

**Тенденции развития производства поршней
из алюминиевых сплавов**

Немененок Б. М.

Белорусский национальный технический университет

Развитие народного хозяйства стран СНГ требует повышения надежности и увеличения ресурса работы двигателей большегрузных грузовых автомобилей типа МАЗ, КраЗ, УралАЗ, БелАЗ, КамАЗ; тракторов «Кировец», «Беларус»; комбайнов «Нива», «Полесье» и др. С 1920 по 2000 годы удельная мощность двигателей возросла в 7 раз, а для двигателей с турбонаддувом в 10 раз и достигла более 80кВт/л и это наращивание мощности продолжается.

Создание новых конструкций двигателей и форсирование режимов существующих осуществляется на базе широкого применения турбонаддува и использования алюминиевых поршней с выполненными в них камерами сгорания, что существенно повышает тепловые и динамические нагрузки на большинство деталей и, в первую очередь, на поршни, которые лимитируют долговечность двигателя в целом. Одной из причин выхода из строя поршней является образование трещин термической усталости на кромках камеры сгорания, которая подвергается большим динамическим и термическим воздействиям.

Поршень представляет собой достаточно сложную в отношении конструкции, технологии и материалов деталь двигателя, фактически определяющую его технический уровень. Основные функции, выполняемые поршнем – уплотнение внутрицилиндрового пространства с помощью днища и канавок с поршневыми кольцами и передача сил давления в цилиндре на кривошипно-шатунный механизм. На поршни в различных двигателях действуют знакопеременные нагрузки при постоянном их контакте с агрессивными жидкими и газовыми средами. В некоторых случаях нагрузки достигают 100—180 МН, а температура пламени повышается до 800 °С. Например, средняя температура на днище поршня у тракторных двигателей возрастает с 200—220 °С до 300—350 °С, а воспринимаемая поршнем нагрузка увеличивается с 50—55 МПа до 70—75 МПа.

Кроме жаропрочности поршневые сплавы должны удовлетворять еще целому ряду требований, что иногда приводит к принятию компромиссных решений в отношении химического состава. Поэтому в большинстве случаев используются сплавы сложного химического состава на основе системы алюминий—кремний.

В настоящее время поршни из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль с использованием литейных поршневых сплавов, горячей штамповкой деформируемых сплавов, жидкой штамповкой, литьем под низким давлением, изотермическим прессованием и литьем с кристаллизацией под давлением.

Литье в кокиль – наиболее простой технологический процесс, использующий поршневые сплавы с низким коэффициентом линейного расширения и позволяющий получить отливки сложной конфигурации (с поднутрениями). Однако кокильные поршневые заготовки имеют два существенных недостатка – невысокое качество заготовок (пористость в массивных частях) и низкий коэффициент использования металла.

Заготовки, полученные горячей штамповкой деформируемых сплавов, как правило, из АК4-1, отличаются высоким качеством, но по сравнению с литейными имеют на 15...20 % более высокие значения коэффициента линейного расширения, а коэффициент использования металла при горячей штамповке еще меньше, чем при литье в кокиль.

Жидкая штамповка поршней сочетает достоинства обоих этих способов - обеспечивает высокое качество заготовок аналогично горячештампованным и позволяет использовать литейные поршневые сплавы, а также жаропрочные сплавы с низкой жидкотекучестью при относительной простоте способа изготовления. Коэффициент использования металла жидкоштампованных поршней и их эксплуатационные свойства значительно выше, чем у кокильных заготовок.

Переход от литья в кокиль к кристаллизации под давлением 100...200 МПа повышает σ_b поршневых алюминиевых сплавов на 10...20 %, твердость на 5...15 % и относительное удлинение в 1,5...3 раза. Наложение давления на затвердевающий металл приводит также к росту кратковременной жаропрочности и

часовой горячей твердости. Улучшение жаропрочных свойств сплавов, закристаллизованных под давлением, объясняется устранением макродефектов отливки, увеличением легированности твердого раствора Si и Cu (растворимость которых при затвердевании под давлением возрастает), а также изменениями структуры сплава. При этом наблюдается также повышение усталостной прочности при комнатной температуре и в интервале температур эксплуатации поршней, что связано с устранением или существенным уменьшением микропористости, которая является очагом зарождения усталостных трещин.

Несмотря на то, что технология литья поршней в кокиль достаточно хорошо отработана, брак при их производстве остается высоким и составляет 6...8 %. Далеко не всегда удовлетворяет потребителя и стойкость поршней при их эксплуатации. Литьем в кокиль поршни для дизельных двигателей получают по двум принципиально отличающимся технологиям, характеризующимся расположением отливки в форме: «днищем вниз» и «днищем вверх». Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки.

При изготовлении отливок по первой технологии днище поршня, испытывающее при эксплуатации высокие механические и термические нагрузки, имеет мелкозернистую структуру и повышенные механические свойства, а литниково-прибыльную систему отливки можно обрубать на прессе. Однако в связи с расположением наиболее массивных частей отливки внизу питание их затруднено, поэтому требуется тщательная доводка всей литниково-питающей системы и теплового режима кокиля. В этом случае используется извилистая система типа «гусиная шейка» или карандашная с одной или двумя боковыми прибылями. Для получения плотной структуры массивных зон отливки, оформляющие части кокиля (поддон; полуформы; стержни; формирующие отверстия под пальцы; центральный моноклиновый стержень) охлаждаются проточной водой, проходящей по специальным каналам или полостям, а части многоклинового стержня охлаждаются перед простановкой в форму в водографитовой суспензии. В связи с большой протяженностью литниковой системы требуется повышенная температура расплава при заливке.

При изготовлении поршней «днищем вверх» металл обычно подводят в полость формы через короткий наклонный литник, что способствует снижению температуры заливки, но требуется более тщательное рафинирование расплава и при этом большое внимание должно уделяться геометрии и размерам стояка и питателя. В этом случае используются верхняя центральная или кольцевая прибыль. Такая технология широко используется на территории СНГ и дальнего зарубежья при изготовлении поршней с упрочняющей вставкой в зоне верхнего поршневого кольца.

Для плавного заполнения формы заливка ее производится в наклонном на $30\text{--}40^\circ$ состоянии, а возврат в вертикальное положение осуществляется после заполнения кокиля на $2/3\text{--}3/4$ по объему, когда расплав начинает закрывать упрочняющее кольцо. Кокиль выполняется массивным, однако нижние части полуформ могут иметь сверления для охлаждающей воды. Металлические стержни, как и при литье «днищем вниз» охлаждаются проточной водой.

Для производства литых поршней дизельных двигателей разработаны одно- и многопозиционные кокильные машины, у которых все операции по сборке и разборке кокиля, протяжке и простановке стержней, съему отливок механизированы. При изготовлении поршней с терморегулирующими вставками разработаны устройства для автоматической простановки их в кокиль. На других кокильных машинах для производства поршней механизация заливки еще не решена, как и простановка в кокиль нирезистовых упрочняющих вставок после алитирования.

Производительность кокильных машин зависит от числа позиций и количества кокилей на каждой позиции, от технологии и массы поршня, и составляет для однопозиционных машин при изготовлении поршней диаметром $100\text{--}140$ мм без упрочняющих вставок $10\text{--}20$ отливок в час. Один рабочий в состоянии обслуживать одну многопозиционную машину или две-четыре однопозиционные, если поршни не имеют упрочняющих вставок. При литье поршней с нирезистовыми вставками на такое же количество оборудования требуется двое рабочих.