

5. Лущицкий Ю. В., Косулин А. Г. Эксплуатационный расход топлива и метод его определения // Двигатели внутреннего сгорания.- 1985.- № 41.- С. 96-104.
6. Ажиппо Н.А., Балюк Б.К. Прогнозирование долговечности подшипников скольжения тракторных двигателей на стадии их проектирования // Двигателестроение.- 1985.- №8- С.17-20.
7. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: монография. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2003. -244 с.
8. Розробка економічної моделі експлуатації тракторного дизеля в системі прогнозування ресурсної міцності деталей камери згоряння / О.В. Білогуб, В.Т. Турчин, В.О. Пильов, С.М. Бакланов, С.В. Силенок // Двигатели внутреннего сгорания: научно-технический журнал.- 2009.- №1- С.100-103.
9. Аналіз ефективності застосування економічних теоретичних моделей експлуатації тракторних дизелів для оцінки ресурсної міцності поршнів / В.Т. Турчин, В.В. Матвеєнко, В.О. Пильов, С.М. Бакланов // Двигатели внутреннего сгорания: научно-технический журнал.- 2010.- №1- С.89-92.

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ – ГРАНУЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Москвичев Ю.П., Панин В.И., Агеев С.В. (ООО «Сферамет»);
Чайнов Н.Д., Мягков Л.Л. (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана).

Требования к эмиссии выбросов двигателей транспортных средств постоянно ужесточаются. Их выполнение обеспечивается, главным образом, за счет установки 3-х компонентных каталитических нейтрализаторов с системой датчиков и управлением режимами работы двигателя для обеспечения требуемого состава токсичных компонентов. В тоже время, недостаточно реализуются возможности совершенствования собственно поршневого двигателя за счет уменьшения механических потерь, величина которых в снижении эффективных показателей двигателей составляет 10-30%.

Основной вклад в механические потери вносят цилиндропоршневая группа, кривошипно-шатунный и клапанный механизмы, звенья которых движутся с высокими скоростями и ускорениями. Снижение массы деталей этих механизмов, в первую очередь, поршней, шатунов и клапанов в значительной степени влияет на уменьшение механических потерь [1]. На протяжении всего периода развития поршневых двигателей внутреннего сгорания осуществлялось снижение массы этих деталей [2, 6, 7], но возможности дальнейшего снижения массы из традиционных материалов практически исчерпаны. Дальнейшее снижение массы возможно лишь на основе применения новых материалов (рис.1).

Одним из наиболее перспективных направлений развития материаловедческих разработок является создание нового класса металлических объемных композиционных материалов из гранул – наноструктурных гранульных композитов для деталей ДВС.

Принцип построения гранульных композитов с заранее заданными свойствами заключается в формировании комбинации гранул различного химического, фазового и фракционного составов в необходимых пропорциях [3].

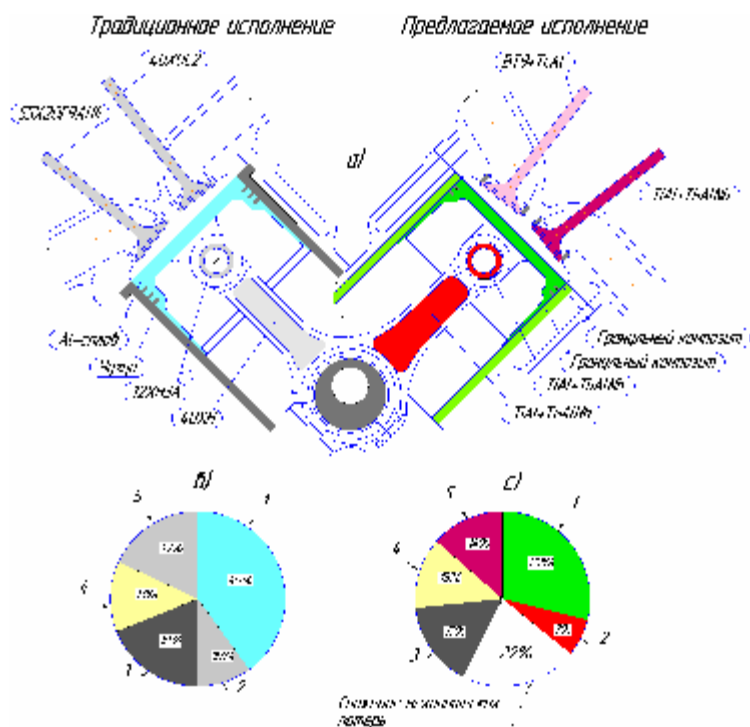


Рис.1. Применение новых материалов для деталей двигателя-а); потери на трение: при стандартном исполнении-б), с применением гранульных композиций-с); 1-поршень, 2-шатун, 3-коленчатый вал, 4-маслонасос и помпа, 5-клапанный механизм.

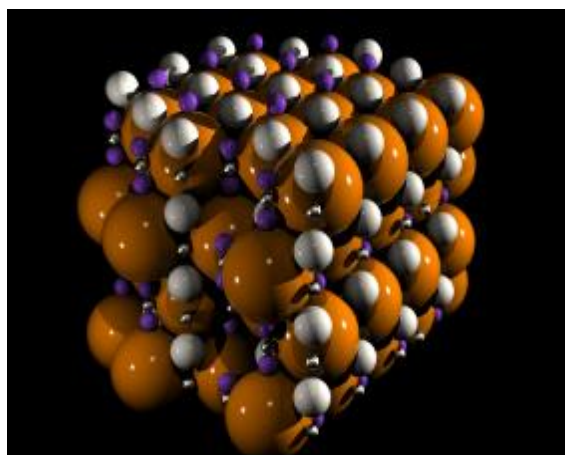


Рис. 2. Наиплотнейшая свободная гексагональная упаковка гранул 4-х порядков.

Сферические гранулы первого порядка (матрица) одного фракционного состава при свободной укладке образуют плотнейшую гексагональную упаковку, в которой существуют пустоты [4]. В данных пустотах возможно разместить мелкие сферические гранулы других фракционных составов - гранулы второго, третьего и более порядков, размеры которых, как установлено, распределены в соответствии с золотым сечением убывающего ряда Фибоначчи. В оставшихся пустотах может быть размещен наноразмерный порошок. Вариант размещения сферических гранул в композите представлен на рис. 2.

Гранулы матрицы могут состоять из одного или нескольких материалов разного химического и фазового состава. Сферические гранулы могут быть разделены по фракциям на гранулы, которые используют для формирования пластичной матрицы и на гранулы, которые используют для формирования упрочняющих добавок. При этом реализуется возможность создания материала с заранее заданными повышенными пластическими свойствами при высоком уровне прочностных и других свойств. Сферические гранулы могут быть разделены по фракциям на гранулы, которые используют для формирования проч-

ной матрицы и на гранулы, которые используют для формирования пластичных добавок. При этом реализуется возможность создания материала с заранее заданными повышенными прочностными, жаропрочными и другими свойствами при необходимом уровне пластичных свойств.

Наноразмерные порошки могут быть из термодинамически стабильных и устойчивых к компонентам гранульного композита оксидов, карбидов, нитридов и боридов элементов Периодической системы с целью придания гранульному ком-

позиту дополнительных свойств: прочности, твердости, усталостной прочности, износостойкости и др.

Для компактирования гранульных композиций наиболее перспективным представляется компактирование с помощью всестороннего (изостатического) прессования, гидростатического или газостатического, при температурах, обеспечивающих уплотнение без пористости и твердофазное диффузионное соединение в области существования необходимых фазовых составляющих. Технология позволяет так же получать наиболее приближенные по форме заготовки готового изделия.

Гранульные композиты могут быть подвергнуты деформационным обработкам: экструдированию, прессованию, штамповке и др. Такие деформационные процессы позволяют получить композиты с равноосными и волокнистыми структурами, что улучшает механические и специальные характеристики гранульного композита.

Таким образом, подбирая гранулы различного химического и фракционного состава, подвергая гранульные сборки деформационным и термическим обработкам, возможно конструирование гранульных композитов с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающими эксплуатационным параметрам работы изделия.

Рассмотрим возможности применения гранульных композитов для деталей двигателей внутреннего сгорания.

Таблица 1. Химические составы сплавов для получения новых композиционных жаропрочных высокопрочных материалов

Марка сплава	Содержание легирующих элементов, % вес.									
	Al	Mo	Zr	Nb	V	Ti	Sn	W	Si	C
Исполнение №1 - Жаропрочность до 650 °С										
BT 9 ($\alpha+\beta$)	5,8- 7,0	2,8- 3,8	1,0- 2,0	-	-	Ост.	-	-	0,2- 0,35	-
Ti ₃ Al (α_2 -фаза)*	25,0	-	-	-	-	Ост.	-	-	-	-
Исполнение №2 - Жаропрочность до 750 °С										
Сплав на основе Ti ₃ Al (α_2 -фаза)*	24,0	-	-	11,0	-	Ост.	-	-	-	-
BT 18У (псевдо- α)	6,2- 7,3	0,4- 1,0	3,5- 4,5	0,5- 1,5	-	Ост.	2,0- 3,0	-	0,15	-
Исполнение №3 - Жаропрочность до 800 °С										
Сплав на основе Ti ₂ AlNb (О-фаза)*	23	-	0,6	22,7	1,1	Ост.	-	-	0,14	0,3
TiAl (γ -фаза)*	48	-	-	-	-	Ост.	-	-	-	-
Исполнение №4 - Жаропрочность до 900 °С										
Сплав на основе TiAl (γ -фаза)*	46	-	-	5,0	-	Ост.	-	1,0	-	-
Сплав на основе Ti ₂ AlNb (О-фаза)*	23	-	0,6	22,7	1,1	Ост.	-	-	0,14	0,3

*) – химический состав в атом. %.

Клапаны газораспределения. Наиболее перспективными для клапанов являются интерметаллиды титана, обладающие низкой плотностью и высокой жаропрочностью. Гранульные композиты, построенные из комбинации гранул различных интерметаллидов титана: Ti₃Al (α_2 -фаза), Ti₂AlNb (О-фаза) TiAl (γ -фаза) позволяют

создать гранульные композиты для клапанов, работающих в различных диапазонах температур [5]. В табл. 1 представлены составы гранульных композитов для клапанов с различной жаропрочностью.

Такие гранульные композиты обладают повышенным уровнем механических свойств при высоких температурах, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2. Свойства гранульных композитов для клапанов

Физико-механические свойства		Варианты исполнения клапанов			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Плотность (ρ), г/см ³		4,42	4,23	5,0	4,18
Предел текучести ($\sigma_{0,2}$), МПа:	20 °C	1060	840	955	850
	650 °C	530	670	-	-
	750 °C	-	510	525	-
	800 °C	-	-	470	590
	900 °C	-	-	-	530
Модуль упругости (E), ГПа:		119	142,5	127	160
Циклическая прочность (σ_{-1}), МПа:	20 °C	670	785	855	755
	650 °C	390	545	-	-
	750 °C	-	300	397	-
	800 °C	-	-	330	470
	900 °C	-	-	-	380
Удельный модуль упругости (E/ ρ), ГПа/г/см ³ :		27	33,7	25,4	37,6
Удельный предел текучести ($\sigma_{0,2}/\rho$), МПа/г/см ³ :	20 °C	240	200	190	203
	650 °C	120	160	-	-
	750 °C	-	120	105	-
	800 °C	-	-	95	140
	900 °C	-	-	-	127

Механические свойства гранульных композитов, представленные в таблице 2 дают основания предполагать, что ресурс клапанов приблизится к ресурсу двигателя.

Шатун, поршневой палец. Низкая плотность, высокий модуль упругости и прочность гранульного композита исполнения №4 позволяют считать его наиболее перспективным для изготовления шатунов и поршневых пальцев. При этом, снижение массы деталей составит 35-45%.

Поршень, гильза цилиндра. Гранулы, полученные из высокремнистых поршневых алюминиевых сплавов с содержанием кремния 25% и более, имеют мелкозернистую структуру и тонкодисперсные выделения кремния. Такие гранулы являются прекрасной матрицей для композита. Другими составляющими композита являются сферические гранулы Al₂O₃ и графит. Правильное соотношение компонентов гранульных композитов обеспечивают работу в совместной паре трения без схватывания поршня и гильзы с пониженным коэффициентом трения.

Суммарный эффект от применения гранульных композитов в поршневых двигателях внутреннего сгорания заключается:

- В снижении массы: клапанов на 45-50%, поршня на 20-30%, поршневого пальца на 35-40%, шатуна на 35-45%;
- В снижении механических потерь на 20-22%;

- В повышении топливной экономичности на 6-8%;
- В снижении эмиссии выбросов, шума и вибраций;
- В снижении поступательно-движущихся масс на 25-35%.

Повышенные механические свойства гранульных композитов достигаются значительным измельчением зерна в гранулах, свойствами границ раздела по гранулам, отличными от таковых для известных композитов, введением наноразмерных частиц.

Литература:

1. Untersuchung mit Ventilen aus Leichtbau- Werkstoffen. MTZ Motortechnische Zeitschrift 60 (1999) 9, p. 590-603.

2. Massereduzierung an Bauteilen des Kurbeltriebs. MTZ Motortechnische Zeitschrift 67 (2006) 04, p. 254-261.

3. Москвичев Ю.П., Панин В.И., Агеев С.В., Аладьин А.В. Заготовка многокомпонентного конструкционного материала. Заявка № 2010121362 с приоритетом от 27 мая 2010г.

4. Г.М. Кузьмичева. Теория плотнейших шаровых упаковок и плотных шаровых кладок: Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова. М. 2000, 37с.

5. Москвичев Ю.П., Панин В.И., Агеев С.В., Аладьин А.В. Легкий клапан двигателя внутреннего сгорания из композиционного жаропрочного материала на основе титана и его интерметаллидов и способ его изготовления. Заявка № 2010121365, с приоритетом от 27 мая 2010г.

6. V.I. Panin, V.B. Udovichenko, N.D. Chainov, L.L. Myagkov. "Design, Calculation and Testing of Composite Connecting Rod for Internal Combustion Engine". Proceedings of the 4th International Conference ATA-MAT'94 "Structural Materials and Processes for the Transportation Industry", Oct. 5-7, 1994, Torino (Italy), p.p. 327-340.

7. V. Panin, Y. Burakov, A. Volkov, N. Chainov, L. Myagkov. "Internal Combustion Engine Valve: Construction and Manufacturing Mean Using the Alloys Based on Titanium". Proceedings of the SETC'97 "Small Engine Technology Conference", Yokohama, Japan, October 27 to 31, 1997, paper No.: 123.

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ КАРТЕРА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА

В.С. Мурзин (ООО ГСКБ «Трансдизель»); **В.А. Романов, С.Б. Сапожников, Н.А. Хозенюк** (Южно-Уральский государственный университет)

Непрерывно растущий уровень производительности и ресурсов доступных в инженерной практике вычислительных средств в сочетании с интенсивно развивающимися программными САЕ (Computer-aided engineering) и САД (Computer-aided design) продуктами выступают объективной предпосылкой появления новых подходов к дальнейшему совершенствованию таких сложных машиностроительных конструкций, как современные двигатели внутреннего сгорания. Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния картера дизельного двигателя по-прежнему остается одной из наиболее сложных и трудоемких вычислительных задач. По этой причине создание расчетной модели картера предполагает ее тесную привязку к решаемой инженерной проблеме, когда за счет тщательного выбора упрощающих допущений удастся снижать запросы к требуемым вычислительным ресурсам, и получать возможность выполнения количественных оценок по