

Andrzej POSMYK

Silesian University of Technology, Faculty of Transport

Jakub WIECZOREK

Silesian University of Technology, Faculty of Metallurgy and Material Engineering
Kraśińskiego St. 8, 40-019 Katowice, Poland

*Corresponding author. E-mail: andrzej.posmyk@polsl.pl

VOR- UND NACHTEILE DER AUS VERBUNDWERKSTOFFEN ERZWUGTEN KOLBEN FÜR VERBRENNUNGSMOTOREN GERINGER LEISTUNG

Kurzfassung. In vorliegender Ausarbeitung wurden Ergebnisse der technologischen und metallographischen Forschungen von kleine Maße aufweisenden Kolben für Verbrennungsmotoren geringer Leistung beschrieben. Halbzeuge der Kolben wurden mittels Gravitationsgießen aus Verbundwerkstoffen mit der Matrix aus EN-AC-47000 - Gußlegierung und 15% Al_2O_{3P} , wie auch aus EN-AW-6061-Knetlegierung und 22% Al_2O_{3P} hergestellt. Während der Spanbearbeitung wurden am Kolben aus Verbundwerkstoff mit der EN-AC-47000-Matrix kleine Gießfehler festgestellt, die kleine Risse im Kolbenmantelbereich verursachen. Am Kolben aus dem Verbundwerkstoff mit der EN-AW-6061-Matrix wurden keine Gießfehler festgestellt.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF COMPOSITE PISTONS FOR SMALL POWER COMBUSTION ENGINES

Summary. The results of technological and metallographic investigations of small dimensions, low power combustion engines piston has been presented. Semi-finished pistons has been produced by gravitations casting of composite material with EN-AC-47000 alloy matrix +15% Al_2O_{3P} and EN-AW-6061 alloy matrix +22% Al_2O_{3P} . Some small casting defects have been detected during the cutting process of piston made of composite material with EN-AC-47000 alloy matrix +15% Al_2O_{3P} . These defects were sources of micro perforations. In the piston made of EN-AW-6061 alloy matrix has been any defects detected.

1. EINFÜHRUNG

In der Automobilindustrie finden immer mehr Platz Verbundwerkstoffe mit einer Matrix aus Aluminiumlegierungen. Dies ist dank besseren als der Matrix Eigenschaften der Verbundwerkstoffe möglich. Aus diesen Werkstoffen werden u. a. Zylinderbuchsen, Kolbeneinsätze, Kolben, Bremsscheiben und mehrere kleine für Autoindustrie bestimmte Maschinenelemente hergestellt. In meisten Anwendungen in denen Verbundwerkstoffe mit einer Aluminiumlegierung-Matrix (AIMC) ihren Einsatz finden, sind das Verbrennungsmotoren oder Bremsenanlagen von grossen und teuren Fahrzeugen. Die Abmessungen der aus Verbundwerkstoffen erzeugten Kolben oder Zylinderbuchsen für große Einheiten bilden keine so große technologische Probleme, wie die Abmessungen der Baugruppen von kleinen Einheiten.

Ein ganz neuer Einsatz der Verbundwerkstoffe mit Aluminiumlegierung-Matrix sind Verbrennungsmotoren geringer Leistung z.B. für Sport- und Freizeitmotorräder, Flugzeug- und Schiefmodelle. Anfertigung von einem Motor geringer Leistung, dessen Abmessungen 40 mm nicht überschreiten ist wesentlich schwieriger als Anfertigung eines Motors für eine Limousine. Zum Beispiel ein Kolben für Verbrennungsmotor D 023 von dem Motorrad Romet hat einen Durchmesser von 38 mm und Wanddicke bis 2 mm, was die Erzeugung von Halbzeugen wesentlich kompliziert. In vorliegender Ausarbeitung werden technologische und metallographische Versuche der Verarbeitungseigenschaften von ausgewählten, für Herstellung von kleinen Kolben der Verbrennungsmotoren geringer Leistung bestimmten Verbundwerkstoffen beschrieben.

2. AUSWAHL VON WERKSTOFF UND ERZEUGUNGSTECHNOLOGIE

Wegen der oben erwähnten Angelegenheiten und ökonomischen Gründen wurde für Forschungen ein Motor des Rekreationsmotorrads Romet 23 gewählt, dessen Parameter werden in Tabelle 1. dargestellt. Dieser Motor wird nicht sehr belastet, darum war es möglich den Kolben aus Legierungen mit niedrigeren Festigkeitseigenschaften anzufertigen. Für Erzeugung des Kolbens mit einem Gewicht von 65 Gramm wird auch nicht viel Werkstoff gebraucht. Die einfache Gestalt des Kolbens verlangt keine speziellen Formen und die dünnen Wände des Kolbenmantels sind ein Test der Verarbeitungseigenschaften der für Kolben gewählten Werkstoffe. Auf Grund einer Literaturanalyse [1, 2], eigenen Forschungen [3, 4] und Betriebsbedingungen des Kolbens in einem Zweitaktmotor geringer Leistung wurden Verbundwerkstoffe mit Matrix aus folgenden Aluminiumlegierungen ausgewählt:

- EN-AW-6061 – Knetlegierung mit guter Gießbarkeit und Elastizität, aber niedriger Festigkeit und Härte,
- EN-AC-47000 – eutektische Gußlegierung mit besseren Festigkeitseigenschaften, aber niedrigerer Elastizität.

Aus Verbundwerkstoffen mit Matrix aus den o. g. Legierungen wurden Halbzeuge mittels Gravitationsgießen in Sandform erzeugt. Die Betriebsbedingungen des Kolbens und dessen Anforderungen berücksichtigend sind in der Gieß- und Spanbearbeitungsetappe Prüfungen der Verarbeitungseigenschaften und metallographischen Struktur der ausgewählten Werkstoffe durchgeführt worden.

Tab. 1

Ausgewählte Parameter des Verbrennungsmotors DEZAMET 023

Parameter	Wert
Leistung	1,25 kW
Maximale Umdrehungszahl	4800 min ⁻¹
Maximaler Moment	2,85 Nm
Hubraum	49,8 cm ³
Zylinderdurchmesser	38 mm
Kolbenhub	44 mm
Kompressionszahl	8

3. AUSGEWÄHLTE PRÜFERGEBNISSE

Für einen einwandfreien Betrieb eines Kolbens in einem Verbrennungsmotor wird eine regelmäßige Verteilung der Verfestigungsphase in der Matrix in allen Querschnitten des Kolbens verlangt. Jedoch am wichtigsten ist die Verteilung der Verfestigungsphase (VP) im Kolbenboden und

Kolbenmantel. Der Kolbenboden trägt die von den Verbrennungsgasen kommenden Kräfte und der Kolbenmantel gleitet auf der Zylinderlauffläche. Falls es im Boden örtlich weniger keramischen, einen niedrigeren Wärmeleitkoeffizienten und eine niedrigere Wärmeausdehnung aufweisenden Al_2O_3 -Partikel vorhanden, kann es zu einer lokalen Erhitzung und thermischer Deformation des Kolbens kommen. Falls es eine örtliche Mangel an Al_2O_3 -Partikel vortritt, kann es zu einem unregelmäßigen Verschleiß der Zylinderlaufbahn kommen, was den Wirkungsgrad und die Dauer des Motors verkürzt.

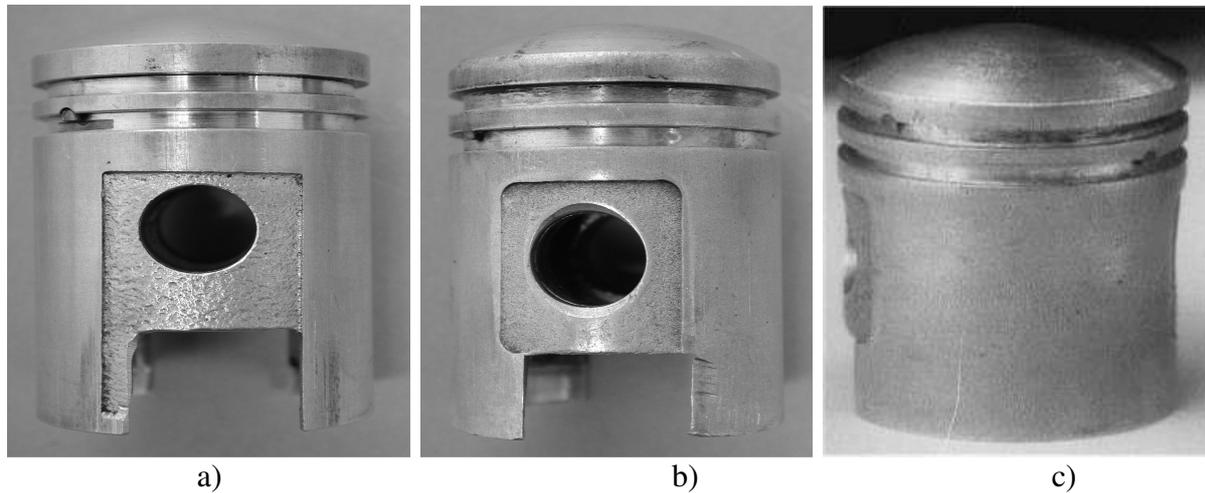


Bild 1. Die geprüften Kolben: a) Werkskolben, hergestellt aus EN-AC-47000, b) Eigenkolben, hergestellt aus Verbundwerkstoff EN-AW-6061+22% Al_2O_{2P} , c) Eigenkolben, hergestellt aus Verbundwerkstoff EN-AC-47000+15% Al_2O_{2P}

Fig. 1. Investigated pistons: a) factory produced of EN-AC-47000 alloy, b) own produced of composite EN-AW-6061+22% Al_2O_{2P} , c) own produced of composite EN-AC-47000+15% Al_2O_{2P}

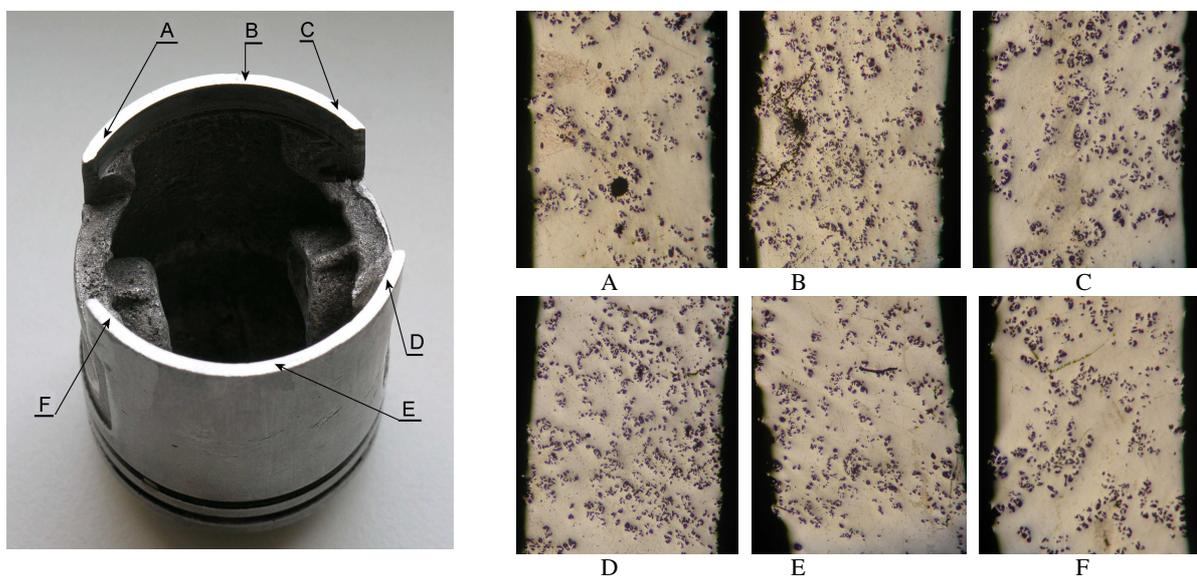


Bild 2. Verteilung der Verfestigungsphase im Mantelbereich des gegossenen Kolbens aus EN-AW-6061+22% Al_2O_{3P} (x 50)

Fig. 2. Distribution of reinforcing phase in skirt of piston produced of EN-AW-6061+22% Al_2O_{3P} composite (magn. 50)

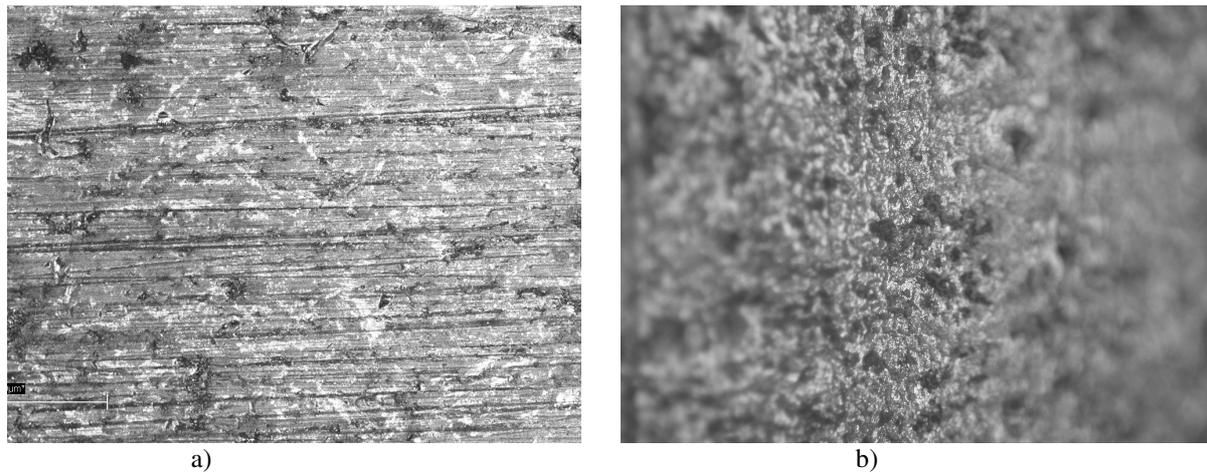


Bild 3. Ansicht von der Oberfläche des Mantels des aus Verbundwerkstoff mit EN-AC-47000-Matrix hergestellten Kolbens (a- Spanbearbeitungsspuren zu sehen) und aus Verbundwerkstoff mit EN-AW-6061-Matrix (b – Verstärkungspartikel i Form von dunkleren Punkte zu sehen)

Fig. 3. View of surface of piston produced of composite with EN-AC-47000 alloy matrix (a - traces from cutting are visible) and with EN-AW-6061 alloy matrix (b – reinforcing particles as dark points are visible)

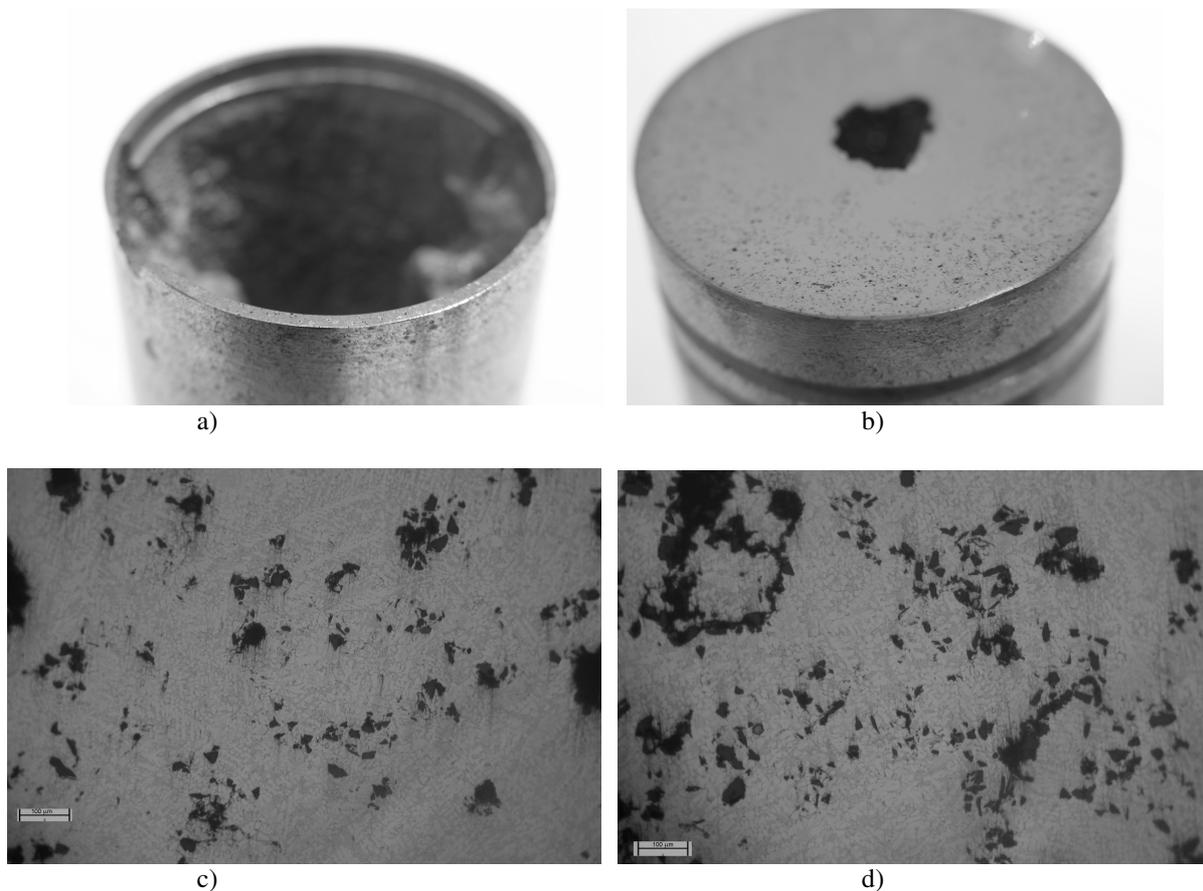


Bild 4. Ansichte des polierten Mantels (a) und Bodens (b) des aus Verbundwerkstoff mit EN-AC-47000-Matrix hergestellten Kolbens und Querschliffe des Mantels (c) und Bodens (d)

Fig. 4. View of polished skirt (a) and head (b) of piston manufactured of composite with EN-AC-47000 matrix and crosssection of skirt (c) and head (d)

Darum die grundlegenden metallographischen Prüfungen wurden im Bereich des Kolbenschafts (Bild 2) und auf dem Kolbenboden (Bild 4) durchgeführt. In Bild 1 werden drei Kolben dargestellt, d.h. der aus der Legierung EN-AC-47000 angefertigte Werkkolben (a), der aus Verbundwerkstoff mit EN-AW-6060-Legierung-Matrix (b) und der aus Verbundwerkstoff EN-AC-47000 Legierung-Matrix (c).

Während der Spanbearbeitung des Kolbens aus Verbundwerkstoff mit EN-AC-47000-Matrix wurden Sprödigkeit und Brüchigkeit der Späne und kleine Risse, wie auch Porosität in Mantelbereich festgestellt. Nach der Spanbearbeitung des Kolbenmantels sind Werkzeugspuren in Form von Mikrovertiefungen trotz des Präzisionsschleifens geblieben, Bild 3. Weil diese Spuren spiral auf dem Kreisumfang des Kolbens, senkrecht zu der Bewegungsrichtung, verlaufen, bilden sie Depots für Schmieröl, was die Schmierung der Paarung Kolben-Zylinderlaufbahn verbessert. Dies ist während des so genannten Kaltstarts des Motors von großer Bedeutung.

Um die Korrektheit der Verteilung der Verfestigungsphase in den gewählten Werkstoffen zu überprüfen wurden Querschliffe in zwei für die Qualität des Kolbens relevanten Bereichen, dh. am Kolbenboden und am Kolbenschaft erstellt. Eine regelmäßige Verteilung der Aluminiumoxid-Partikeln im Mantelbereich beugt eines lokalen Anfressverschleißes vor, was eine relevante Bedeutung für den Betrieb des Verbrennungsmotors und dessen Wirkungsgrad hat. Lokale Mängeln an Verfestigungsphase erhöhen die Wahrscheinlichkeit des Anfressens zwischen dem Kolbenmantel und der Zylinderlaufbahn und benachteiligt die Schmierung weil es die Mikrodepots für Schmieröl nicht vorhanden sind. Während des Betriebs des Zweitaktmotors dampf der Kraftstoff aus dem Gemisch ab, und das Öl bleibt auf der Oberfläche des Kolbenmantels. An Stellen wo es keine Verfestigungspartikeln gibt, bleibt das Öl wesentlich kürzer als zwischen den Verfestigungspartikeln. In den Aufnahmen in Bild 4a ist deutlich zu sehen, dass die Verteilung der Al_2O_3 -Partikeln fast regelmäßig ist, und die Bereiche ohne deren nur einige Mikrometer Maße aufweisen.

Die Verteilung der VP im Kolbenboden übt einen Einfluss auf dessen Festigkeit aus und dadurch auf die Belastung die der Kolben während des Motorbetriebes tragen kann oder auf die Dicke des Bodens. Eine zusätzliche Aufgabe der keramischen Al_2O_3 -Partikeln ist die Dämmung der über den Kolbenboden an den gekühlten Zylinder abgeleiteten Wärme. Eine höhere Verbrennungstemperatur in einem Motor mildert die Schädlichkeit der emittierten Verbrennungsgase. In dem geprüften Kolben wurden keine die Nutzungseigenschaften des Kolbens benachteiligenden Mängel festgestellt.

Tab. 2

Reibungskoeffizient der geprüften Verbundwerkstoffe
während des Zusammenwirkens mit Grauguss EN-GJL-350

Paarung	Reibungskoeffizient unter Bedingungen	
	technisch trockener Reibung $p = 1,2 \text{ MPa}$, $v = 1 \text{ m/s}$, $t = 160^\circ \text{ C}$	Schmierung mit Lotos Semisynthetic-Öl ($p=3 \text{ MPa}$, $v = 2,5 \text{ m/s}$, $t = 20^\circ \text{ C}$)
EN-GJL-350/EN-AC-47000+20% Al_2O_{3p}	0,3 – 0,4	0,07-0,05
EN-GJL-350/EN-AC-6061+22% Al_2O_{3p}	0,4 - 0,5	0,09-0,06

Während des Betriebes im Motor hat der Kolben einwandfrei mit der Zylinderlaufbahn zusammengewirkt. Die nach der Spanbearbeitung sichtbaren Risse sind vergrößert worden. Darum ist entschieden worden, das die Halbzeuge der Kolben aus diesem Verbundwerkstoff mittels der eine

bessere Kompaktheit der Werkstoffs gewährleistenden Technologien anzufertigen sind. Dafür geeignete Technologien werden z.B. Pressgießen oder squeeze casting geeignet.

Der aus Verbundwerkstoff mit EN-AW-6060-Matrix hergestellte Kolben hat keine oberflächlichen Mängel und Risse aufgewiesen. Querschliffe von ausgewählten Bereichen des Kolbenschafts werden in Bild 2 präsentiert. Die Verteilung der Verfestigungspartikeln im Kolbenboden und -mantel ist fast regelmäßig, was gutes tribologisches Verhalten während des Zusammenwirkens mit der Zylinderlaufbahn gewährleistet. Ausgewählte Werte des Reibungskoeffizienten werden in der Tabelle 2 präsentiert. Diese Werte bestätigen die Richtigkeit der obigen Voraussetzungen. Der Reibungskoeffizient in der ungeschmierten Paarung Grauguss-Verbundwerkstoff mit EN-AC-47000-Matrix ist niedriger als in der Paarung mit EN-AW-6061-Matrix, weil es die Anwesenheit von Siliziumkörnern zusätzlich das Anhaften zwischen Grauguss und Matrix vorbeugt.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Herstellung der Halbzeuge der für Verbrennungsmotoren geringer Leistung bestimmten Kolben aus Verbundwerkstoffen mit der Matrix aus EN-AC-47000-Legierung mittels Gieß-Verfahrens verursacht Entstehung von kleinen Gießfehlern in Form von Lunkern und Porosität wie auch von Agglomeraten der Verfestigungsphase, die Entstehung der Risse während der Spanbearbeitung verursachen. Risse entstehen besonders im Bereich der ziemlich dünnen Wände des Kolbenmantels. Während des Betriebes des Motors mit einem die o. g. Mängel aufweisenden Kolben kommt es zur Propagation der Risse infolge der thermischen Spannungen, die aus einer großen Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten des Matrixwerkstoffes und des Verfestigungsphasewerkstoffes entstehen. Darum die Halbzeuge der kleine Maße und dünne Wände aufweisenden Kolben für Verbrennungsmotoren geringer Leistung sollen mittels Druckguß- oder Squeeze Casting-Verfahrens hergestellt werden.

Literatur

1. Kozaczewski W.: *Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych*. WKŁ, Warszawa 2004.
2. Gaberscik G., Meldt W., Tripolt W., Trzesniowski M.: *Der Beitrag der Reibungsoptimierung zur Verbrauchsreduktion bei Motoren*. Tribosysteme in der Fahrzeugtechnik, Copy and Druck GmbH Verlag Österreichischer Tribologischer Gesellschaft ISBN 3-901657-19-3 (Buch), Wien/Graz 2005, 5-13.
3. Posmyk A.: *Materiały kompozytowe w budowie pojazdów*. BK Katedry Eksploatacji Pojazdów 2007.
4. Wieczorek J., Dolata-Grosz A., Dyzia M., Śleziona J.: *Tribological properties of AlMC reinforcement with intermetallic phases*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 15, Issues 1-2, 2006, p. 58-62.
5. Dolata-Grosz A., Wieczorek J., Śleziona J., Dyzia M.: *Możliwości wykorzystania technik próżniowych do podnoszenia jakości zawieszin kompozytowych*, *Archiwum Odlewnictwa Rok 2006, Rocznik 6, Nr 18 (1/2), Vol. 6, N^o 18 (1/2), PAN- Katowice PL ISSN 1642-5308, s. 285-290.*
6. PBZ11/RM6/2005 - *Kształtowanie funkcjonalnej, warstwowej struktury odlewów kompozytowych zawierających zbrojenie heterofazowe*. Czas realizacji: 2005 – 2007.

Arbeit erstand im Rahmen des Projektes BK-260/RT1/2007