

## АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ СОСТАВНЫХ ПОРШНЕЙ ДВУХТАКТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*В данной статье рассмотрены значения температур корпусов составных поршней при различных уровнях форсирования специальных двухтактных двигателей. Приведены данные по зависимостям физико-механических характеристик алюминиевых поршневых сплавов от температуры. В ходе проведенной работы обоснована целесообразность перехода от поршневого алюминиевого сплава АК4-1 к АЛ-25 при значениях температур корпусов поршней выше 300°С.*

### Вступление

На специальных двухтактных дизелях типа ДН 12/2×12 с воспламенением рабочего тела от сжатия используются поршни, получаемые методом объёмной штамповкой из алюминиевого сплава АК4-1. Поэтапное форсирование двигателей, в ходе развития отечественного моторостроения, неизбежно вела к изменению конструкции поршня. Конструктивные изменения, в свою очередь, вели к перераспределению температур, что влияло на механические свойства и надёжность работы алюминиевого поршня. Анализ известных данных температур корпуса поршня, механических нагрузок, конструкции и степени форсирования изделия позволяет провести термомеханическое моделирование напряжённо-деформированного состояния поршня. Знание механических свойств материалов при конкретных температурах позволяет рассматривать как альтернативные методы изготовления поршней, так и целесообразность использования других материалов.

### Цель исследования и постановка задачи

Целью исследования является анализ температурного состояния корпусов поршней различных конструкций при заданных уровнях форсирования изделия.

В работе ставились и решались следующие задачи:

- определение максимальной температуры головки поршня в зависимости от конструктивных особенностей и степени форсирования изделий;
- сбор информации по определению механических свойств различных поршневых алюминиевых сплавов при заданных уровнях температур;
- предварительная оценка возможности и целесообразности использования на высокофорсированных и тяжело нагруженных специальных двухтактных дизелях поршневого алюминиевого сплава АЛ25.

### Экспериментальные данные

Конструктивная схема специального двухтактного дизеля с прямоточной продувкой и встречно движущимися поршнями наложила свой

отпечаток на условия работы поршней. Она обусловила разницу в испытываемых тепловых и механических нагрузках различными поршнями. По температурным нагрузкам в менее благоприятных условиях оказывается, так называемый, выпускной поршень, омываемый выпускными газами. Опыт эксплуатации показывает, что выпускные поршни выходят из строя чаще, чем впускные, омываемые продувочным воздухом.

Выход из строя поршней происходит чаще всего из-за задира боковой поверхности тронка. Обычно задиры начинаются в верхней части корпуса поршня, где температуры наивысшие, а механические свойства материала, вследствие этого, наименьшие. Поэтому в качестве критерия работоспособности корпуса поршня можно брать уровень температур в районе кольцевдержателя под проставкой. По этой причине в процессе доводочных работ стараются достичь приемлемого уровня температур головки поршня.

В процессе доводки двигателя проводимые на стендах работы позволяют использовать различные способы определения температур деталей. Наиболее информативным способом является термометрирование. Однако при проведении ходовых испытаний или в эксплуатации определение температуры становится затруднительным или вообще невозможным. Одним из способов, позволяющих оценивать максимальный уровень температур в корпусах поршней, является метод определения температуры по остаточной твёрдости. Подобный способ достаточно длительное время и с успехом применяется и сейчас. На (рис. 1) представлены графики изменения твёрдости алюминиевых поршневых сплавов в зависимости от уровня действующих температур. Для сплава АК4-1 приведены два графика. Кривая падения твёрдости, соответствующая температуре старения 175°С, отражает технологию термообработки, используемую при уровнях форсирования дизеля до 105 кВт с цилиндра. Ныне используемая технология, соответствующая температуре старения 195°С, позволила повысить механические характеристики сплава при том же уровне температур.

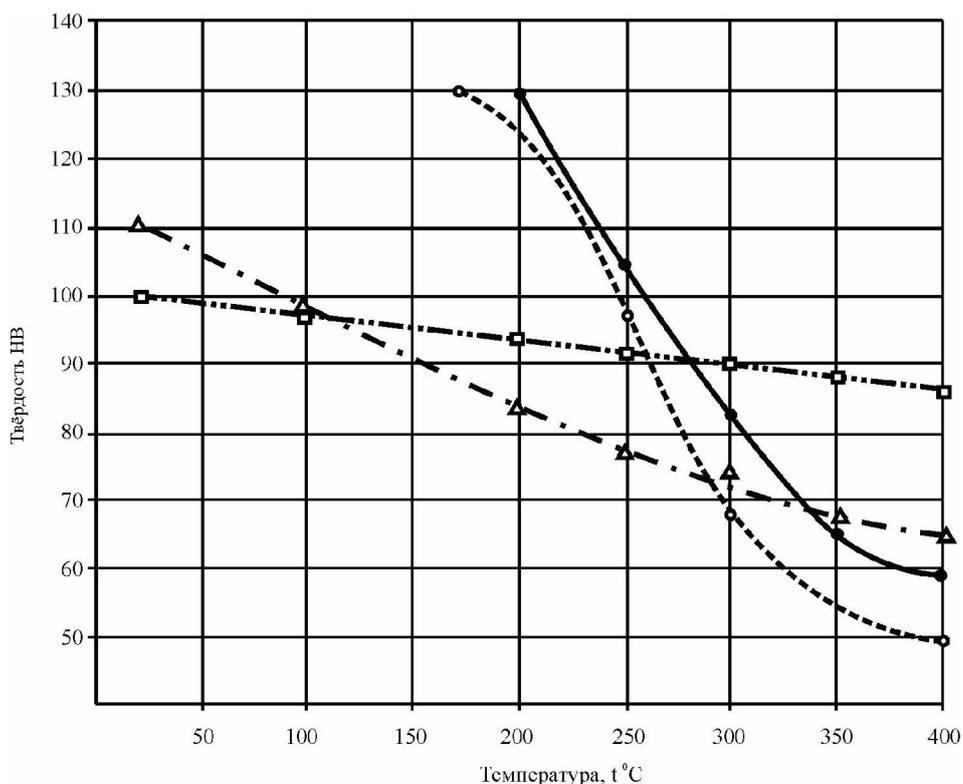


Рис. 1. Изменение твердости алюминиевых сплавов в зависимости от температуры:

-○- - AK4-1 (t старения 175°C); -●- - AK4-1 (t старения 175°C);  
 -▲- - AL25; -□- - AK21

При степени форсирования 105 кВт с цилиндра (рис. 2) температуры выпускных поршней, как наиболее теплонапряженных, достигали значений 285 °С.

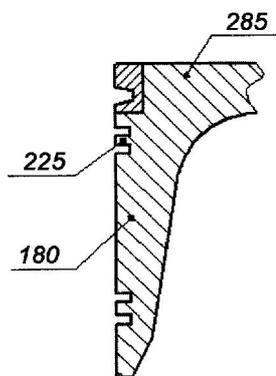


Рис. 2. Температурное состояние корпуса составного поршня дизеля при степени форсирования 105кВт с цилиндра(конструктивный вариант 1)

В ходе эксплуатации наблюдались поломки перемычек между второй и третьей канавками под поршневые кольца. Было решено устанавливать объединенный кольцевидный держатель на оба верхних уплотнительных кольца. Это увеличило высоту

кольцевидного держателя, что привело к росту температур в верхней части корпусов поршней. На выпускных поршнях температура под проставкой достигла 295 °С (рис. 3), а под кольцевидным держателем осталась на том же уровне. В ходе дальнейших работ и внедрения различных конструкторских мероприятий температуру головок корпусов поршней удалось снизить.

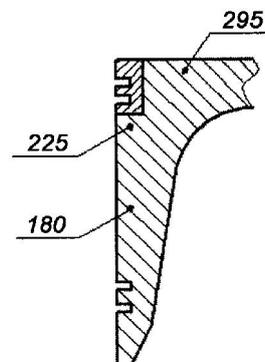


Рис. 3. Температурное состояние корпуса составного поршня дизеля при степени форсирования 105кВт с цилиндра(конструктивный вариант 2)

Однако уже при форсировании изделия до уровня 120 кВт с цилиндра значения температур опять выросли (рис. 4).

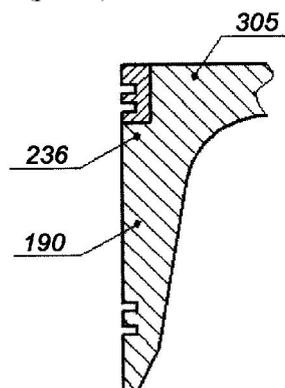


Рис. 4. Температурное состояние корпуса составного поршня дизеля при степени форсирования 120кВт с цилиндра

При этом верхняя часть поршня под проставкой нагрелась до 300 °С и выше. На двигателях начали появляться задиры поршневой группы на обкаточных испытаниях.

Представленные данные свидетельствуют, что температура корпуса поршня является критерием работоспособности при прочих равных конструктивных и технологических условиях. Поэтому дальнейшие работы были направлены на изменение режимов термообработки заготовок корпусов поршней и интенсификации охлаждения наиболее теплонпряжённых поверхностей поршней. При

этом была увеличена прокачка масла через верхнюю головку шатуна, изменён маслоёмкий рельеф боковой поверхности выпускного поршня [2]. Эти и другие мероприятия привели к положительному результату - полученная конструкция поршня оказалась работоспособной и при форсировании изделия до мощности в 145 кВт с цилиндра и выше, хотя температуры в верхней части корпуса поршня опять выросли и уверенно превзошли значения в 300 °С.

Необходимо отметить следующую особенность корпусов поршней из алюминиевых сплавов. Проведенные замеры твердости на образцах, вырезанных из поршней, имевших задиры боковой поверхности, как правило, показывают значения ниже 70 единиц твердости по Бринеллю. Это справедливо как для поршней получаемых методом объемной штамповки (АК4-1), так и для поршней из силумина АЛ25, получаемых методом жидкой штамповки с кристаллизацией под давлением. Вероятно, правомочно предположение, что значение твердости в 70 НВ является граничным для обеспечения работоспособности поршней из алюминиевых сплавов и следует принять все меры, чтобы в эксплуатации твердость в головке корпусов поршней не опускалась ниже указанной границы. Как видно из рис. 1, при достижении уровня температур выше 330...350 °С в верхней части корпусов поршней этому требованию в большей степени, чем АК4-1 отвечает силуминовый поршневой сплав АЛ25.

Таблица 1. Механические и физические свойства алюминиевых сплавов АК4-1, АЛ25 и АК21

Сплав	Температура испытания t, °С	Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести при растяжении $\sigma_{0,2}$ , МПа	Твёрдость НВ	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ , К <sup>-1</sup>	Коэффициент теплопроводности Вт/(м·град)
АК4-1	20	450	350	-	-	142,4
	100	430	350	135	21,1	146,2
	200	360	325	135	22,3	150,7
	300	155	150	107	24	159,0
	350	-	-	-	-	-
	400	40	38	66	-	-
АЛ25	20	250	215	-	-	-
	100	220	195	102	19,0	138
	200	190	180	96	20,5	140
	300	130	120	93	21,0	146
	350	-	-	-	-	149
	400	50	40	87	-	-
АК21	20	190	182	100	-	-
	100	-	-	95	17,5	-
	200	165	158	94	-	-
	300	118	113	92	18,5	-
	350	90	86	90	-	-

Сравнение других свойств указанных алюминиевых сплавов показывает, что при температурах до 250 °С материал поршней АК4-1 предпочтительнее, однако при достижении температуры более 300 °С силуминовые поршни по ряду показателей уже ни в чем не уступают поршням из сплава АК4-1 [1]. Дальнейшее повышение температуры поршней окончательно закрепляет приоритет за использованием силуминовых поршневых сплавов при одинаковом конструктивном исполнении корпусов поршней.

Полученные результаты ставят под вопрос работоспособность поршневой группы в прежнем конструктивном исполнении из АК4-1 с уровнем форсировки 185 кВт с цилиндра.

Среди представленных графиков (рис. 1) обращает на себя внимание ещё один силуминовый сплав – это АК21. В зоне достигнутых на данный момент температур его показатели по механическим свойствам и коэффициенту линейного расширения (таблица 1) выглядят наиболее выигрышно.

К тому же известно, что на четырехтактных специальных дизелях уже используются поршни из данного алюминиевого сплава.

#### **Выводы**

Проведенный в работе анализ указывает на достижение вероятного предела работоспособности поршней данной конструкции, изготовленных из материала АК4-1 методом объёмной штамповки.

**Алехин Сергей Алексеевич** – канд. техн. наук, генеральный конструктор Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

**Лыков Сергей Валентинович** – начальник отдела Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

**Пылёв Владимир Александрович** – доктор техн. наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой "Двигатели внутреннего сгорания" НТУ "ХПИ", Харьков, Украина, e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua.

#### **АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ КОРПУСІВ СКЛАДЕНИХ ПОРШНІВ ДВОТАКТНИХ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**С.О. Альохін, С.В. Лыков, В.О. Пыльов**

У цій статті розглянуті значення температур корпусів складених поршнів при різних рівнях форсування спеціальних двотактних двигунів. Наведені дані по залежностям фізико-механічних характеристик алюмінієвих поршневих сплавів від температури. В ході проведеної роботи обґрунтовано доцільність переходу від поршневого алюмінієвого сплаву АК4-1 до АЛ-25 при значеннях температур корпусів поршнів вище 300°С.

#### **ANALYSIS OF A TEMPERATURE CONDITION OF BUILT-UP PISTONS BODIES OF TWO-STROKE DIESEL ENGINES OF SPECIAL PURPOSE**

**S.A. Alyohin, S.V. Lykov, V.A. Pylyov**

In given article the temperature values of built-up piston bodies are considered at various levels of forcing of special two-stroke engines. The data on dependences of physicomachanical characteristics of aluminium piston alloys on temperature are shown. During the carried out work the expediency of changing of piston aluminium alloy АК4-1 on АL - 25 at temperature values of piston bodies above 300°С.

На данном этапе форсирования специальных дизелей уровень температур корпусов составных поршней превзошёл уровень в 300 °С.

При форсировании специальных дизелей свыше 145...150 кВт с цилиндра целесообразным является рассмотрение вопроса применения алюминиевых сплавов АЛ25 и АК21. Дальнейшее направление работ связано с установлением температурного и напряженно-деформированного состояния поршня имеющейся конструкции, изготовленного из различных поршневых алюминиевых сплавов.

#### **Список литературы:**

1. Лобанов В.К. *Материаловедческие аспекты выбора технологии изготовления поршней ДВС* / В.К. Лобанов, Е.В. Чуйкова // *Вестник Харьковского Национального Автодорожного Университета*. Харьков: ХНАДУ. – 2009. – вып. №46 - с.120-122. 2. Лыков С.В. *Шатунно-поршневая группа двигателей для бронетанковой техники* / С.В. Лыков // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2006. - №1 – с. 17-23.

#### **Bibliography (transliterated):**

1. Lobanov V.K. *Materialovedcheskie aspekty vybora tehnologii izgotovlenija porshnej DVS* / V.K. Lobanov, E.V. Chujkova // *Vestnik Har'kovskogo Nacional'nogo Avtodorozhnogo Universiteta*. Har'kov: HNA DU. – 2009. – vyp. №46 - s.120-122. 2. Lykov S.V. *Shatunno-porshnevaja grupa dvigatelej dlja bronetankovoj tehni-ki* / S.V. Lykov // *Dvigateli vnutrennego sgoranija*. – 2006. - №1 – s. 17-23.

Поступила в редакцию 30.05.2013