahają się w setnych częściach milimetra.

Projekt FGM-MagTool E!2924 realizowany był w latach 2003-2006 przez partnerów z Czech: VUHZ a.s. Dobra (koordynator), VUT Brno, J-VST Brno s.r.o.; ze Szwecji: MTECH Kalmar AB, Kalmar i z Polski: Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań, Polmo Łomianki S.A., Resurs, Gaber.

Projekt obejmował opracowanie technik nakładania powłok gradientowych CVD, PVD, PLC oraz filmu smarów stałych poprzez kulowanie lub nagniatanie. W fazie badań doświadczalnych przeprowadzono badania struktury, własności mechanicznych i tribologicznych na próbkach oraz zoptymalizowano poszczególne techniki nakładania powłok na narzędzia. Następnie przeprowadzono badania eksploatacyjne na wytypowanych narzędziach produkcyjnych: stosowanych w metalurgii proszków do prasowania i dokuwania elementów oraz na stemplach, tłocznikach, narzędziach do spęczniania używanych w obróbce plastycznej na zimno.

Przykłady narzędzi badanych w ramach projektu oraz części proszkowe, do których wytworzenia są używane w Instytucie przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Narzędzia do produkcji części proszkowych typu klin 5: a) matryca, b) stemple górny, c) stempel dolny, d) wyroby gotowe typu klin

*Fig. 8. Tools for manufacturing wedge 5 type powder parts: a) die, b) top punch, c) bottom punch, d) ready made wedge type products*

Badania przemysłowe zużycia narzędzi potwierdziły znaczący wzrost trwałości narzę-

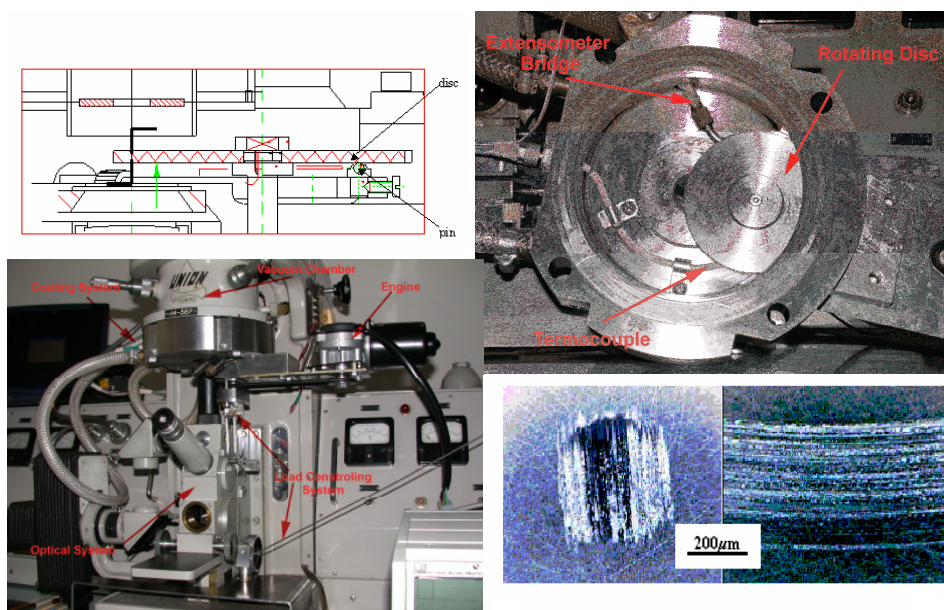
dzi z zastosowanymi powłokami gradientowymi TiCN + MoS<sub>2</sub>. Opracowane nowe technologie modyfikacji warstwy wierzchniej (poprzez nagniatanie i kulowanie) przy udziale smarów stałych pozwoliły na otrzymanie filmu smaru stałego na powierzchni roboczej narzędzi. Metodę kulowania można stosować do otrzymania warstw wierzchnich na elementach o skomplikowanych kształtach natomiast metodę nagniatania do otrzymywania warstw na płaskich powierzchniach.

## 2.2. Projekty realizowane w ramach V Programu Ramowego Unii Europejskiej

W latach 2002–2004 Instytut realizował w ramach 5. Programu Ramowego projekt **TRIBO G5RD-CT-2001-00465** pt.: „**Nanostrukturalne powłoki o podwyższonych właściwościach tribologicznych**” o akronimie **TRIBO**. Partnerami Instytutu w tym projekcie były jednostki naukowe oraz przedsiębiorstwa z Francji (koordynator: Ecole Nationale d’Ingenieurs de Saint-Etienne), Włoch; Wielkiej Brytanii i Niemiec.

Głównym celem projektu było uzyskanie stosunkowo grubych (100, 500 nm) powłok smarów stałych - Solid Lubricant Coatings (SLC) na powierzchniach części szybko zużywających się, którym stawiano wysokie wymagania wytrzymałościowe i tribologiczne (współczynnik tarcia 0,1; 0,2). Części te przeznaczone były do pracy w specyficznych warunkach np. w przemyśle lotniczym. Powłoki te nakładano metodami syntezy laserowej i HEP (High Energy Plasma). W ramach projektu badano również cienkie warstwy (1-100 nm) SLC uzyskiwane metodą syntezy dyfuzyjnej dla części wytworzonych z proszków metali przeznaczonych na potrzeby przemysłu lotniczego i samochodowego.

Prace Instytutu, z jednej strony obejmowały opracowanie unikalnej aparatury badawczej do badań tribologicznych wytworzonych grubych i cienkich powłok SLC, z drugiej strony dotyczyły wytworzenia warstw smarów stałych na elementach spiekanych z proszków metali. Opracowany przyrząd do badań własności tribologicznych płaskich próbek przedstawiono na rys. 9 [6].



Rys. 9. Tester do badań tarciovych w układzie pin-on-disk oparty na wysokotemperaturowym mikroskopie optycznym firmy UNION

*Fig. 9. Tester for pin-on-disk friction examinations based on an optical microscope made by UNION*

W ramach realizacji tego zadania podjęto prace nad próżniową impregnacją nano- i mikrocząstkami smarów stałych – Reaction Vacuum Impregnation (VIMP) oraz impregnacją podczas dokuwania części proszkowych – Sizing-Impregnation (SIMP). Instytut wykonał szereg badań strukturalnych, własności mechanicznych i tribologicznych, jak również wykonał serię próbną tulei do układu wentylacyjnego samolotu AIRBUS, którą przekazał do badań eksploatacyjnych na przyrządach badawczych w Zakładach Liebherr Aerospace Toulouse - LTS (Francja). Przygotowane tuleje pokazano na rys. 10.



Rys. 10. Tuleje dystansowe wykonane w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu i przygotowane do testów eksploatacyjnych przez użytkownika końcowego projektu - Liebherr Aerospace Toulouse

*Fig. 10. Spacing sleeves made by the Metal Forming Institute In Poznan and prepared for operation tests by the final user of the Project – Liebherr Aerospace Toulouse*

### 2.3. Projekty realizowane w ramach VI Programu Ramowego Unii Europejskiej

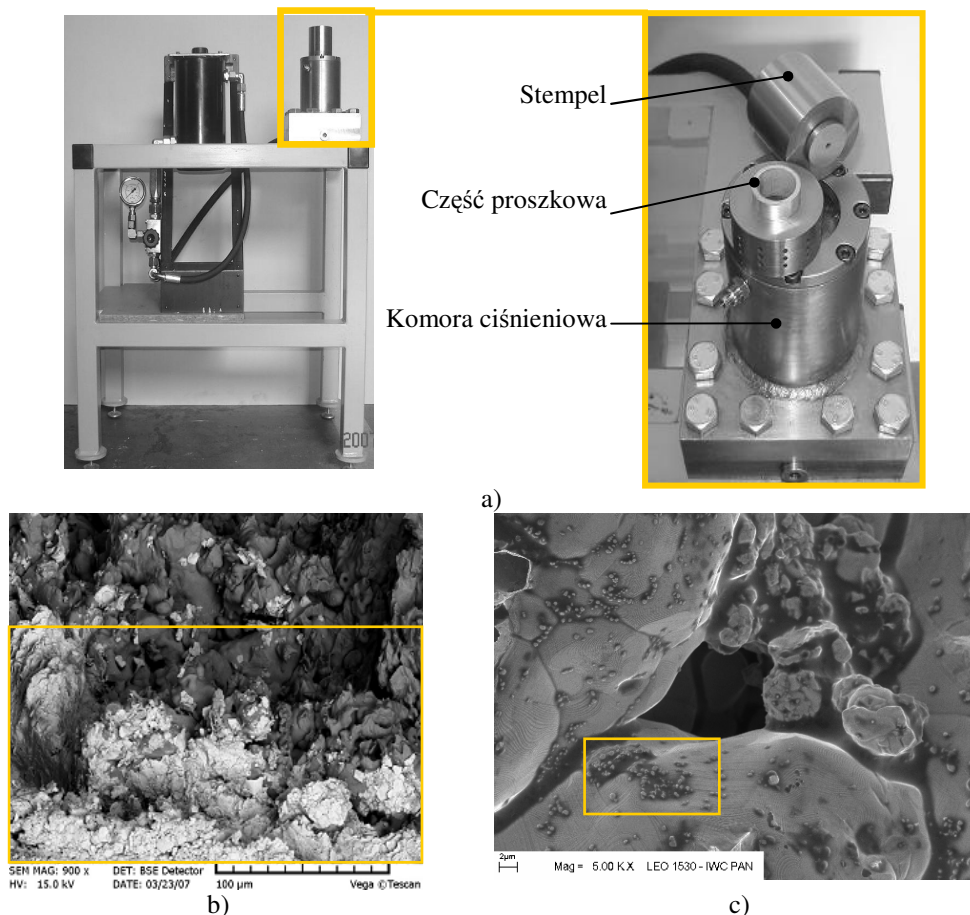
Rozpoczęta w ramach projektu TRIBO współpraca zaowocowała kolejnymi projektami w **6. Programie Ramowym**: projektem o **akronimie NANOBLEBUS** z **inicjatywy INTAS** oraz projektem o **akronimie BEARINGS** w ramach STREP.

Prace przy realizacji projektu (NANOBLEBUS) pt.: "**Nanokompozytowe Łożyska Ślizgowe do Układu Wentylacyjnego Samolotu**" obejmowały lata 2005–2007. Instytut był jego koordynatorem, współpracując z Liebherr – Aerospace Toulouse (LTS) – Francja; Kensing Engineers Limited (KE) – Wielka Brytania; A.A.Baikov's Institute of metallurgy and material science (IMET) – Rosja; Powder Metallurgy Research Institute (PMRI) – Białoruś; Moscow Institute of Electronic Technique (MIET) – Rosja.

Podstawowym celem projektu było opracowanie nowych nanokompozytowych materiałów do produkcji tulei łożysk ślizgowych stosowanych w układzie wentylacyjnym samolotów rodziny AIRBUS, głównie dla nowego samolotu A380. Łożyska tego typu pracują w trudnych warunkach eksploatacyjnych: bez smarowania, w temperaturze 450 do 500 °C i jednocześnie muszą być odporne na drgania.

Cel aplikacyjny Instytutu, jakim było wytworzenie partii próbnej ww. tulei, zrealizowano poprzez skomponowanie składu chemicznego mieszanki proszkowej, aby zapewnić pożądana rozszerzalność cieplną korelującą z rozszerzalnością cieplną wałka, z którym współpracuje badana tuleja. Jednocześnie skład ten oraz parametry wytwarzania tulei musiały zapewnić jej odpowiednią strukturę, pozwalającą na nasycenie cząstkami smarów stałych, jak również odpowiednie właściwości mechaniczne. Istotnym etapem badań była optymalizacja procesu impregnacji części proszkowych nano- i mikrocząstkami smarów stałych. W badaniach zastosowano dwie metody impregnacji: próżniową i ciśnieniową. Przy zastosowaniu impregnacji próżniowej proces wprowadzania mikro- i nanocząstek smarów stałych odbywał

się poprzez zastosowanie próżni w komorze impregnacyjnej. Mieszanka smaru stałego i medium (będącego nośnikiem cząstek) w wytworzonej próżni wypełniała porowatość materiału proszkowego. Po zakończeniu procesu zaimpregnowane detale poddawano suszeniu w celu usunięcia medium z porów materiału. W procesie impregnacji ciśnieniowej wysokie ciśnienie w komorze wytwarzane poprzez nacisk prasy na stempel powodowało wciskanie smaru stałego wraz z medium w pory materiału proszkowego. Impregnowany wyrób działał jak swoistego rodzaju filtr zatrzymując cząstki smaru na powierzchni wewnętrznej oraz w porach nasycanego materiału. Strukturę próbek po procesie impregnacji ciśnieniowej oraz przyrząd do tego procesu pokazano na rys. 11.



Rys. 11. Przyrząd do impregnacji ciśnieniowej materiałów proszkowych (a); obraz przełomu próbki z zaznaczoną warstwą cząstek smaru stałego na powierzchni wewnętrznej tulei (b); przełom tulei z zaznaczonymi cząstkami smaru stałego w porach materiału (c)

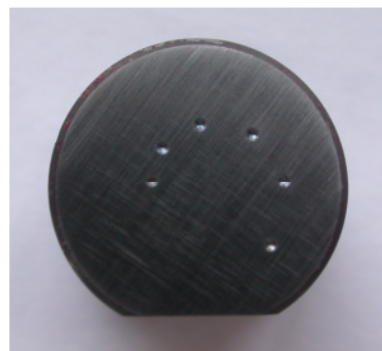
Fig. 11. A device for pressure impregnation of powder materials (a); image of a sample fracture with an indication the layer of solid lubricant particles on the inner surface of the sleeve (b), sleeve fracture with indicated solid lubricant particles in the material pores (c)

Celem użytecznym realizowanego w latach 2006-2009 projektu **BEARINGS FP6-2005-Aero-1** pt.: „**Nowa generacja łożysk pracujących w ekstremalnych warunkach stosowanych w przemyśle lotniczym**” jest wytworzenie nowej generacji łożysk pracujących w skrajnie trudnych warunkach eksploatacyjnych. Projekt ma wyjaśnić zjawiska zużycia łożysk obecnie stosowanych. W ramach projektu opracowane zostaną nowe materiały łożyskowe, nowe technologie wytwarzania, a także nowa konstrukcja łożysk, która spełniać będzie wysokie wymagania eksploatacyjne. Wymagania te obejmują: wysoką odporność na korozję i utlenianie oraz na gwałtowne obciążenia, mały współczynnik tarcia (stały w całym okresie pracy), jak również odporność na zmienne obciążenia (0 do 5000 MPa) w temperaturze pracy ok. 500°C przy poziomie drgań około 25g. Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność stosowania wyłącznie smarów stałych przy eksploatacji łożysk.

Konsorcjum projektowe składa się ze światowego lidera w produkcji łożysk SKF-AERO (Francja), producenta nanomateriałów, ośrodków badań tribologicznych; jednostek zajmujących się metalurgią proszków, nanomateriałami; spiekaniem i metalografią oraz natryskiwaniem termicznym. W Projekcie bierze udział dwóch końcowych użytkowników z gałęzi aeronautycznej. Liebherr - Aerospace LTS (Francja) oraz První Brněnská Strojirna Velka Bíteš, a.s. (Republika Czeska).

Zadania Instytutu skupione są na określeniu wymagań materiałowych stawianych łożyskom na podstawie badań strukturalnych, wytrzymałościowych oraz tribologicznych łożysk obecnie stosowanych oraz opracowanie procesu otrzymywania warstw oraz struktury materiałów spiekanych o odpowiednich wymaganiach. W celu realizacji postawionych zadań Instytut do chwili obecnej skonstruował, wykonał i skalibrował unikalny przyrząd do pomiaru twardości w skali Rockwella z możliwością badań w temperaturze podwyższonej do 600°C, który spełnia wysokie wymagania jeśli chodzi o sterowanie temperaturą próbki i utrzymanie jej na odpowiednim poziomie podczas wykonywania badań. Ważnym aspektem jest możliwość wykonania pomiarów w sześciu punktach pomiarowych bez konieczności wyj-

mowania próbki (rys. 12) z komory grzewczej, co zapobiega zmianie temperatury oraz struktury materiału w czasie badań. Badania wykonywane są poprzez ustawienie całego przyrządu na standardowym twardeściomierzu, widok urządzenia pokazano na rys. 13. Powierzchnia próbki zabezpieczona jest przed utlenianiem poprzez ciągły przedmuch komory badawczej gazem ochronnym.



Rys. 12. Próbka po badaniach twardości w przyrządzie BT-G01

*Fig. 12. A sample after hardness testing in the BT-G01 device*



Rys. 13. Przyrząd do pomiaru twardości w podwyższonej temperaturze BT-G01

*Fig. 13. BT-G01 device for hardness measurement at higher temperature*

Na dostarczonych przez partnerów próbkach wykonywanych m. in. metodą prasowania na gorąco oraz z dodatkowym procesem SPS (Spark Plasma Sintering) Instytut prowadzi badania strukturalne i własności mecha-



nicznych oraz przeprowadza procesy optymalizacji obróbki cieplnej.

Obecnie Instytut jest uczestnikiem jeszcze jednego projektu realizowanego w ramach **6PR** z zakresu metalurgii proszków, projektu zintegrowanego o akronimie **MANUDIRECT – FP6-026467-2** zatytułowanym „**Ultraprecyzyjna produkcja na gotowo**”. Termin realizacji projektu zawiera się w latach 2006-2010.

Głównym celem tego projektu jest opracowanie oraz wdrożenie do przemysłu innowacyjnej technologii obejmującej jednoetapowe, wysokowydajne spiekanie laserowe.

Innowacyjna technologia opracowana w czasie trwania projektu, dzięki wiedzy i wykorzystująca dotychczasowe osiągnięcia poszczególnych partnerów, stanowić będzie przełom naukowy w obszarze wytwarzania nanomateriałów proszkowych i ultraprecyzyjnych wyrobów ze spieków o nanostrukturze stosowanych w aeronautyce, biotechnologii oraz w przemyśle maszynowym i narzędziowym.

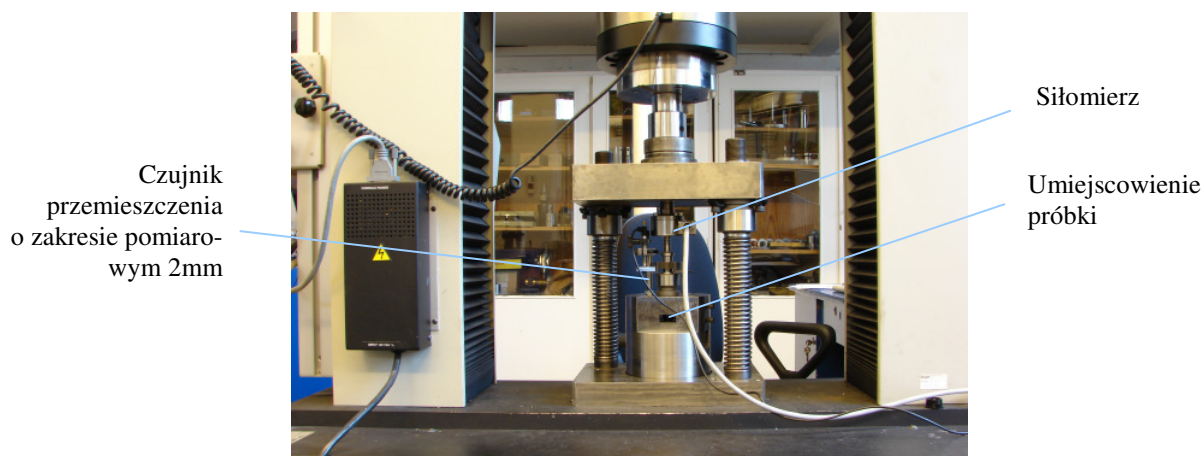
Zespół naukowy pracujący w projekcie to interdyscyplinarna grupa ekspertów: materiałoznawców, fizyków, inżynierów, chemików oraz biomedyków zatrudnionych w 18 instytucjach, stanowiących konsorcjum projektu. Wśród użytkowników końcowych nowej technologii znajdują się między innymi: Siemens Aktiengesellschaft - jeden z największych na świecie zakładów zajmujących się inżynierią elektryczną i elektroniczną; IDEKO - hiszpańskie centrum technologiczne specjalizujące się w dostarczaniu innowacji w zakresie narzędzi obróbczych i procesów wytwarzania; MTU Aero Engines - niemiecki wiodący producent silników lotniczych oraz ich modułów i komponentów zarówno dla lotnictwa cywilnego jak i wojskowego; Lima S.p.a - włoskie przedsiębiorstwo działające głównie w obszarze urządzeń medycznych (w tym protezy stawów), komponentów dla przemysłu lotniczego a także elementów mechanicznych oraz European Aeronautic Defence and Space Company - lider europejskiego i numer 2 światowego rynku lotniczego.

Badania prowadzone w tym projekcie przez Instytut pozwalają między innymi określić różnicę w zachowaniu się różnych materiałów w temperaturze otoczenia oraz

w temperaturze podwyższonej. Instytut prowadzi badania zarówno twardości, mikro-twardości jak i ściskania w temperaturach do 500°C. Unikalnym aspektem badań są niewielkie rozmiary stosowanych próbek ( $\phi 2 \times 3$  mm lub  $\phi 3 \times 6$  mm). Próbkę wykonywane są przez partnerów różnymi metodami scalania mikro i nanoproszków np. metodami wyciskania, spiekania laserowego itp.

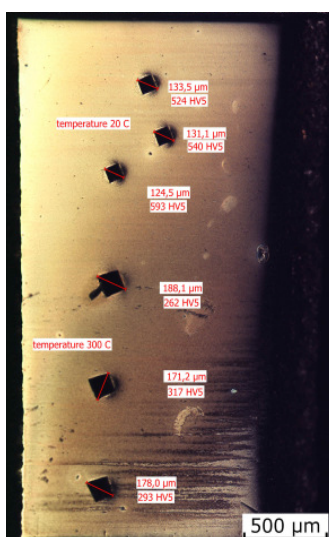
Przyrządy do określenia własności mechanicznych w podwyższonej temperaturze zaprojektowane zostały i wykonane przez zespół naukowców Instytutu. Przyrząd do ściskania próbek zaprezentowano na rys. 14. Przyrząd ten mocowany jest na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 4483. Istotnym warunkiem, który musiał spełnić układ było zachowanie osiowości małych próbek podczas procesu deformacji. Dla zwiększenia dokładności pomiarów zastosowano dwa alternatywne indukcyjne czujniki przemieszczenia produkcji Hottinger-Baldwin Messertechnik (HBM) o zakresach pomiarowych 10 mm i 2mm oraz dodatkowy siłomierz produkcji HBM.

Przy budowie specjalnego urządzenia do badań mikrotwardości metodą Vickersa na gorąco bardzo ważnym aspektem było natomiast opracowanie specjalnego uchwytu, w którym umieszczana jest próbka o niewielkich wymiarach. Istotnym punktem konstrukcji było również zapewnienie stabilności temperatury w czasie badań oraz zabezpieczenie powierzchni próbek przed utlenianiem, co jest szczególnie istotne przy badaniach twardości z małym obniżeniem. Przykładowy obraz próbki po badaniach twardości w skali Vickersa pokazano na rys. 15. Na próbce z materiału proszkowego FeCu widoczne są odciski wykonane w temperaturze otoczenia oraz w temperaturze 300°C.



Rys. 14. Przyrząd do ściskania cylindrycznych próbek o niewielkich wymiarach (np.  $\phi 2 \times 3 \text{ mm}$ ) zamocowany na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 4483

*Fig.14. A device for compressing small size (e.g.  $2 \times 3 \text{ mm}$ ) fixed on the INSTRON 4483 testing machine*



Rys. 15. Odciski twardości Vickersa w temperaturze otoczenia i w  $300^\circ\text{C}$ , wykonane na specjalnym urządzeniu do badań mikrotwardości

*Fig. 15. Vickers hardness indentations at ambient temperature and at  $300^\circ$  made on a special microhardness testing device*

### 3. PRACE STATUTOWE Z ZAKRESU METALURGII PROSZKÓW WYKONYWANE W INSTYTUCIE

Do strategii badań naukowych Instytutu uchwalonej przez Radę Naukową wpisano badania z zakresu metalurgii proszków.

W ramach badań własnych prowadzono prace badawcze mające na celu optymalizację opracowanych technologii wytwarzania części z proszków spiekanych oraz ich modyfikację właściwości poprzez procesy impregnacyjne. Prowadzono również badania nowych

technologii wytwarzania części z proszków o określonych właściwościach magnetycznych.

Zespół badawczy Instytutu zaprojektował nowe mieszanki proszkowe, z których otrzymuje się części o określonych właściwościach mechanicznych, fizycznych i eksploatacyjnych. Właściwości wyrobu końcowego uzyskuje się poprzez dobór składu chemicznego mieszanek proszkowych, wybór odpowiedniej technologii wytwarzania jak również dobór parametrów poszczególnych procesów. W przypadku części o podwyższonych wymaganiach tribologicznych istotny jest również wybór właściwych mieszanek impregnacyjnych.

W roku 2002 powstała w Instytucie Pracownia Kształtowania Proszków Spiekanych, w której opracowywane są nowe procesy technologiczne wytwarzania części proszkowych zgodnie z zapytaniami ofertowymi wpływającymi do Instytutu.

W Gnieździe Badawczo-Rozwojowym Metalurgii Proszków w tej pracowni prowadzona jest również drobnoseryjna produkcja części proszkowych wg trzech opracowanych w Instytucie technologii wytwarzania. Na rysunkach 16-18 pokazano wybrane części z proszków spiekanych, wykonywane w Instytucie.

Wyroby z proszków wykonywane w jednej operacji kształtowania plastycznego już w pierwszej operacji jaką jest prasownie proszku w matrycy, uzyskują ostateczny kształt. Wg takiej technologii wykonuje się części, od których nie wymaga się zbyt wysokiej gęstości. Ostateczna twardość

wyrobów nadawana jest w tym przypadku często w zabiegach obróbki cieplno-chemicznej (azotowanie, azotonawęglanie itp.).

a)



b)



c)



Rys. 16. Przykłady części wykonywanych wg technologii wytwarzania spieku w jednej operacji kształtowania plastycznego [4]: a) koła zębate, b) pierścienie krzywkowe, c) pierścienie dystansowe

*Fig.16.Examples of parts made by the technology of sinter making in one operation of plastic forming [4]: a) toothed wheels, b) cam rings, c) spacing rings*

Natomiast technologia wytwarzania spieku w dwóch operacjach kształtowania chroniona jest patentem europejskim nr 1246950 [5]. Opracowana została w ramach wspomnianego wyżej projektu realizowanego w ramach Inicjatywy EUREKA o akronimie ROTOR. Pozwala ona na wytwarzanie wyrobów o skomplikowanych kształtach i gęstości sięgającej 98% gęstości materiału litego.

a)



b)



c)



Rys. 17. Przykłady części wykonywanych wg technologii wytwarzania spieku w dwóch operacjach kształtowania plastycznego [4]: a) kliny, b) matryce gnące, c) pierścienie łożyskowe

*Fig. 17. Examples of parts made by the technology of sinter making in two operations of plastic forming[4]: a) wedges, b)bending dies, c) bearing rings*

a)



b)



Rys. 18. Przykłady części wykonywanych wg technologii kształtowania materiałów proszkowych z nasyceniem [4]: a) tuleje łożyska (6746-10), b) tuleje samosmarne (10B1-Dz)

*Fig. 18. Examples of parts made by the technology of forming powder materials with saturation [4]: a)sleeves bearings(6746-10), b) self-lubricating sleeves (10B1-Dz)*

Technologia kształtowania materiałów proszkowych modyfikowanych nano i mikrocząstkami stosowana jest dla części, od których wymagane są zarówno wysokie właściwości wytrzymałościowe jak i tribologiczne. Technika modyfikowania materiałów proszkowych otwiera nowy kierunek wykorzystania tych materiałów. Zabieg ten podwyższa odporność wyrobów na zużycie ściernie oraz obniża koszty eksploatacji w wyniku eliminacji smarowania w czasie pracy. Jest to szczególnie ważne dla części konstrukcyjnych pracujących w specjalnych warunkach np. pod wodą lub w próżni, gdzie doprowadzenie smaru podczas pracy nie jest możliwe.

Technologia wytwarzania materiałów i wyrobów modyfikowanych nano i mikrocząstkami jest objęta pracami badawczymi Instytutu prowadzonymi m.in. w ramach projektu badawczego zamawianego PBZ/KBN/114/T08/2004 Zadanie II.3.2. pt. Optymalizacja właściwości tribologicznych i nanostrukturalnych warstw wierzchnich wykonanych z nanofazowych materiałów proszkowych dla części konstrukcyjnych pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych, w tym części przeznaczonych na implanty” przez Laboratorium Inżynierii Powierzchni i Trybologii w Centrum Doskonałości Instytutu.

#### 4. PODSUMOWANIE

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój metalurgii proszków. Wynika to z faktu, że zaspokaja ona zapotrzebowanie na innowacyjne technologie i nowe tworzywa konstrukcyjne, zgłaszane głównie przez przemysł motoryzacyjny, lotniczy oraz maszynowy.

Technologie metalurgii proszków dają szerokie możliwości kształtowania wyrobów o określonych właściwościach mechanicznych, fizycznych i eksploatacyjnych. Modyfikacja części porowatych mikro- i nanocząstkami smarów stałych podwyższa ich właściwości przeciwzużyciowe.

Ze względu na możliwość minimalizacji kosztów istotną zaletą tych technologii jest również niewielkie jednostkowe zużycie energii, przy produkcji seryjnej i masowej oraz prawie całkowite wykorzystanie materiału.

Prowadzone w Instytucie Obróbki Plastycznej badania w ramach licznych projektów międzynarodowych jak i prac własnych pozwoliły na opracowanie technologii wytwarzania części proszkowych metodami metalurgii proszków o określonych cechach użytkowych.

Uczestnictwo Instytutu w międzynarodowych projektach badawczych stwarza możliwość podniesienia poziomu badawczego jednostki. Intensyfikacja współpracy z jednostkami zewnętrznymi pozwala na wymianę doświadczeń i podejmowanie wspólnych innowacyjnych przedsięwzięć. Dzięki unikalnej aparaturze pozyskanej lub zmodernizowanej w ramach projektów, zespół badawczy Instytutu oraz Centrum Doskonałości Instytutu może brać udział w przełomowych badaniach naukowych w kooperacji z wiodącymi światowymi ośrodkami badawczo-rozwojowymi i przemysłowymi oraz ośrodkami medycznymi.

#### LITERATURA

- [1] Cui Jianmin, Yuan Yong, Ge Liqiang, Much achieved, but much still to do for China's PM industry, PM Asia 2007.
- [2] V.M. Kryachek, D.A. Levina, and L.I. Chernyshev, POWDER METALLURGY IN ASIA, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 46, Nos. 7-8, 2007.
- [3] V.M. Kryachek, D.A. Levina, and L.I. Chernyshev, DEVELOPMENTAL TRENDS IN EUROPEAN POWDER METALLURGY, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 46, Nos. 11-12, 2007.
- [4] Wiśniewska-Weinert H., Leshchynsky V., Ozwonarek J., Kędzia Ł., Lisowski J.: Technologie wytwarzania części dokładnych ze spiekanych materiałów proszkowych. Obr. Plast. Met. 2006 t. XVII z. 3 s. 37-42.
- [5] Weinert H., Leszczynski V., Stepanenko E., Stojanov A., Kuczma V.: Europejski patent Nr 1246950 Method of obtaining shape elements.
- [6] Leshchinsky V., Gierzyńska-Dolna M., Wiśniewska-Weinert H.: Study of tribology properties of porous sliding bearings impregnated with solid lubricant, Problemy Eksploatacji 2/2005 (57) ISSN 1232-9312 str. 181-190, X Jubileuszowy Kongres Eksploatacji Urządzeń technicznych, Stare Jabłonki, 6-9.09.2005 r.