

УДК 621.43

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

## **НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОК-КАРТЕРА ДВИГАТЕЛЯ DAEWOO SENS**

В 2007 г. объем автомобильного производства в Украине вырос на 39%. Намечившаяся в 2004 году тенденция роста отечественного автопроизводства сохраняется и сегодня. Так, если в 2006 году в Украине было произведено 289,8 тыс. автомобилей (рост по сравнению с 2005 годом составил 35,9%), то в 2007 году было произведено 402,8 тыс. автомобилей (+39%).

Благодаря этому результату Украина в рейтинге Международной организации автопроизводителей "OICA" поднялась на одну ступень и из четвертой группы попала в третью, в число стран, которые в год производят более 400 тыс. авто.

Отрасль автомобильного производства произвела валового продукта на 25 млрд. грн. и в объеме ВВП заняла нишу 4%. Объем инвестиций в отрасль в 2007 году составил 1 млрд. грн., что позволило украинским автопроизводителям значительные средства направить на развитие производства.

За последние 7 лет производство автомобилей в целом увеличилось в 13 раз. Вырос также показатель количества автомобилей на 1 тыс. человек населения. Так, если в 1990 году на 1 тыс. человек приходился 41 автомобиль, то сегодня - уже 145. Эти данные на пресс-конференции 25.01.2008 г. сообщил президент Ассоциации автопроизводителей Украины "Укравтопром" Михаил Резник.

Исходя из вышеприведенного, перед украинскими автопроизводителями ставятся большие наукоемкие задачи по совершенствованию показателей современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), производимых на Украине. Эти задачи невозможно решить без оптимизации конструкции

ДВС, будь-то двигатель как готовое изделие, его узлы или отдельные детали. Однако сама конструкция, какой бы совершенной она ни была, может не обеспечивать оптимальных показателей ДВС, если в основу её проектирования не заложены технологические аспекты изготовления деталей, из которых состоят узлы двигателя. Расчетные и экспериментальные методы определения конструктивной прочности, надежности и ресурса в обязательном порядке должны быть согласованы с теми закономерностями, которые определяют протекающие при изготовлении деталей физические, физико-химические, тепловые и т.п. процессы. В первую очередь это относится к вопросам получения литых деталей двигателей. Наличие компромисса между проектированием конструкции деталей и проектированием и реализацией технологического процесса их изготовления является определяющим фактором получения качественных деталей, обеспечивающих достижение заданных эксплуатационных характеристик и надежности ДВС. Технологические аспекты должны быть обязательно учтены при разработке и применении САПР для двигателей.

Настоящая публикация представляет цикл исследований, выполненных на кафедре литейного производства НТУ «ХПИ», и посвящается проблеме обеспечения качества литых деталей ДВС сложной геометрической конфигурации по критерию функциональной и параметрической надежности (корпусные детали) [1-5]. В соответствии с этим критерием при компьютерно-интегрированном ресурсном проектировании необходимо поставить и выполнить следующие задачи:

- Идентификация брака литых деталей ДВС
- Выявление «узких» мест в конструкции детали с технологической точки зрения
- Моделирование напряженного состояния литых деталей
- Моделирование процессов кристаллизации
- Выявление факторов формирования остаточных напряжений на этапе изготовления литых деталей

В этой статье рассматривается постановка этих задач с целью обеспечения качества чугуновой литой

детали блока цилиндров рядного четырехцилиндрового бензинового двигателя объемом 1,4 дм<sup>3</sup> для автомобиля DAEWOO SENS. Заказчик "АвтоЗАЗ-Мотор" г. Мелитополь, материал Ch190B - серый чугун с необязательным химическим составом, сера - не более 0,15%, фосфор - не более 0,1%, структура - перлит пластинчатый. Изготовитель ООО «Украинская литейная компания», серийность - 700 литых деталей в месяц.

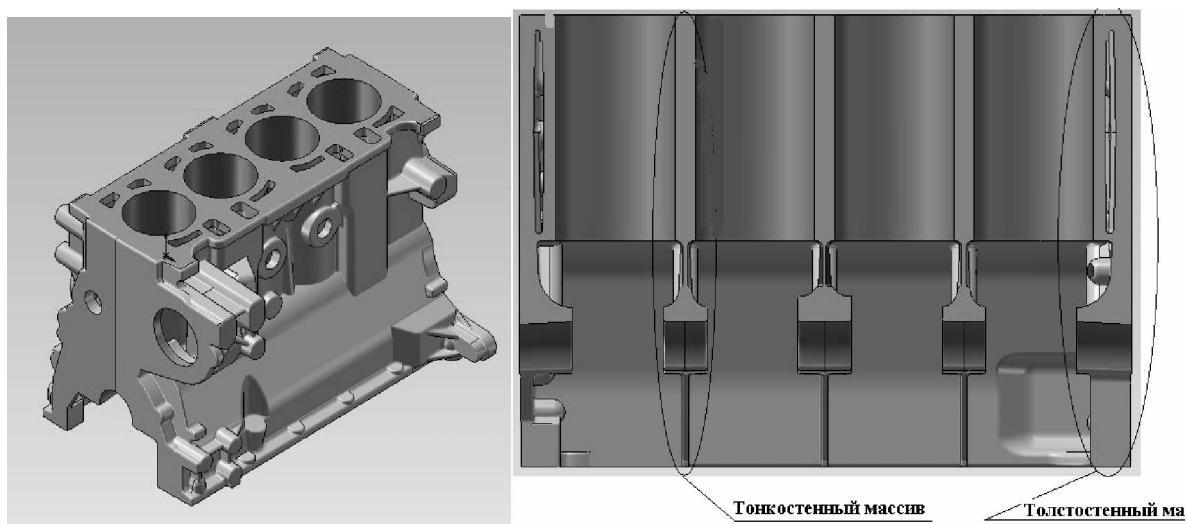


Рис. 1. 3D- модель блока цилиндров

Материал таких литых деталей, помимо механической прочности должен обладать необходимой плотностью структуры. Исходя из указанных условий и требований к материалу в статье рассматривались такие аспекты как:

- анализ процесса затвердевания литых деталей;
- анализ мест возможного появления усадочных дефектов.

Как показывает созданная нами 3D-модель, особенностью конструкции блока цилиндров является сочетание тонкостенных (толщина тела  $S=2..4$ мм) и толстостенных (толщина тела  $S=10..20$ мм) массивов (Рис. 1), что неблагоприятно влияет на управле-

ние качеством литой детали на направленность кристаллизации металла.

Чтобы решить проблемы связанные с кристаллизацией металла, провели исследования, связанные с процессами затвердеванием литой детали блока цилиндров. Для этой задачи была выбрана система автоматизированного моделирования литейных процессов LVM Flow, которая, относительно нашей задачи имеет определенные преимущества перед своими аналогами, к которым можно отнести простоту постановки задачи, адекватность результатов моделирования и, при правильной постановке задачи, относительную быстроту расчета процессов заливки и кристаллизации.

**LVM Flow** - это пакет прикладных программ компьютерного моделирования литья. Компьютерное моделирование позволяет проследить все процессы, происходящие в металле при заполнении формы, затвердевании, возникновение усадочных дефектов до промышленного изготовления самих изделий. Уравнения модели решаются методом **FDM** (конечных разностей) на регулярной прямоугольной разностной сетке.

Известно, что направленность кристаллизации

играет важную роль при получении качественной литой детали. Появление дефектов усадочного характера в теле литой детали приводит к таким последствиям, как падение прочностных характеристик металла, появление, в процессе эксплуатации, трещин в местах нахождения таких дефектов и т.д. Неравномерность застывания тонкостенных и толсто-стенных массивов в блоке цилиндров показано на (Рис. 2).

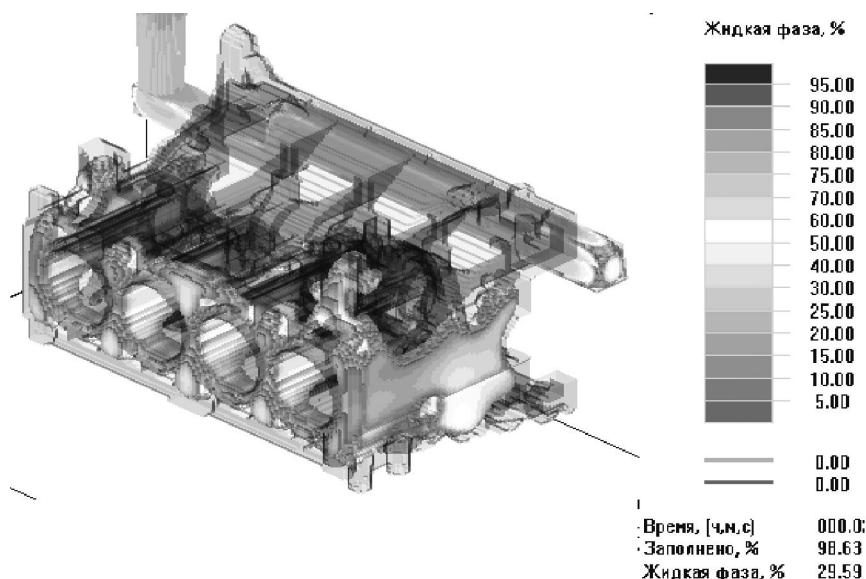


Рис. 2. Характер затвердевания металла литой детали. При содержании жидкой фазы 25%

По результатам моделирования, выполненного программой, были выявлены области предположительного образования дефектов (в программе LVM Flow модель образования усадочных дефектов основана на теории перколяции и определяется в процентах, что показано на шкале), которые представлены на (Рис. 3).

Качественный анализ характера затвердевания литой детали и мест возможного появления дефектов, обозначенных программой, позволяет определить проблематичные места в зонах А, Б и В (Рис. 3).

В работе построены электронные модели реальной литой детали блока цилиндров DAEWOO SENS, позволяющие проводить дальнейший анализ в рамках системного подхода для оценки качества от-

ветственных литых деталей ДВС сложной геометрической формы.

Полученные результаты позволяют обозначить пути дальнейшего исследования технологии изготовления литой детали блока цилиндров с целью устранения в ней выявленных дефектов[6].

Для моделирования блока-картера цилиндров применялись такие данные: размер ячейки – 1,996 мм; общее количество ячеек – 17.620.200; узлов отливки – 607.572; разделительное покрытие – толщина слоя 0,3мм и теплопроводностью 302 Вт/м·К; материал отливки – специальный чугун; заданная температура заливки 1400 С°; материал формы - фурановая смесь; начальная температура 20 С°.

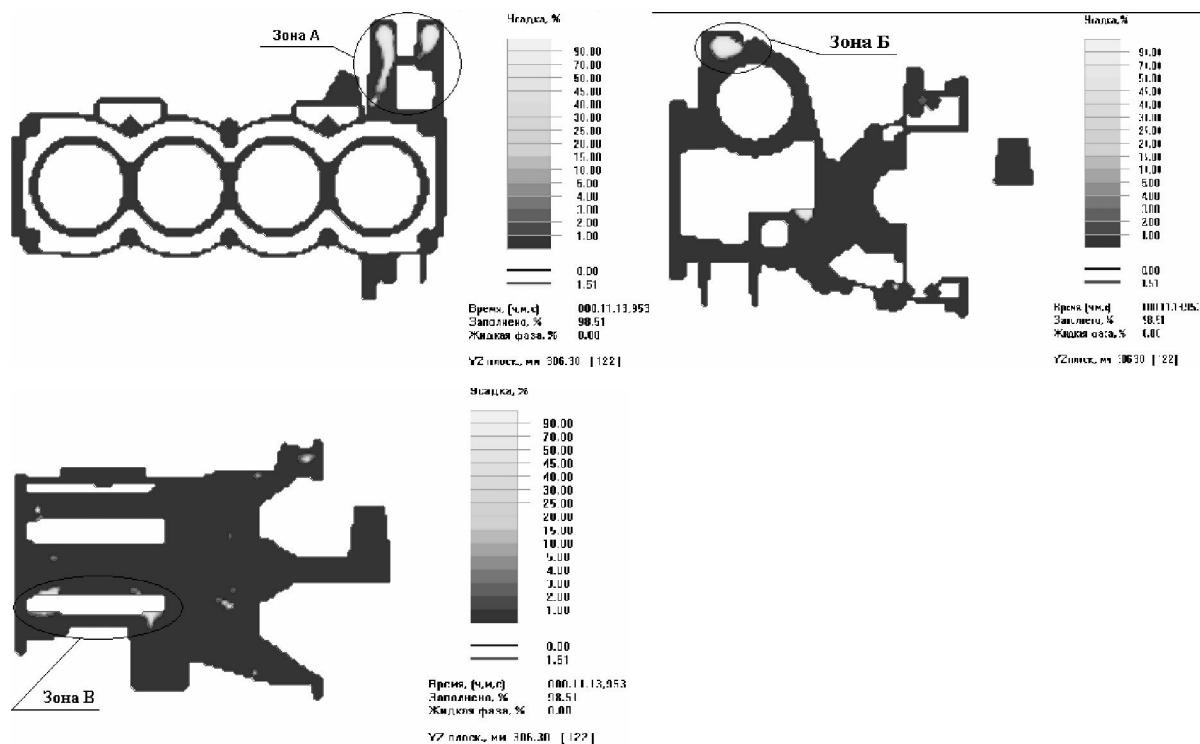


Рис. 3. Зоны возможного появления дефектов усадочного характера

С учетом таких исходных данных было проведено моделирование, в результате которого выявились места возможного происхождения дефектов усадочного характера.

Для устранения таких дефектов было принято решение о модернизации существующей литниковой системы (Рис 5а). Как показали результаты моделирования (Рис 5в), литниковая система заполнялась не полностью, что приводило к снижению работоспособности питателей (использовалась не вся рассчитанная площадь) при заполнении формы металлом.

Представленное на рисунках 5в и 5д течение металла в форме приводит к уменьшению скорости подъема металла, в результате чего образуются корки, содержащие обычно окислы и включения. В дальнейшем корка прижимается к поверхности формы жидким металлом (Рис. 5в), происходит прорыв с образованием газовых пузырей и неметаллических включений. Также при анализе моделирования про-

цесса заливки, можно сделать вывод, что в начальной стадии струя металла бьет в стержень, размывает его, приводя к засорам и изменению геометрических размеров.

В модернизированной литниковой системе (Рис. 5б) был разделен питатель. В результате было получено более равномерное распределение температуры при охлаждении металла в форме, благодаря этому опасность получения усадочных раковин и усадочной рыхлоты в отливке значительно уменьшилась. Также модернизированная литниковая система стала обеспечивать более равномерное по всей полости формы заполнение, что уменьшило вероятность разбрызгивания, образования заплесков. Струя металла не попадает в торец стержня, тем самым не разрушает его.

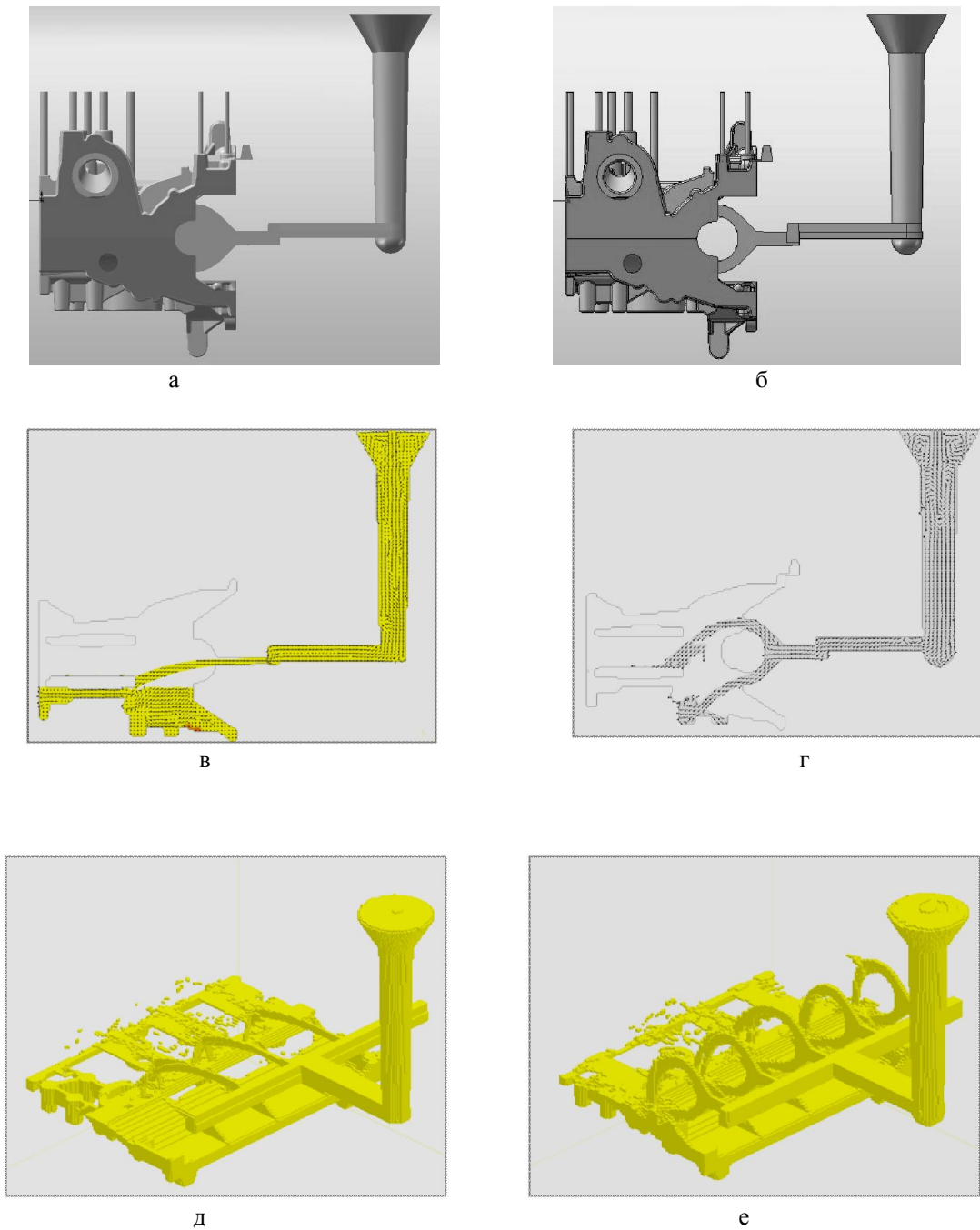


Рис. 5. Примеры литниковых систем и их заполнения металлом

В модернизированной литниковой системе (Рис. 5б) был разделен питатель. В результате было получено более равномерное распределение температуры при охлаждении металла в форме, благодаря этому опасность получения усадочных раковин и усадочной рыхлоты в отливке значительно уменьшилась. Также модернизированная литниковая сис-

тема стала обеспечивать более равномерное по всей полости формы заполнение, что уменьшило вероятность разбрызгивания, образования заплесков. Струя металла не попадает в торец стержня, тем самым не разрушает его.

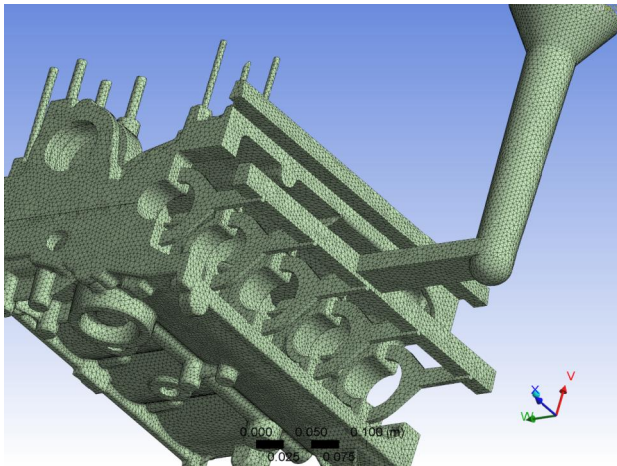


Рис. 6 Конечноэлементная модель блок-картера ДВС

Для проверки проведенного моделирования в LVM Flow и проведения дальнейших исследований после незначительных упрощений и сглаживания относительно малых поверхностей была создана пространственная конечноэлементная (КЭ) модель отливки блока цилиндров в ANSYS Workbench 11SP1, включающая 911152 узлов и 577648 конечных элементов тетраэдральной формы (Рис. 6).

Таким образом, моделирование процесса заливки в программе LVM Flow показало, что применение модернизированной литниковой системы, уменьшило вероятность появления дефектов усадочного характера, засоров от неметаллических и оксидных включений, а также разрушения стержня струей заливаемого металла. Применение модернизированной литниковой системы при изготовлении отливки блок-картера цилиндров ДВС позволит дос-

тичь высокого качества и эксплуатационных свойств готовой детали.

Анализ динамики охлаждения, фазового перехода, связанности зон, застывающих последними, позволяет выявить места возможного формирования внутренних усадочных дефектов, сформировать граничные и начальные условия для задачи расчета остаточных деформаций ввиду выравнивания температур по всей литой детали блока цилиндров, и, в конечном счете, ввести численную оптимизацию процесса затвердевания

#### Список литературы:

1. О.В. Акимов Компьютерное моделирование фазового перехода и остывания отливки блок-картера двигателя СМД. // Вестник ХГПУ, Вып.75, Харьков, 1999г., с.65-73.
2. Акимов О.В. Тенденции развития и применения автоматизированных компьютерных систем для проектирования и обеспечения качества литейных изделий.// MicroCad-99, Сборник научных трудов межд. научно-технической конференции. – Харьков: Харьк. гос. политехн. ун-т, 1999.
3. Акимов О.В., Гудзенко А.А. Применение ЭВМ для размерно-геометрического анализа отливок // Труды международной научно-техн. конф. "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье", Харьков, 1997, с.144-146.
4. О.В. Акимов Компьютерное моделирование фазового перехода и остывания отливки блок-картера двигателя СМД. // Вып.75, Харьков, 1999г., с.65-73.
5. О.В. Акимов, В.А. Солошенко Компьютерное моделирование остаточных напряжений в отливке блок-картера дизеля «СМД» // "Вестник Харьковского государственного политехнического университета", Вып. 117, Харьков, 2000г., с. 34-36.
6. В.И. Алехин, О.В. Акимов, А.П. Марченко Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в блоке цилиндров Daewoo Sens. // Вестник НТУ «ХПИ» «Машиноведение и САПР», Вып.2, Харьков, 2008г., с. 3-7.