

➤ свободное, без бокового контакта с центральной выступающей частью днища поршня и поверхностью головки цилиндра, развитие топливного факела до начала его организованного взаимодействия со стенкой камеры сгорания;

➤ максимальная длина свободного развития факела до стенки КС.

Разработанные по представленной методике камеры сгорания внедрены в серийное производство в дизелях типа 6ЧН15/16, 12Ч15/18 и 12ЧН15/18 в ООО «ЧТЗ-Уралтрак», а также использованы при создании опытного дизеля типа 12ЧН15/16.

#### Литература

1. Егоров В.В., Никифоров С.С. Моделирование взаимодействия топливного факела со стенкой в камере сгорания быстроходного транспортного дизеля. // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Машиностроение». — Челябинск : 2005. — Вып. 7. — № 14 (54). — С. 42–49.

2. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. — М. : Изд-во Мир, 1971. — 536 с.

3. Теория турбулентных струй / Под ред. Г.Н. Абрамовича. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1984. — 716 с.

4. Юдаев Б.Н. Михайлов М.С., Савин В.К. Теплообмен при взаимодействии струй с преградами. — М. : Машиностроение, 1977. — 247 с.

УДК 621.431.7:63, 621.431.3

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРШНЕЙ

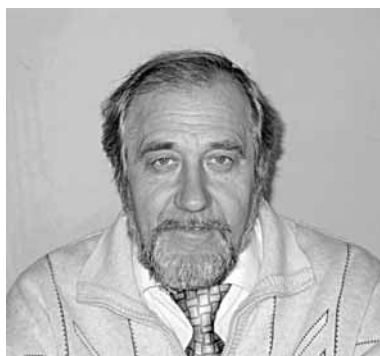
А.П. Маслов, к.т.н.  
ООО ГСКБ «Трансдизель»

Снижение ресурса современных высокофорсированных дизелей часто связано с появлением и прогрессирующим ростом трещин в днище поршня, возникающих от воздействия переменных тепловых нагрузок, инерционных и газовых сил, которые вызывают ускоренное разрушение поршней. В статье рассматриваются современные технологии, позволяющие повысить эксплуатационные свойства поршней.

Долговечность двигателей внутреннего сгорания характеризуется способностью сохранять целостность конструкции и неизменность технических параметров в течение гарантированного срока службы. Выполнение этого требования, принимая во внимание необходимость повышения мощностных и скоростных характеристик двигателей, сопровождается ростом тепловых и силовых нагрузок на его детали и узлы, что всегда было одной из сложнейших задач. Как известно, одним из наиболее нагруженных элементов двигателя является поршень. Поэтому при разработке конструкции поршня двигателя на первом этапе целесообразно обратить внимание на физико-механические свойства его материала, чтобы обеспечить необходимый запас прочности.

К современным технологическим методам повышения эксплуатационных свойств поршневого сплава можно отнести:

➤ баротермическую обработку (горячее изостатическое прессование) заготовки поршня;



➤ горячую штамповку (ковку);  
➤ изготовление заготовки поршней методом жидкой штамповки.

Как известно, повышение мощности двигателя сопровождается ростом температуры деталей камеры сгорания и, как следствие, снижением прочностных свойств материала поршня. Кроме внешнего силового воздействия, причиной снижения прочностных свойств поршневого сплава является наличие в структуре материала пор и включений, которые являются концентраторами напряжений и снижают долговечность материала. Это способствует образованию трещин. Под действием высоких температур и больших напряжений происходит интенсивный рост трещин с выходом их на поверхность и последующего разрушения поршня.

Одним из эффективных методов улучшения структуры металлов является горячее изостатическое прессование.

Горячее изостатическое прессование (ГИП) заготовок поршней, выполненных методами литья в кокиль или по выплавляемым моделям,

позволяет повысить временное сопротивление и предел текучести отливок из алюминиевых сплавов на 2–6 %, при этом пластичность возрастает в 2–3 раза и достигает 2–3 % [1]. Эти результаты были подтверждены исследованием образцов поршней двигателя Д180 из алюминиевого сплава АЛ-25, изготовленного по обычной технологии и после выполнения операции газостатического прессования. Как было установлено, прочностные свойства материала до и после обработки остались практически одинаковыми, в то время как пластичность повысилась с 0,7 до 2,4 %, что является одним из основных показателей, характеризующих долговечность материала.

В процессе горячего изостатического прессования происходит всестороннее сжатие отливок в среде аргона или другого нейтрального газа при определенных значениях температуры и давления газа. Этот процесс осуществляется в специальных агрегатах (газостатах), состоящих из рабочей камеры с нагревателями для обработки заготовок, силовой предохранительной рамы, насосной станции для подачи в рабочую камеру газа и его откачки после окончания процесса, сосудов высокого давления для хранения газа и средств автоматики для обеспечения требуемых значений температур и давлений газа в рабочей камере, в том числе с возможностью его аварийного сброса. В зависимости от вида обрабатываемого материала в газостате может создаваться рабочее давление от 50 до 200 МПа, при этом рабочая температура может варьироваться от 600 до 1700 К. Продолжительность обработки заготовок варьируется в пределах от одного до пяти часов.

Газостатическая обработка при температурах и давлениях, достаточных для пластического деформирования материала, обеспечивает увеличение их плотности до уровня, сопоставимого с плотностью получаемой при операцииковки и штамповки. Вследствие пластической деформации материала в микрообъемах отливки происходит полное устранение внутренних (не сообщающихся с внешней средой) раковин размером нескольких миллиметров и мелкой усадочной пористости. При этом происходит смыкание и диффузионное сваривание стенок внутренних пустот. В пустотах, соприкасающихся с внешней средой, «залечивание» не происходит вследствие равенства давлений во внешней среде и газовой полости [1].

Следует отметить, что газостатическая обработка позволяет ликвидировать дефекты в виде закрытых усадочных раковин и рассеянной пористости, которые невозможно устранить в силу разных причин технологическими приемами процесса литья.

Известен метод изготовления заготовок поршней штамповкой или ковкой. По технологическому процессу изготовления кованых поршней отлитая заготовка нагревается до уровня пластичности (для алюминия примерно 540 °С) и пропускается через горизонтально ковочный пресс. В результате этой операции получаются бруски длиной несколько метров. В дальнейшем бруски обрабатываются на длину, необходимую для получения заготовки, подвергаются повторному нагреву до уровня пластичности и вторично подвергаются воздействию вертикального ковочного пресса, обеспечивающего формирование внутренней поверхности поршня. В результате такой многократной деформации усадочные поры смыкаются, волокна материала приобретают определенную направленность.

В этом случае прочностные свойства заготовки поршня достигают высоких значений временного сопротивления и предела текучести до уровня 300 МПа, в то время как пластичность составляет всего около 0,7 %. К недостаткам этого метода можно отнести то, что он более дорог и заготовки обладают меньшей жаропрочностью при температурах более 280 °С по сравнению с литыми [2]. К преимуществам повышения качества заготовок поршней методом жидкой штамповки можно отнести его относительную дешевизну по сравнению с технологиейковки.

Заготовки поршней, изготовленные этим методом, получают из расплава алюминиевого сплава, который в период кристаллизации подвергают механическому давлению ползуном пресса, что позволяет получить однородную структуру материала и прочностные свойства, аналогичные кованым заготовкам [3]. Перспективным направлением совершенствования технологии изготовления поршней методом жидкой штамповки является возможность использования двух боковых пуансонов для изготовления предварительных пальцевых отверстий в бобышках поршня. Это дополнительно упрочняет структуру материала в зоне поршневого пальца, и обеспечивает более строгую ориентацию внутренней полости заготовки поршня относительно оси поршневого пальца. Кроме того, повышается точность изготовления заготовки поршня, что способствует снижению брака. Поршень, изготовленный методом жидкой штамповки из сплава АК12М2МГН, обладает высокими прочностными характеристиками временного сопротивления и предела текучести на уровне до 300 МПа, при этом его пластические свойства в 2 раза выше по сравнению с коваными поршнями, и составляют около 1,5 %.

Изготовление заготовок поршней с галереями для масляного охлаждения поршней является

реальной, но достаточно сложной технологической задачей. Для ее решения необходимо рассмотреть и учесть следующие технологические требования и особенности.

1. Соляной стержень, формирующий галерею, выполняется в виде тороида, по сечению обладает низким сопротивлением на разрыв, поэтому при формообразовании внутренней полости поршня вероятно нарушение целостности тороида и, как следствие, невозможность образования сплошной, одинаковой по сечению галереи.

2. В процессе штамповки важно обеспечить одинаковое расстояние от поверхности тороида до поверхности формообразующего внутреннюю полость «клыка», а также от поверхности тороида до стенок матрицы. При этом деформационное давление, возникающее при поступательном движении «клыка» во время кристаллизации поршневого сплава, будет одинаковым во всех направлениях, действующих на тороид.

3. Необходимо спрофилировать внутреннюю полость матрицы таким образом, чтобы обеспечить минимальное гидравлическое сопротивление течению сплава в зоне расположения тороида.

4. Форма тороида должна быть выбрана с учетом максимального обеспечения следующих функциональных задач: максимальный отвод тепла из зоны поршневых колец; максимальная прочность солевого стержня; минимальное гидравлическое сопротивление при течении поршневого сплава.

5. Температурное состояние матрицы, тороида и поршневого сплава в процессе штамповки должно быть одинаковым.

Многообразие перечисленных технологических требований при изготовлении заготовок поршней с галереями для охлаждения маслом методом

жидкой штамповки убедительно демонстрирует, что параметры этого процесса и проектирование оснастки для его реализации должны поддерживаться соответствующим аппаратом математического моделирования. Для этой цели необходимо создать, как минимум, две модели:

➤ математическая модель для определения напряженно-деформированного состояния соляного тороида, формирующего галерею в процессе жидкой штамповки;

➤ математическая модель течения поршневого сплава при поступательном движении «клыка» в системе матрица–тороид–поршневой сплав.

После формирования заготовки поршня с галереей для масляного охлаждения целесообразно выполнить горячее изостатическое прессование, которое позволит улучшить состояние поверхности галереи и повысит механические свойства заготовки.

Применение описанных выше методов, направленных на повышение эксплуатационных свойств поршней, позволит повысить мощностные характеристики двигателей с обеспечением необходимой надежности этого элемента.

---

#### Литература

1. *Маринин С.Ф. и др.* Технология горячего изостатического прессования в практическом материаловедении. Международная конференция по горячему изостатическому прессованию. Тезисы докладов. 20–22 мая 2002 г. Москва, Россия ВИС.

2. *Батышев А.И.* Штамповка жидкого металла. (Литье с кристаллизацией под давлением). — М.: Машиностроение, 1979 г.

3. *Белоусов И.Я.* Технология и оборудование для изготовления композитных поршней. Тяжелое машиностроение. — 1998. — № 5, 6.