

В. И. Алехин, А. В. Белогуб*, А. П. Марченко, О. В. Акимов

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков
ОАО «АВТРАМАТ», Харьков

Моделирование мест проявления дефектов усадочного характера при проектировании литых деталей ДВС*

Предлагается моделирование и исследование процессов кристаллизации в отливках автомобильных поршней и блок-картеров при помощи программы автоматизированного моделирования LVMFlow с целью модернизации технологии изготовления литых деталей ДВС.

Ключевые слова: литая деталь, поршень, блок-картер, 3D-модель, моделирование, кристаллизация, технология, модернизация

В современном двигателестроении проектирование и производство комплектующих и двигателей в целом – процесс довольно трудоемкий, в котором принимают участие специалисты различного профиля. Основное место в этом процессе занимают инженеры, подготавливающие исходный проект, в котором должен учитываться полный объем документации, позволяющий изготовить двигатели в требуемом количестве с дельнейшим испытанием. Но для достижения современных повышенных требований (как к эксплуатационным характеристикам, так и точности изготовления деталей) к этому процессу подключаются инженеры-механики, инженеры-литейщики и др. Далее происходит совместный анализ, введение поправок и доводка проекта. При этом сроки проектирования сокращаются, что приводит к усложнению расчетных математических моделей и все большему применению интегрированных компьютерных систем.

Все вышеперечисленные операции и взаимодействие специалистов с компьютерными прикладными расчетными программами и системами лежат в пределах жизненного цикла продукта. Данное понятие изложено в стандарте ISO 9004-1 и относится к CALS-стратегии (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) – непрерывной информационной поддержке жизненного цикла изделия или продукта, направленной на эффективность и производительность предприятия.

На данный момент подобный вид взаимодействия технических специалистов успешно применяется на ОАО «АВТРАМАТ» и называется методом сквозного проектирования. Это понятие включает в себя «наслаивание» друг на друга конструирования детали, технологии литой заготовки, производства литой детали и механической обработки. Выполнение данных мероприятий направлено на кон-

кретную задачу для получения улучшенного параметра изделия, такого как минимизация массы, которая сказывается на механических потерях. Также с использованием данного метода время постановки на производство нового изделия составляет 2-4 месяца (для сравнения: 10 лет назад – 1-1,5 года). Также согласно международному стандарту ISO 10303 совместное проектирование и производство изделия может быть эффективным в случае, если оно базируется на основе единой информационной модели изделия – электронной. Объектами исследований являлись детали поршня и блока цилиндров (обоснованность такого выбора была представлена в предыдущих работах, посвященных данной тематике).

Деталь блока цилиндров (рис. 1, а) – рядный четырехцилиндровый бензиновый двигатель объемом 1,4 дм³ для автомобиля Daewoo Sens, изготавливаемого из материала Ch190B (серый чугун с необязательным химическим составом, %: сера – не более 0,1).

Поршень (рис. 1, б) – деталь – представитель «семейства» ВАЗ, изготавливается из материала АК12М2MгН, ГОСТ 1583-93 (ДСТУ 2839-94).

Построение трехмерных моделей литых заготовок проводилось на базе уже созданных трехмерных

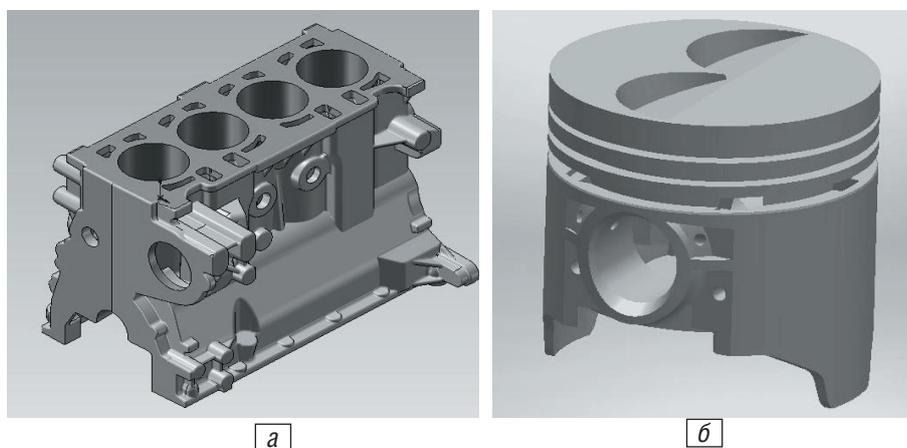


Рис. 1. 3D-модель: блока цилиндров (а); поршня (б)

* По материалам VI Международной научно-практической конференции «Литье-2010», состоявшейся 21-23 апреля 2010 года в Запорожье

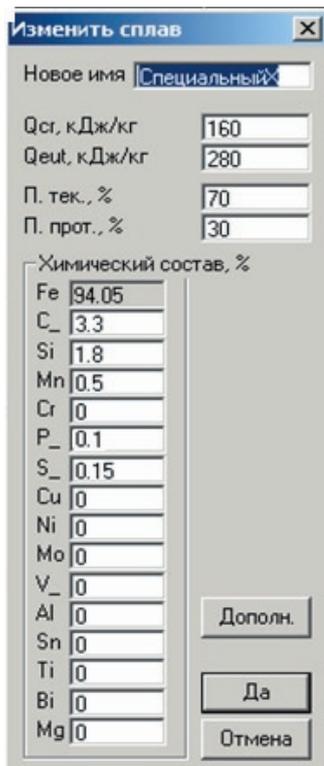


Рис. 2. Химический состав специального чугуна Ch190B

моделей деталей. При подготовке компьютерно-интегрированного моделирования литейных процессов учитывалось выполнение следующих задач: идентификация брака в изготовлении литых деталей ДВС; выявление «узких» мест в конструкции детали с технологической точки зрения; моделирование процессов кристаллизации; выявление факторов формирования остаточных напряжений на этапе изготовления литых деталей.

Инструментарием для проведения данного вида моделирования процессов при производстве литых заготовок была выбрана среда LVMFlow, которая представляет собой пакет прикладных программ компьютерного моделирования литья. Компьютерное моделирование позволяет проследить все процессы, происходящие в металле при заполнении формы, затвердевании, возникновении усадочных дефектов до промышленного изготовления самих изделий. Уравнения модели решаются методом FDM (конечных разностей) на регулярной прямоугольной разностной сетке.

Начальные условия для постановки задач при моделировании имеют следующие значения:

– для блока цилиндров

размер ячейки – 1,996 мм; общее количество ячеек – 17.620.200 шт; узлов отливки – 607.572;

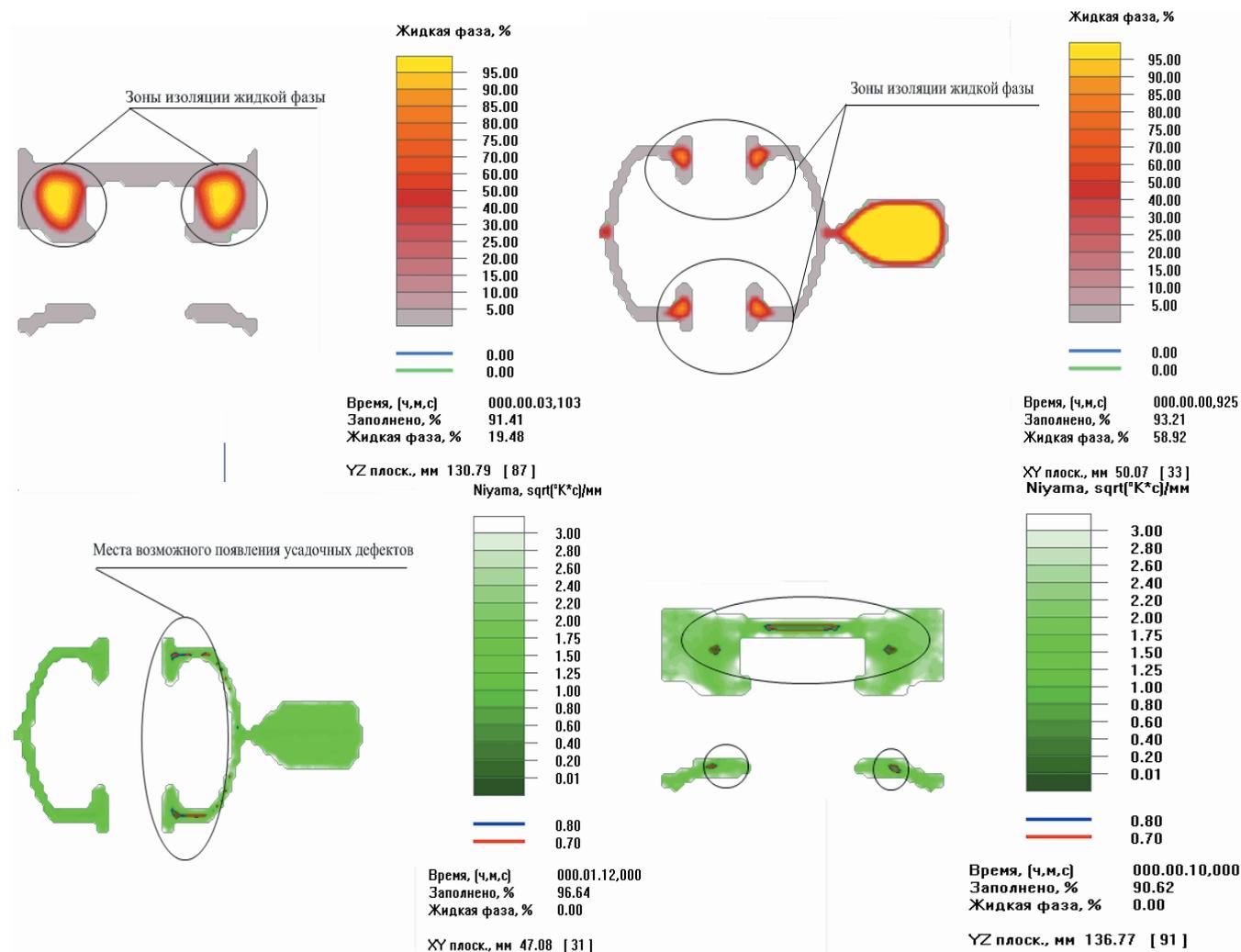


Рис. 3. Места возможного появления дефектов усадочного характера в модели поршня

разделительное покрытие – толщина слоя 0,3 мм; теплопроводность – 302 Вт/(м·К); материал отливки (рис. 2); заданная температура заливки – 1400 °С; материал формы – фурановая смесь с начальной температурой 20 °С;

– для поршня

размер ячейки – 1,3 мм; количество ячеек – 3563430 шт; материал отливки поршня – АК12М2МгН, ДСТУ 2839-94; кокильная краска на формообразующие части кокиля толщиной 0,2 мм 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; температура металла перед заливкой – 710 °С; общее время одного цикла – 62 с.

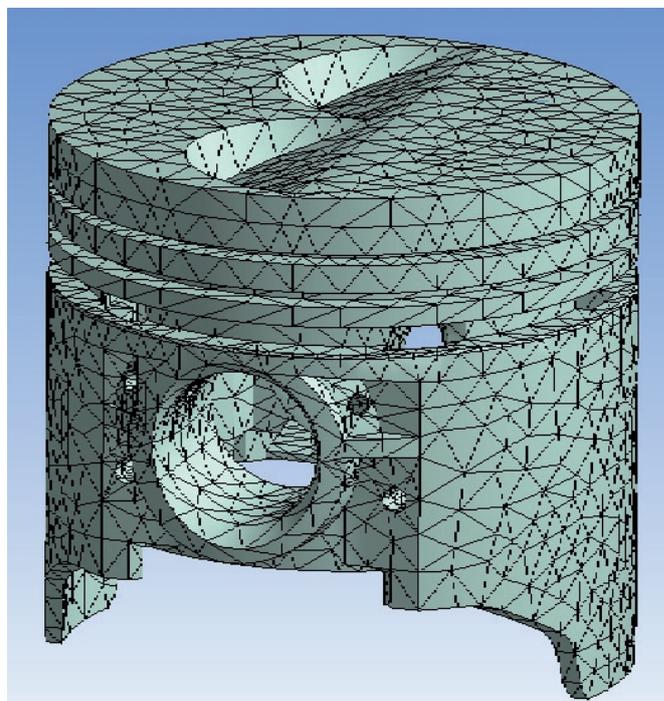
В итоге данного компьютерно-интегрированного моделирования было выявлено расположение наиболее критических дефектов в различных частях исследуемых деталей. В модели поршня они были выявлены (рис. 3) в теле бобышки (под пальцевое отверстие) и головке поршня (в области углублений в днище поршня под клапаны). Критичность расположения данных дефектов в поршне обусловлена тем, что вследствие высокой температуры при сгорании топлива прочность материала уменьшается. Из-за переменного характера режимов работы большинства современных двигателей особенно важно иметь повышенную сопротивляемость термической усталости в углублении под клапаны и камере сгорания, а в зонах бобышек требуется обеспечить высокую усталостную прочность для избегания появления трещин.

Для блока цилиндров появление дефектов усадочного характера в стенке цилиндра со стороны водяной рубашки предположительно будет препятствием для равномерного распределения температуры по длине цилиндра и ухудшит условия охлаждения.

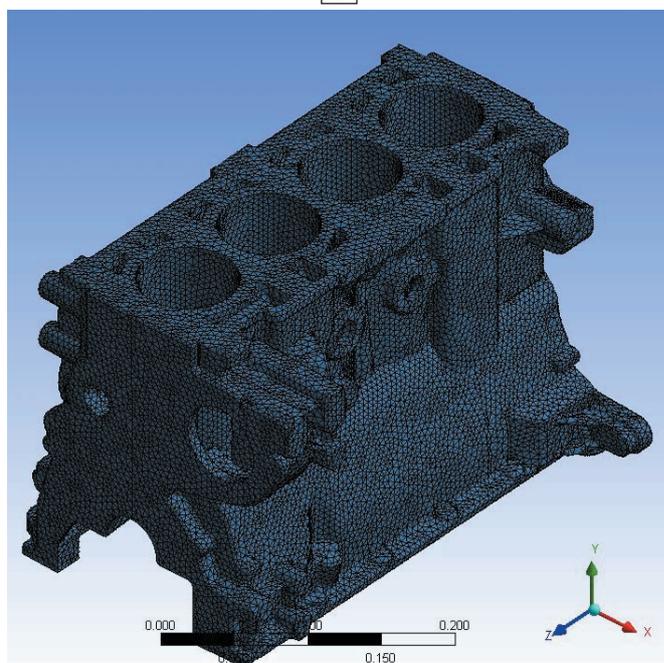
Далее следует проведение компьютерно-интегрированного моделирования для данных деталей в комплексе ANSYS 11SP1. Для детали поршня (рис. 4, а) тепловой расчет направлен на исследование теплонапряженного состояния с учетом выявленных дефектов усадочного характера и напряженно-деформированного состояния. Для детали блока цилиндров (рис. 4, б) тепловой расчет выполнен с учетом выявленных дефектов.

Выводы

Результаты моделирования теплового и напряженно-деформированного состояния перечислены выше относительно каждой литой детали ДВС с возникающими в них дефектами при производстве. Дефекты были выявлены в результате компьютерно-интегрированного моделирования процесса



а

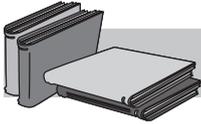


б

Рис. 4. Конечно-элементная модель: поршня (а); блока цилиндров (б)

изготовления литых заготовок и дают возможность внести модернизирующие изменения на следующих этапах:

- технология производства литых деталей ДВС – уменьшение количества и размеров сосредоточенных дефектов усадочного характера;
- конструкция детали ДВС – улучшение качества исходной литой заготовки путем изменения толщин тел в модернизированных местах.



ЛИТЕРАТУРА

1. Белогуб А. В. Новые подходы к конструированию поршней // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2000. – Вып. 19. – С. 4-8.
2. 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., Щербина А. Г. Оптимизация литниково-питающих систем отливок поршней // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2005. – № 2. – С. 115-117.
4. Алехин В. И., Акимов О. В., Марченко А. П. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в блоке цилиндров Daewoo Sens // *Машиноведение и САПР*. – 2008. – Вып. 2. – С. 3-7.
5. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в автомобильных поршнях на основе конструкторско-технологической методики проектирования деталей ДВС / В. И. Алехин, А. В. Белогуб, А. П. Марченко, О. В. Акимов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2009. – № 2. – С. 101-104.
6. Алехин В. И., Акимов О. В., Марченко А. П. Научные методы компьютерно-интегрированного проектирования блок-картера двигателя Daewoo Sens // *Там же*. – 2008. – № 2. – С. 77-82.

Анотація

Альо́хін В. І., Білогуб О. В., Марченко А. П., Акімов О. В.

Моделювання місць прояву дефектів усадкового характеру при проектуванні литих деталей ДВС

Запропоновано моделювання і дослідження процесів кристалізації у виливках автомобільних поршнів і блок-картерів за допомогою програми автоматизованого моделювання LVMFlow з метою модернізації технології виготовлення литих деталей ДВС.

Ключові слова

лита деталь, поршень, блок-картер, 3D-модель, моделювання, кристалізація, технологія, модернізація

Summary

Alehin V., Belogub A., Marchenko A., Akimov O.

Modeling of places of display of defects of shrinkable character at designing of cast details of engines

A design and research of processes of motor-car cast pistons crystallization by the automated design program LVMFlow is proposed, with the purpose of modernization of engine piston making technology.

Keywords

cast detail, piston, block-crankcase, 3D-model, design, crystallization, technology, modernization

Поступила 26.05.10