



The peculiarities of the pistons castings production for high-loaded diesel engines are shown.

В. И. ГУТКО, М. А. САДОХА, А. П. МЕЛЬНИКОВ, А. И. БАЧЕК,
НП РУП «Институт БелНИИлит»

УДК 669.715

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ПОРШНЕЙ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Поршень представляет собой сложную и ответственную с точки зрения конструкции, технологии и применяемых материалов деталь двигателя, фактически определяющую его технический уровень. Основные функции, выполняемые поршнем, — уплотнение внутрицилиндрового пространства с помощью днища и поршневых колец и передача сил давления в цилиндре на коленчатый вал. Боковые усилия воспринимаются направляющей частью поршня — юбкой. Эти функции должны выполняться в течение всего ресурса двигателя в широком диапазоне режимов по частоте вращения и нагрузке в условиях высокой тепловой напряженности.

Дальнейшее развитие мирового двигателестроения идет по пути создания легких, компактных и в то же время мощных и экономичных двигателей.

Общими тенденциями для совершенствования поршней современных высокофорсированных двигателей являются:

- уменьшение расстояния от днища до оси пальца, необходимое для снижения высоты и массы двигателя;
- уменьшение диаметра пальца как внешнего, так и внутреннего;
- переход на плавающие пальцы малой длины с фиксацией шатуна от осевого перемещения в бобышках поршня;

- снижение высоты колец;
- уменьшение высоты юбки поршня;
- специальные профили и покрытия юбки и днища.

Перечисленные тенденции реализуются на практике внедрением новых конструкций, материалов и технологий и предъявляют повышенные требования к отливкам как основе будущего поршня.

Технологический процесс изготовления отливки такой ответственной детали как поршень современного дизельного двигателя характеризуется повышенной сложностью и трудоемкостью. Это связано с повышенными требованиями к качеству расплава и свойствам сплава, а также с необходимостью установки в некоторых типах поршней специальной упрочняющей вставки под верхнюю поршневую канавку, выполнения кольцевого канала для масляного охлаждения, оформления сложной внутренней геометрии поршня.

Для изготовления отливок поршней используют либо готовые сплавы в чушках, либо получают сплав из первичных материалов. Технические условия на сплавы алюминиевые для производства поршней регламентированы ГОСТ 30620-98, в соответствии с которым данные сплавы имеют химический состав, приведенный в табл. 1.

Таблица 1. Сплавы алюминиевые для производства поршней. Химический состав (основные компоненты)

Марка сплава	Массовая доля, %					
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Al
КС740	0,7–1,2	16–18	0,6–1,0	1,8–2,4	1,1–1,7	Основа
КС741	0,7–1,2	19–22	0,6–1,0	1,8–2,4	1,1–1,7	Основа
АК18	0,8–1,3	17–19		0,8–1,5	0,8–1,3	Основа
ЖЛС	1,0–1,3	11–13		1,2–1,4	1,0–1,3	Основа
АК10М2Н	0,9–1,2	9,5–10,5		2,0–2,5	0,8–1,2	Основа

В свою очередь всемирно известная фирма MANLE (Германия) разработала свою гамму сплавов для производства поршней [1] (табл. 2).

Таблица 2. Сплавы алюминиевые фирмы MANLE (Германия) для производства поршней. Химический состав (основные компоненты)

Марка сплава	Массовая доля, %									
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Fe	Ti	Zn	Cr	Al
MANLE 124 (AlSi12CuMgNi)	0,8–1,3	11–13	≤0,3	0,8–1,5	0,8–1,3	≤0,7	≤0,2	≤0,3	–	Основа
MANLE 138 (AlSi18CuMgNi)	0,8–1,3	17–19	≤0,2	0,8–1,5	0,8–1,3	≤0,7	≤0,2	≤0,3	–	Основа
MANLE 244 (AlSi18CuMgNi)	0,8–1,3	23–26	≤0,2	0,8–1,5	0,8–1,3	≤0,7	≤0,2	≤0,2	≤0,6	Основа
MANLE Y (AlCu4Ni2Mg)	1,25–1,75	≤0,5	≤0,2	3,5–4,5	1,75–2,25	≤0,6	≤0,3	≤0,2	–	Основа

Плавку сплавов для производства поршней ведут как в индукционных тигельных (реже канальных) печах промышленной или повышенной частоты, так и в газовых печах.

Для металлургической обработки и очистки эвтектических силуминов от растворенных газов и неметаллических включений применяют обработку сплава рафинирующе-модифицирующими флюсами на основе хлористых и фтористых соединений щелочных металлов. Используют очистку расплава продувкой сплава инертными газами. Иногда используют и покровные флюсы.

Ввиду того что заэвтектические силумины имеют широкий интервал кристаллизации и высокую температуру ликвидуса, плавку и заливку ведут при повышенных температурах: температура перегрева доходит до 950 °С, а температура заливки — до 840–860 °С [2]. В связи с этим в немодифицированной структуре заэвтектических сплавов наблюдаются грубые, неравномерно расположенные в эвтектике кристаллы первичного кремния.

Для измельчения кристаллов кремния и устранения их вредного влияния модифицирование сплава ведут фосфором, вводимым в расплав в виде фосфористой меди или химических соединений его с различными элементами. Размер кристаллов кремния и степень усвоения фосфора в значительной степени зависят от содержания фосфора в фосфористой меди.

Фосфористая медь, способствуя измельчению первичных кристаллов кремния, не оказывает модифицирующего влияния на эвтектику. Для комплексного модифицирования используют смеси солей с фосфором и его соединениями: хлористый калий KCl, фтортитанат калия K₂TiF₆, гексахлорэтан C₂Cl₆, пентахлорид фосфора PCl₅ и др.

Продувка расплава инертными газами после модифицирования, помимо рафинирования, также способствует улучшению эффекта модифицирования.

Важнейшей технологической стадией производства отливок поршней является заливка в кокиль. Заливка поршней и их кристаллизация имеют ряд особенностей по сравнению с кокильным литьем прочих фасонных отливок.

Так, отливка поршня имеет крайне неравномерную толщину стенок в различных зонах и наличие обширных тепловых узлов. В силу этого для обеспечения формирования качественной отливки необходимо применять зональное регулируемое охлаждение различных узлов, что накладывает свой отпечаток на конструкцию кокиля (рис. 1) и кокильной машины для реализации процесса.

Основные трудности при производстве отливок поршней с упрочняющими вставками под верхнее поршневое кольцо (выполняемыми, как

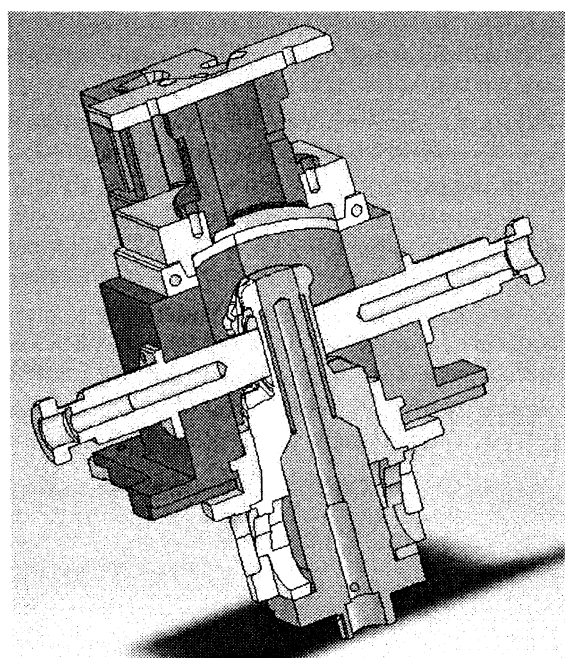


Рис. 1. Конструкция типовой кокильной оснастки для производства поршней

правило, из специального чугуна — нирезиста) связаны с необходимостью обеспечить диффузионную (металлическую) связь между алюминиевым сплавом и вставкой. При отсутствии такой связи резко снижается теплопроводность соединения, хотя механическое сцепление может быть удовлетворительным, что может привести к перегреву поршня и его разрушению при работе двигателя.

Процесс получения биметаллических отливок алюминиевый сплав — сплав на железной основе впервые был применен для изготовления биметаллических цилиндров воздушного охлаждения и получил название «альфин-процесс».

Основные этапы альфин-процесса следующие. Тщательно очищенная от загрязнений и обезжиренная упрочняющая деталь опускается на подвеске в специальный алюминиевый расплав на определенное время для алитирования. Перед алитированием вставку рекомендуется подвергать двойной дробеструйной обработке и обезжириванию. Оптимальной толщиной переходного диффузионного слоя считается 10–30 мкм. Толщина, строение и состав переходного диффузионного слоя зависят от многих факторов, таких, как состав сплава алитирования, время выдержки вставки в расплаве, температура сплава алитирования и др. Например, увеличение времени и температуры алитирования способствуют получению более толстого слоя, однако прочность и плотность слоя при этом снижаются.

После алитирования на поверхности детали находится тонкий слой жидкого алюминиевого сплава, органически связанного с образовавшимся диффузионным слоем (рис. 2). Если обработанную таким образом деталь быстро установить в форму и залить расплавом до момента кристаллизации покрывающего вставку слоя сплава алитирования, то получаемая связь между двумя материалами будет металлической (рис. 3). Если к моменту соприкосновения с заливаемым расплавом покрывающий вставку слой сплава алитирования затвердел, то монолитного соединения не образуется.

Для получения кольцевых каналов для масляного охлаждения в поршнях (рис. 4) проблематично использовать традиционные песчаные литейные стержни из-за проблем, связанных с удалением остатков стержней из отливки. Оставшиеся частицы песка могут попасть во время работы двигателя в масло с вытекающими отсюда последствиями. В связи с этим для изготовления стержней, формирующих кольцевые каналы, нашли широкое применение материалы, которые можно удалить из затвердевшей отливки растворением в воде (солевые стержни), кислотах или выжиганием.

Основные свойства, которые должны иметь материалы водорастворимых стержней, следующие:

- достаточно высокая температура плавления, чтобы при воздействии расплавленного алюминиевого сплава стержень не оплавлялся;

- обеспечение хорошей чистоты поверхности отливки;
- отсутствие гигроскопичности;
- хорошая растворимость в воде;
- сравнительно невысокий коэффициент линейного расширения;
- удовлетворительные технологические свойства;
- низкая стоимость и т.д.

Многими из этих свойств обладают хлориды, сульфаты, карбонаты, фосфаты щелочных металлов. На основе этих соединений предложены составы водорастворимых стержней. Стержни изготавливают литьем, прессованием с последующим спеканием, по CO_2 -процессу с последующим спеканием.

Недостатком литых стержней является длительный процесс их растворения, иногда занимающий несколько часов. Это связано с высокой плотностью стержней.

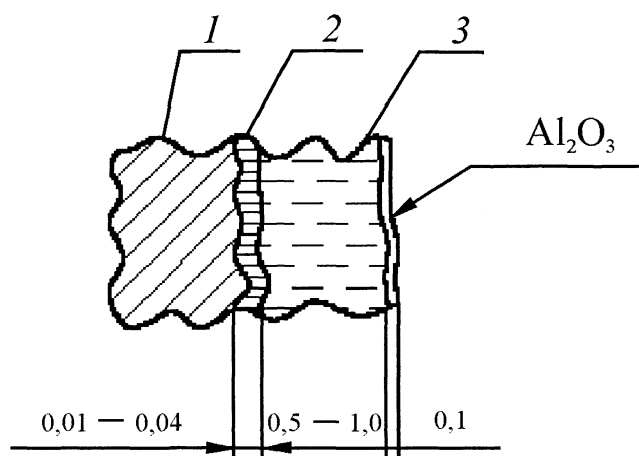


Рис. 2. Схема строения алитированной поверхности: 1 — алитированная деталь; 2 — диффузионный слой; 3 — слой сплава алитирования, оставшегося на поверхности



Рис. 3. Зона контакта «поршневой сплав—вставка под верхнее поршневое кольцо» с образованием переходного диффузионного слоя. $\times 240$. Травлено 0,5% HF

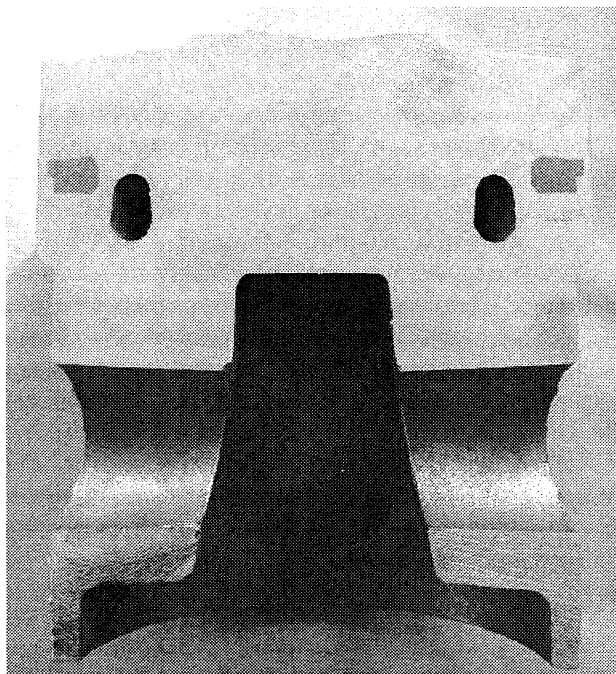


Рис. 4. Поршень с полостью масляного охлаждения

Хорошее качество поверхности и быстрое, в течение 15 мин, удаление из отливки удалось получить при использовании стержней на основе Na_2SO_4 , которые после формовки продували для отверждения CO_2 , приобретая прочность, достаточную для транспортировки, и затем обжигали.

Литые стержни, изготавливаемые из безводного хлористого кальция CaCl_2 . Солевой расплав заливали при температуре примерно 870°C в подогретые до 250°C металлические формы. Стержни имеют небольшую (около 1%) усадку и удовлетворительную точность. Существенным недостатком стержней из CaCl_2 является высокая гигроскопичность.

Хорошие результаты получены при использовании прессованных и спеченных стержней из

NaCl с добавками до 10% буры, талька, оксида магния и жидкого стекла (стандартная смесь). Уже при среднем давлении прессования (около $3,5 \text{ кгс/мм}^2$) прочность стержней после спекания достаточна, чтобы выдерживать транспортировку, механические и термические нагрузки, возникающие при кокильном литье поршней с полостями.

Для производства литых поршней дизельных двигателей широкое применение нашли одно- и многопозиционные кокильные машины, обеспечивающие механизацию всех операций по сборке и разборке кокиля, протяжке и простановке стержней, съему отливок. Пока не решена проблема механизации простановки в кокиль упрочняющих вставок после алитирования.

Производительность кокильных машин зависит от числа позиций и количества кокилей на каждой позиции, конструкции поршня и составляет для однопозиционных машин при изготовлении поршней диаметром 100–140 мм без упрочняющих вставок 10–20 отл/ч. Один рабочий может обслуживать одну многопозиционную машину или две–четыре однопозиционные (поршни без упрочняющих вставок); при литье поршней с нирезистовыми вставками на такое же количество оборудования требуется двое рабочих.

Многолетний опыт успешного присутствия НП РУП «Институт БелНИИлит» на рынке оборудования для литья поршней подтверждается созданием гаммы кокильного оборудования (как машин, так и комплексов) для изготовления отливок поршней различной конструкции. В табл. 3 приведены технические характеристики однопозиционных кокильных машин конструкции НП РУП «Институт БелНИИлит» для литья поршней, а на рис. 5 – кокильная машина мод. 4951.

На рис. 6 показаны образцы отливок поршней, изготовленных на оборудовании, созданном НП РУП «Институт БелНИИлит».

Таблица 3. Техническая характеристика однопозиционных поршневых кокильных машин конструкции НП РУП «Институт БелНИИлит»

Показатель	Модель машины		
	4950*	4951*	4973*
Вид поршня	моноклин	многоклин	многоклин
Габариты рабочего места на плитах для крепления кокиля, мм	380x380	380x380	270x100
Минимальное расстояние между плитами для крепления кокиля, мм	145	209	230
Ход полуформ, мм	250	250	150
Усилие раскрытия кокиля, кН	18,9	18,9	33
Усилие перемещения (опускания) центрального клина, кН	25,2	25,2	33
Машинное время холостого цикла, с	24,0	30,5	43,5
Габаритные размеры машины (без гидростанции и шкафов управления), мм:			
длина	2500	2496	2300
ширина	2100	2100	700
высота	2000	2600	1590
Масса машины, кг	1220	1670	3210

* Машина имеет стол, наклоняющийся на 32° .

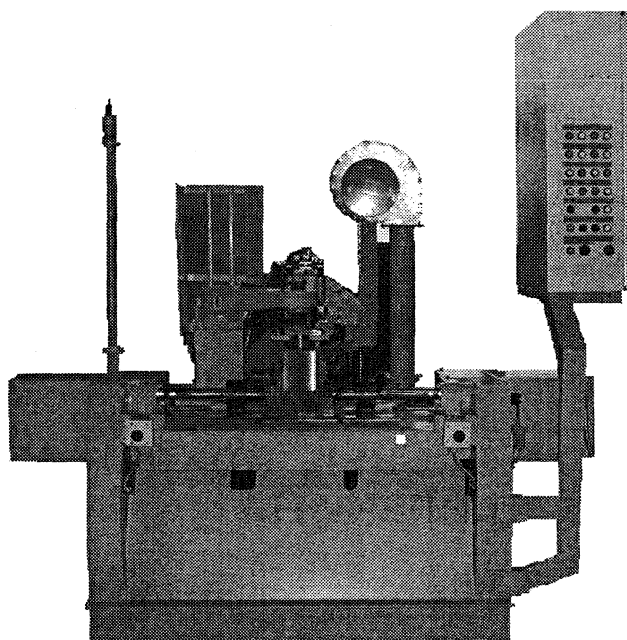


Рис. 5. Машина кокильная мод. 4951 для производства отливок поршней

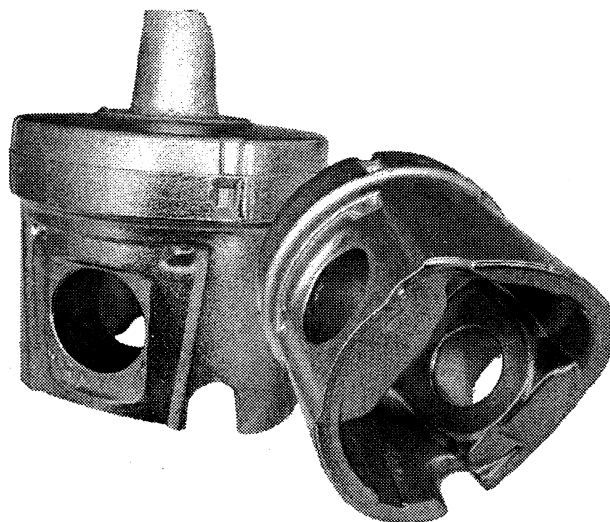


Рис. 6. Отливки поршней, изготовленных на оборудовании НП РУП «Институт БелНИИлит»

Литература

1. Schieber G. et. al. Hochbelastete Aluminium-Kolben für Fahrzeug-Dieselmotoren // MTZ. 1975. Vol. 36. N 9. S. 234–241.
2. Потанин С.Л., Авдентов Л.С. Литье в кокиль поршней из заэвтектических силуминов // Автомобильная промышленность. 1975. №4.