

УДК 621.74

*В.И. Алехин, асп., А.В. Белогуб, канд. техн. наук, А.П. Марченко, д-р техн. наук,  
О.В. Акимов, канд. техн. наук.*

## КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОРШНЯХ НА ОСНОВЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВС

**Введение.** Поршень – одна из ответственных деталей цилиндропоршневой группы ДВС. Он подвергается воздействию тепла от сгорания топлива, давлению на поверхность камеры сгорания от рабочего тела в камере сгорания и пальца на бобышки, трению о кольца и зеркало цилиндра, инерционных сил в процессе возвратно-поступательного движения. В связи с этим конструкция поршня и технология его изготовления должны обеспечивать достаточную жаростойкость, выдерживающую температуры в камере сгорания, высокую механическую прочность и малый коэффициент трения в сопрягаемых парах (цилиндр, палец, кольца) для минимизации потерь трения. Поршень должен быть легким и прочным, обладать высокой износостойкостью рабочих поверхностей, должен как можно меньше нагружать кривошипно-шатунный механизм инерционными силами. Как правило, в двигателях для автомобилей используются литые поршни, которые изготавливают специализированные фирмы, а не сами автопроизводители. Наиболее известными производителями поршней являются: немецкие MANLE, KOLBENSCHMIDT, NURAL, английская AE, американская SEALED POWER. В Украине наиболее известным предприятием, специализирующимся на производстве поршней, является ОАО «АВТРАМАТ» (Харьковский завод «ПОРШЕНЬ»).

Известные западные производители достаточно длительное время при проектировании, технологической подготовке и производстве поршней используют компьютерные технологии. Отечественные производители поршней начали использовать компьютерно-интегрированные технологии для решения научных и производственных задач сравнительно недавно [1,2]. В настоящем исследовании мы остановимся на моделировании процесса образования дефектов в отливке при кристаллизации и возможного влияния их на работоспособность поршней.

Сам поршень для простоты анализа результатов моделирования можно разбить на такие конструктивные элементы: головка, включающая днище и

область канавок под поршневые кольца; юбка, направляющая поршень в цилиндре, и бобышки с отверстиями под пальцевые отверстия. Каждая из обозначенных частей нагружена по-своему (рис.1). Из рисунка видно, что максимальные напряжения наблюдаются в нижней части юбки и в месте опирания поршневого пальца на бобышку. В показанном примере (режим максимального момента,  $10^0$  п.к.в. после ВМТ такта «рабочий ход», максимальная температура на донце в зоне выпускного клапана –  $310^{\circ}\text{C}$ , минимальная –  $120^{\circ}\text{C}$  – в нижней части юбки) они составляют около 120 МПа. Напряжения в днище поршня составляют 35-40 МПа. Поскольку предельные напряжения для алюминиевых поршневых сплавов существенно зависят от температуры, то в первом приближении можно считать запасы прочности по днищу, юбке и пальцу близкими. В области канавок под поршневые кольца напряжения, связанные с температурным и силовым внешним воздействием не значительны. Канавки подвергаются износу в результате взаимного перемещения поршень-кольцо. Любые дефекты, в том числе и литейные, в местах максимальных напряжений неизбежно приведут к сокращению ресурса. Наличие их в ненагруженных местах требует более тщательного рассмотрения. Требования к качеству литья, как правило, оговорены технической документацией (чертежом) на поршень и заготовку (отливку).

**Постановка задачи и моделирование.** В данной статье рассматривается решение проблем по обеспечению качества литых деталей ДВС сложной геометрической конфигурации. В соответствии с этим необходимо поставить и выполнить следующие задачи:

- Моделирование литейных процессов, протекающих при изготовлении алюминиевых автомобильных поршней;
- Анализ процесса кристаллизации отливки;
- Выявление мест возможного образования дефектов усадочного характера.

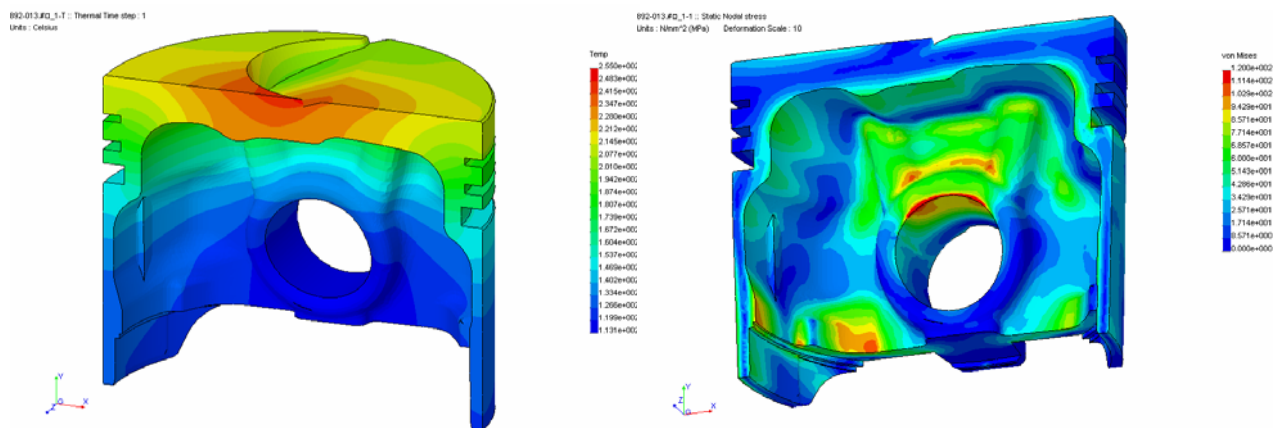
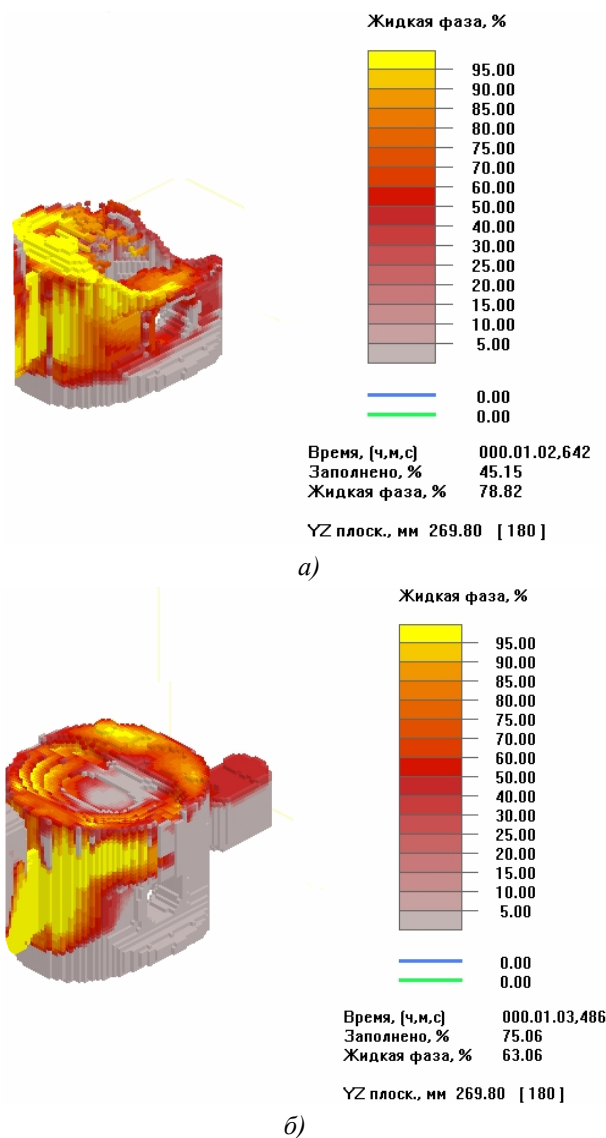


Рис.1. Поле температур (а) и напряжений (б) от тепловых и силовых нагрузок современного автомобильного поршня

Инструментарием для автоматизированного моделирования литейных процессов была выбрана программа LVM Flow [3,4].

Для постановки задачи была создана конечно – разностная модель поршня и металлической оснастки с такими данными: размер ячейки – 1,3 мм; количество ячеек – 3 563 430 шт.; материал отливки поршня – АК12М2МгН ГОСТ 1583-93 (ДСТУ 2839-94); на формообразующие части кокиля нанесена кокильная краска толщиной – 0,2мм и теплопроводностью 190 Вт/м·К; предварительный разогрев формообразующих частей кокиля до  $t=250\div 280$  °С; центральный стержень и стержни, формирующие отверстия под палец имеют водяное охлаждение, температура воды – 20 °С; литниковая система представляет собой систему «расширяющегося» типа, обеспечивая тем самым плавное и достаточно быстрое заполнение формы металлом; температура металла перед заливкой составляет – 710 °С; общее время одного цикла составляет – 62 сек.

С учетом исходных данных, представленных выше, было проведено моделирование, в результате которого выявился характер направленности кристаллизации отливки. В первую очередь охлаждалась тонкая юбка поршня (Рис. 2а), далее область пальцевых отверстий (Рис. 2б) и в последнюю очередь кристаллизовалась головка поршня (Рис. 2в). Однако проблемой является то, что интервал между полным затвердеванием юбки поршня и головки способствует неравномерности роста кристаллов в теле отливки, что приводит к потере механических и термических свойств детали.



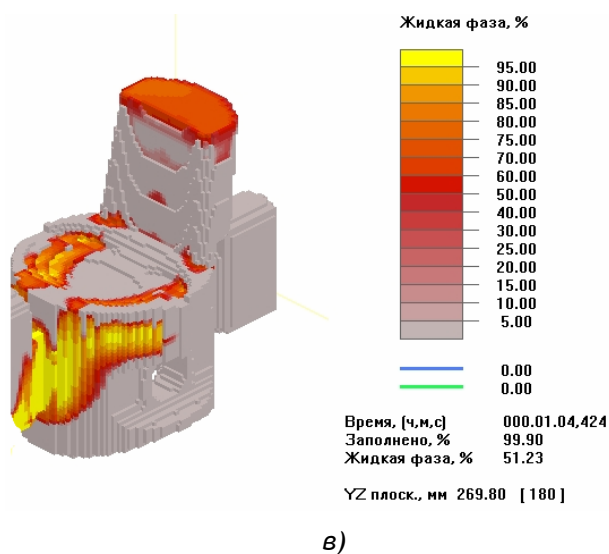


Рис.2. Общий характер направленности кристаллизации отливки (при содержании жидкой фазы 79 %, 63 %, 51 % соответственно)

Для подтверждения результатов графически, при моделировании в теле юбки и в головку поршня, были установлены виртуальные датчики, показания которых приведены на Рис.3.

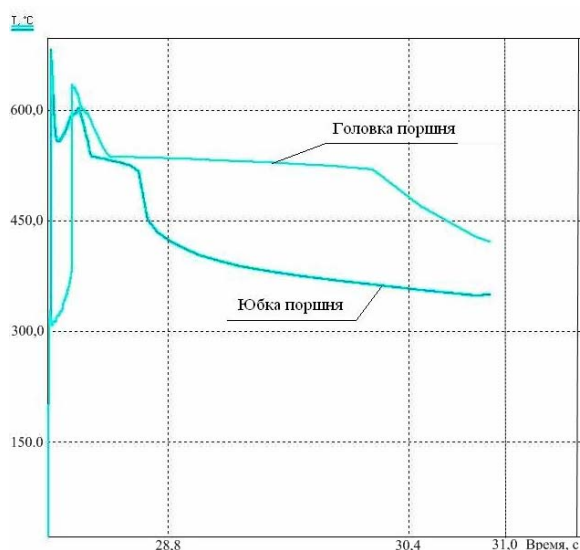
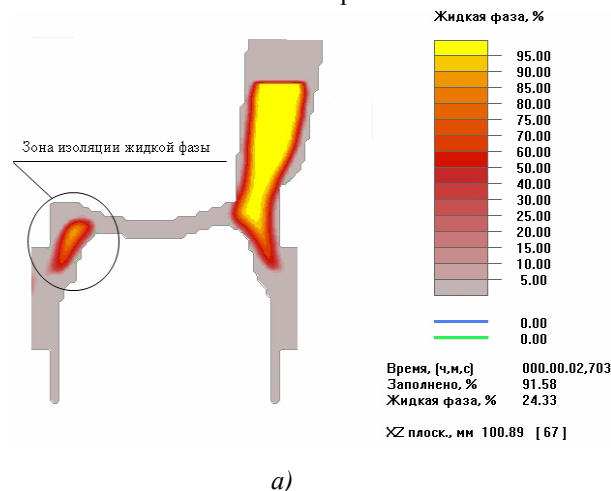


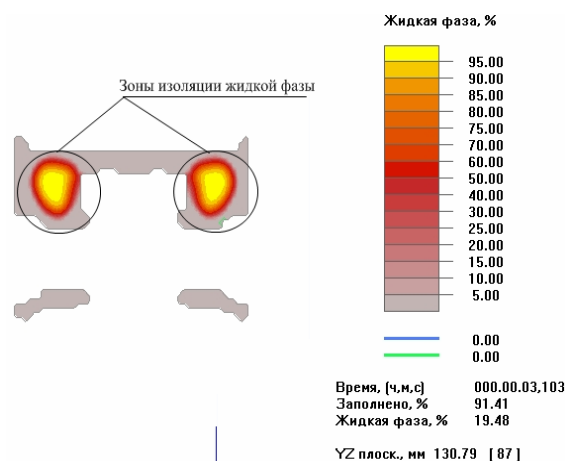
Рис.3. Показания датчиков температуры, установленных в «юбке» и головке поршня

**Выявление дефектов.** Известно, что направленность кристаллизации влияет на появление дефектов усадочного характера в теле литой детали, что приводит к таким последствиям, как падение прочностных характеристик, появление в процессе эксплуатации трещин в местах нахождения таких дефектов и т.д.. Графически это представлено на рис.4 а,б,в (зоны изоляции жидкой фазы), внутри уже

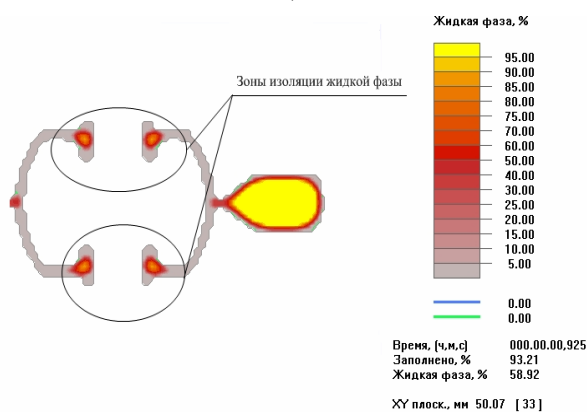
закристаллизовавшегося металла находится определенный объем «жидкой фазы». Наличие прибыли над массивной частью отливки не позволяет полностью исключить это явление, поэтому требуется применение иных технологических приемов.



а)



б)



в)

Рис. 4. Зоны изоляции жидкой фазы. а - массив юбка – днище; б - массив отверстия под палец – днище; в - массив бобышек отверстий под палец

**Выявление дефектов.** Известно, что направленность кристаллизации влияет на появление дефектов усадочного характера в теле литой детали, что приводит к таким последствиям, как падение прочностных характеристик, появление в процессе эксплуатации трещин в местах нахождения таких дефектов и т.д.. Графически это представлено на рис.4 а,б,в (зоны изоляции жидкой фазы), внутри уже закристаллизовавшегося металла находится определенный объем «жидкой фазы». Наличие прибыли над

массивной частью отливки не позволяет полностью исключить это явление, поэтому требуется применение иных технологических приемов.

По результатам моделирования, выполненного в среде LVM Flow, был проведен качественный анализ выявленных областей предположительного образования усадочных дефектов, обозначенных программой, который позволяет определить проблематичные места (см. рис. 5).

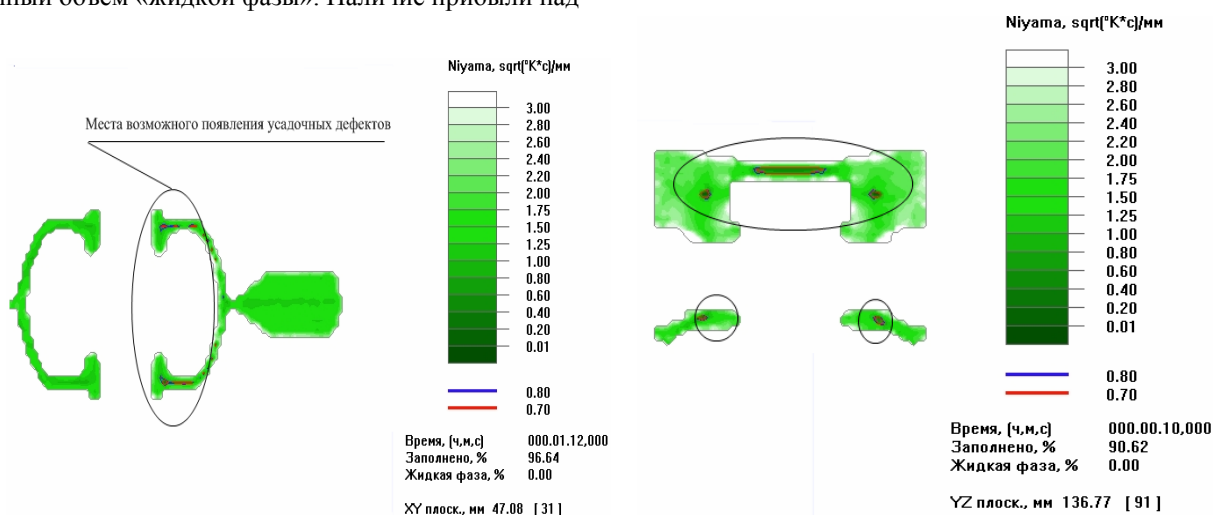


Рис.5. Места возможного появления дефектов усадочного характера

**Выводы.** Результаты расчетов выявили зоны гарантированного и возможного появления литейных дефектов, создав предпосылки для модернизации технологии изготовления литых алюминиевых поршней путем изменения конструкции поршня, конструкции оснастки и собственно технологических приемов. Для дальнейших работ целесообразно провести моделирование нагружения поршня с учетом возможных дефектов и провести ресурсный анализ конструкции с литейными дефектами.

**Список литературы:**

1. Белогуб А.В. Новые подходы к конструированию поршней / А.В. Белогуб // *Авиационно-космическая техника и*

*технология.* – 2000. - Вып.19. – С. 4-8. 2. Белогуб А.В. Снижение литейного брака при помощи моделирования процесса кристаллизации в системе «ПОЛИГОН» на примере поршня Д67 / А.В. Белогуб, О.А. Солоха, Е.Г. Талда, А.В. Медведев // *Аерокосмічна техніка і технологія.* – 2001.- Вып.23. – С. 243-246. 3. Андреев С.П. Оптимизация литниково-питающих систем отливок поршней / С.П.Андреев, А.Г.Щербина // *Двигатели внутреннего сгорания* – 2005. – № 2. – С.115–117. 4. Алехин В.И. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в блоке цилиндров Daewoo Sens. / В.И. Алехин, О.В. Акимов, А.П. Марченко // *Вестник НТУ «ХПИ» «Машиноведение и САПР».* – 2008. – Вып.2. – С. 3-7. 5. Алехин В.И. Совершенствование литниковых систем для отливок цилиндрического типа из алюминиевых сплавов. / В.И. Алехин, Б.П. Таран, С.Б. Таран // *Вестник НТУ «ХПИ».* – 2006. – Вып.10. – С. 104–107.